



JÚLIO CÉSAR DE ARAÚJO

**PRODUTIVIDADE E ASPECTOS NUTRICIONAIS DA
CULTURA DO ALHO VERNALIZADO**

LAVRAS - MG

2014

JÚLIO CÉSAR DE ARAÚJO

**PRODUTIVIDADE E ASPECTOS NUTRICIONAIS DA CULTURA DO
ALHO VERNALIZADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Rovilson José de Souza

LAVRAS - MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenação de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Araújo, Júlio César de.

Produtividade e aspectos nutricionais da cultura do alho
vernalizado / Júlio César de Araújo. – Lavras : UFLA, 2014.
162 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Rovilson José de Souza.

Bibliografia.

1. *Allium sativum* L. 2. Cultura de tecidos. 3. Nutrição Mineral.
4. Fósforo. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.26

JÚLIO CÉSAR DE ARAÚJO

**PRODUTIVIDADE E ASPECTOS NUTRICIONAIS DA CULTURA DO
ALHO VERNALIZADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 25 de julho de 2014

Dr. Joaquim Gonçalves de Pádua	EPAMIG
Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende	DEAGRO/UNICENTRO
Dra. Luciane Vilela Resende	DAG/UFLA
Dr. Wilson Magela Gonçalves	DAG/UFLA

Dr. Rovilson José de Souza
Orientador

LAVRAS - MG

2014

A Deus, minha família e amigos,

OFEREÇO.

A todos aqueles que transferem o que sabem e aprendem o que ensinam.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, aos familiares, amigos e a meus mentores que ao longo de minha formação não hesitaram em compartilhar suas experiências acumuladas;

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura, em especial ao curso de Pós - Graduação em Fitotecnia/Produção Vegetal, pela oportunidade de realização da Pós – Graduação;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro do projeto e pela concessão da bolsa de estudos;

Ao meu professor e orientador Dr. Rovilson José de Souza, pela orientação e por fornecer condições para a realização das minhas pesquisas;

Aos professores, técnicos e alunos do laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. Em especial à professora Janice Guedes Carvalho (“in memoriam”) pelas inúmeras pesquisas em nutrição mineral de plantas, inclusive em Olericultura;

Aos meus colegas de trabalho, aos técnicos e funcionários do Setor de Olericultura da UFLA, pela contribuição na realização das minhas pesquisas;

Aos meus amigos de Lavras, que demonstraram ser pessoas de valor com as quais estarei ligado para sempre;

Finalmente, agradeço aos meus pais, família e minha namorada Gleyce Corrêa, pelo apoio emocional, confiança e por compreender a minha ausência nas inúmeras ocasiões especiais que não pude comparecer;

OBRIGADO!

BIOGRAFIA

JÚLIO CÉSAR DE ARAÚJO, filho de João César de Araújo e Maria de Fátima Ferreira de Araújo, nasceu em 08 de fevereiro de 1981, em Salinas, MG. Em 1996 iniciou o curso de Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Salinas (EAFSAL), Salinas, MG, concluindo-o no ano de 1998. Em 2002, iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal Lavras (UFLA), Lavras, MG, concluindo-o em 2007. Em 2008, iniciou o Mestrado em Agronomia/Fitotecnia, na UFLA, concluindo-o em 2010. Em agosto de 2010, iniciou o Doutorado em Fitotecnia/Produção Vegetal, na UFLA, concluindo-o com a apresentação da Tese intitulada “Produtividade e Aspectos Nutricionais na Cultura do Alho Vernalizado”.

RESUMO

Para um manejo adequado da adubação do alho vernalizado é fundamental conhecer todos os aspectos relativos à nutrição mineral da cultura, pois somente assim será possível determinar as melhores doses, fontes, formas de parcelamento e modo de aplicação de nutrientes e fertilizantes que possibilitem o máximo desempenho produtivo da cultura. A adubação da cultura do alho muitas vezes é realizada de forma empírica, com base em experiências próprias e, provavelmente, com perdas de produtividade. Dessa forma, na tentativa de garantir uma quantidade de fósforo suficiente para o bom desenvolvimento da cultura do alho, toneladas de fósforo na forma de fertilizantes são adicionadas ao solo. A aplicação destas elevadas adubações com fósforo são motivadas principalmente pelos solos brasileiros em sua maioria serem ricos em ferro e alumínio. Estes elementos reagem com o fósforo do solo, tornando cerca de 90% do P aplicado indisponível para a cultura até o final do seu ciclo. Sendo assim, as pesquisas com fertilizantes fontes de fósforo têm aumentado significativamente em atividades agrícolas no Brasil visando o aumento da produtividade com uma aplicação racional de fósforo. Dentre estas fontes estudadas, destacam-se os fosfitos, devido as suas propriedades nutricionais e por sua ação bioestimulante do sistema de defesa das plantas contra fitopatógenos. Diante do exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar as deficiências de macro e micronutrientes e seus efeitos no crescimento, desenvolvimento, estado nutricional e produção do alho vernalizado livre de vírus, e determinar a influência da aplicação de fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produtividade do alho. Os experimentos com omissões nutricionais foram em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, representados por: Solução completa (Hoagland e Arnon) e soluções nutritivas com omissões de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, utilizando-se as cultivares Ito e Quitéria livre de vírus. O experimento com fontes e doses de fósforo foi em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 4x4, com três repetições, utilizando-se a cultivar Ito. Os tratamentos foram constituídos por quatro doses do fosfito de potássio (0,0; 4,0; 8,0; e 12,0 L ha⁻¹) aplicados via foliar e quatro doses de P₂O₅ (0,0; 200; 400 e 600 kg ha⁻¹) aplicado via solo. As omissões nutricionais mostram sintomas visuais de deficiência na cultura do alho e afetaram o crescimento, desenvolvimento e produção das plantas de alho. Os teores e acúmulos de nutrientes no alho são alterados com as omissões nutricionais. A aplicação de fosfito foliar associado à aplicação de fosfato aumentou a produtividade do alho.

Palavras-chave: *Allium sativum* L., Cultura de tecidos, Nutrição Mineral, Fósforo.

ABSTRACT

For a proper management in the fertilization of vernalized garlic, it is essential to know all aspects regarding the mineral nutrition of this crop, since it is the only form to determine the best doses, sources, subdivision forms and mode of application of nutrients and fertilizers which enable the maximum productive performance of this crop. The fertilization of garlic is often performed empirically, based on their own experiences and, probably, with productivity losses. Thus, in trying to secure a sufficient amount of phosphorus for the good development of garlic, tons of phosphorus in the form of phosphorus fertilizers are added to the soil. This high amount of fertilization with phosphorus is mainly motivated by Brazilian soils, which are mostly rich in iron and aluminum, and react with the phosphorus in the soil, resulting in an irreversible binding, making about 90% of the applied P unavailable to the crop by the end of this cycle. Thus, studies with fertilizer phosphorus sources have significantly increased in agricultural activities in Brazil for the rational application of phosphorus and increased productivity. Among these sources, phosphites can be highlighted, due to their important nutritional properties and bio-stimulant action in the defense system of plants against pathogens. Given the above, this study was conducted in order to characterize the deficiencies of macro and micronutrients and their effects on growth, development, production and nutritional status of vernalized garlic free of virus, and to determine the influence of the application of sources and levels of phosphorus on the development and yield of garlic. The experiments were performed in a completely randomized design for nutritional deficiency, with four replications, represented by: Complete Hoagland and Arnon Solution, nutrient solutions with omission of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn, using the cultivars Ito and Quitéria, free of virus. The experiment with sources and phosphorus levels was conducted in a randomized block design, in a factorial 4x4 design with three replications, using the cultivar Ito. The treatments consisted of four doses of potassium phosphite (0.0, 4.0, 8.0, and 12.0 L ha⁻¹) applied via foliar, and four doses of P₂O₅ (0, 200, 400 and 600 kg ha⁻¹) applied to the soil. The omission of nutrients showed visual deficiency symptoms on garlic crop, except for S, Mn and Cu. Nutritional deficiencies affected growth, development and production of garlic plants. Concentration and accumulation of nutrients in garlic are changed with nutrient deficiency. The foliar application of phosphite, associated with phosphate in the soil, increased garlic productivity.

Key words: *Allium sativum* L., Tissue culture, Mineral Nutrition, Phosphorus.

SUMÁRIO

	CAPÍTULO I.....	12
1	INTRODUÇÃO GERAL	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Panorama econômico da cultura do alho no Brasil.....	15
2.2	Cultivares	16
2.3	Vernalização	17
2.4	Alho livre de vírus	18
2.5	Exigências nutricionais.....	19
2.6	Fósforo na nutrição de plantas.....	22
2.7	Avaliação do estado nutricional da cultura	26
2.8	Adubação foliar	27
2.9	Fosfito na agricultura.....	30
	REFERÊNCIAS	34
	CAPÍTULO II - Desenvolvimento e sintomas visuais de deficiência nutricional do alho vernalizado livre de vírus	41
1	INTRODUÇÃO	44
2	MATERIAL E MÉTODOS	46
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
3.1	Deficiência de nitrogênio	49
3.2	Deficiência de fósforo	51
3.3	Deficiência de potássio.....	54
3.4	Deficiência de cálcio	58
3.5	Deficiência de magnésio	60
3.6	Deficiência de boro	63
3.7	Deficiência de zinco	65
3.8	Deficiência de ferro	67
3.9	Demais deficiências.....	69
3.10	Altura de plantas, número de folhas, diâmetro do pseudocaule e razão bulbar	70
3.11	Avaliação do índice relativo de clorofila com SPAD	74
4	CONCLUSÃO	78
	REFERÊNCIAS	79

	CAPÍTULO III - Estado nutricional e aspectos produtivos do alho vernalizado livre de vírus em função da omissão de nutrientes ...	83
1	INTRODUÇÃO.....	86
2	MATERIAL E MÉTODOS	87
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	90
3.1	Efeito da omissão nutricional no desenvolvimento e produção das plantas de alho.....	90
3.1.1	Produção de massa fresca da parte aérea.....	91
3.1.2	Produção da massa seca da parte aérea.....	92
3.1.3	Produção da massa seca do sistema radicular.....	92
3.1.4	Produção do alho cultivado sob deficiência nutricional.....	93
3.2	Teor e acúmulo de nutrientes.....	95
3.2.1	Ordem de acúmulo dos macro e micronutrientes.....	109
4	CONCLUSÕES	110
	REFERÊNCIAS	111
	CAPÍTULO IV - Produtividade de alho vernalizado em função de fontes e doses de fósforo	114
1	INTRODUÇÃO	117
2	MATERIAL E MÉTODOS	119
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	124
4	CONCLUSÕES	146
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	147
	REFERÊNCIAS.....	149
	ANEXOS.....	154

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

O alho nobre (*Allium sativum* L.) apresenta melhor aspecto comercial e maior produtividade em relação ao alho comum (seminobre), tornando-o mais competitivo no mercado nacional, em relação ao alho importado da China e Argentina. No entanto, as cultivares nobres só podem ser plantadas nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste quando submetidas à técnica de vernalização para que ocorra a produção de bulbo (RESENDE et al., 2011).

A utilização de alho-semente livre de vírus aliados à técnica de vernalização tem antecipado o produto nacional no mercado em relação ao importado, aumentando sua qualidade e produtividade, dessa forma, garantindo-lhes competitividade e melhores preços (RESENDE, et al., 2013).

Outro fator relevante na comparação do cultivo de plantas infectadas e livres de vírus é a diferença na exigência nutricional. De acordo com Resende et al. (1999), plantas livres de vírus apresentam maior acúmulo de nutrientes em relação às plantas infectadas, sendo mais exigentes em adubação. Resende (1997) e Resende et al. (2009) recomendam pesquisas com nutrição mineral em cultivares de alho nobre e livre de vírus a fim de se estabelecer o manejo de adubação mais adequado para esses materiais.

Dentre todos os aspectos que contribuem para a baixa produtividade brasileira do alho, o manejo inadequado da adubação é um dos principais. Em algumas regiões produtoras as adubações, tanto via solo como via foliar, são realizadas de forma empírica, com base em experiências próprias e, provavelmente, com perdas no rendimento da cultura (RESENDE et al., 2009).

Uma adubação equilibrada em fósforo (P), além de aumentar a produtividade do alho, contribui para a melhoria da qualidade do produto colhido (BULL et al., 1998, 2008). Por isso, na tentativa de garantir uma quantidade de fósforo suficiente para o bom desenvolvimento da cultura do alho,

toneladas de P na forma de fertilizantes fosfatados são adicionadas ao solo safra após safra, mesmo não sendo o nutriente mais extraído pela cultura do alho (MACEDO et al., 2011). De acordo com Bull et al. (2008), estas elevadas adubações com fósforo são motivadas principalmente pelos solos brasileiros em sua maioria serem ricos em ferro (Fe) e alumínio (Al), com reação destes dois elementos com o P do solo efetuando uma ligação irreversível, tornando o elemento indisponível ao longo do ciclo da cultura, com isso, causando perda de produtividade e onerando o custo de produção da cultura.

Nesse contexto, as pesquisas com o uso de fertilizantes à base de fosfito têm aumentado em atividades agrícolas no Brasil, visando elevar a produtividade e qualidade do produto, devido suas importantes características nutricionais e propriedades de proteção contra pragas e doenças (ÁVILA et al., 2011; DIANESE; BLUM, 2010). Entre os benefícios da aplicação do fosfito foliar está o baixo custo relativo da matéria-prima, a absorção mais rápida e eficiente de fósforo pelas plantas e aumento da resistência dos vegetais a patógenos (MCDONALD; GRANT, 2001; NOJOSA; RESENDE, 2005).

Portanto, fica evidente a necessidade de estudar e conhecer todos os aspectos relacionados à nutrição mineral do alho vernalizado, principalmente em cultivares livres de vírus, por seu maior potencial produtivo. A fim de se determinar as melhores doses, fontes, formas de parcelamento e modo de aplicação dos nutrientes e fertilizantes, que possibilitem melhores produtividades e maior retorno econômico para o produtor de alho, por meio de um manejo racional da adubação.

Diante do exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar as deficiências de macro e micronutrientes e seus efeitos no crescimento, desenvolvimento, estado nutricional e produção do alho vernalizado livre de vírus, e determinar a influência da aplicação de fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e aumento da produtividade do alho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Panorama econômico da cultura do alho no Brasil

No Brasil em 2013 foram colhidos 9.987 hectares e produzidas 109.144 toneladas, com rendimento médio de 10,7 t ha⁻¹ (IBGE, 2014). Os principais estados produtores são: Goiás, Minas Gerais, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Bahia, os quais contribuem com mais de 90% da produção nacional. A maior área colhida se concentra na região Sul (49%), seguida da Centro-Oeste (28,6%), Sudeste (16,30%) e Nordeste (6,1%). Em relação à produção colhida, a região Centro-Oeste foi superior (38,41%) a do Sul (35,10%) e do Sudeste (19,70%). O Centro-Oeste tem se despontado no cenário nacional quanto à produtividade, apresentando média de 15,0 t ha⁻¹, seguida pela região Sudeste com 13,4 t ha⁻¹ (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2014).

O mercado brasileiro apresenta uma demanda da ordem de 265 mil toneladas, distribuídas entre 20,0 e 23,0 mil toneladas de consumo mensal, acrescida de 20,0 a 25,0 mil toneladas anuais, utilizadas no plantio da safra subsequente (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2014).

Em 2013, o alho nacional foi ofertado durante todo ano no mercado brasileiro. No primeiro semestre, o produto foi proveniente do Rio Grande do Sul e no segundo semestre, com a produção originária do Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste. Apesar de o Brasil possuir condições edafoclimáticas favoráveis à cultura e mão-de-obra abundante, ainda não alcançou a autossuficiência na produção de alho, necessitando de importações. A produção nacional atende apenas 40% do consumo interno, os 60% restantes são abastecidos pelo produto importado da China e da Argentina (CONAB, 2014).

A pesquisa agrícola no Brasil tem permitido estabelecer novos rumos à cultura do alho, contribuindo de forma significativa com o aumento da produção do alho nacional. O uso de cultivares nobres livre de vírus, obtidas por meio de cultura de meristemas, aliados às tecnologias já disponíveis, contribuíram de forma relevante no incremento da produtividade e qualidade do alho nacional (SOUZA; MACEDO, 2009). Dessa forma, vislumbra-se em médio prazo, suprir o mercado brasileiro com alho nacional de qualidade durante o ano todo.

2.2 Cultivares

O alho é classificado em dois grandes grupos: ‘Alho Nobre’ e ‘Alho Seminobre’. Os alhos pertencentes ao grupo nobre possuem cabeça redonda com bulbos uniformes e grandes e conseqüentemente, com poucos bulbilhos, não chegando a vinte. Os bulbos têm túnica branca e película de cor rósea ou roxa e apresentam suscetibilidade ao pseudoperfilhamento. Os alhos do grupo seminobre caracterizam-se por possuírem bulbos normalmente ovalados, túnica branca com película branca a levemente arroxeadada (MOTA, 2003).

No grupo do alho seminobre incluem-se aquelas cultivares cujo ciclo compreendendo o período que vai do plantio até a maturação do bulbo, perfaz um total de quatro a cinco meses, ou pouco mais longo. Estas cultivares apresentam bulbos com grande número de bulbilhos, menor conservação pós-colheita e menor valor comercial. São exemplos as cultivares Branco Mineiro, Juréia, Cateto Roxo, Gigante Roxo, Gravatá, Gigante Curitibano e Amarante. A cultivar Cateto Roxo, por apresentar bulbilhos roxos e rusticidade, pode ser uma boa alternativa para pequenos e médios produtores e para o cultivo orgânico, principalmente quando proveniente de cultura de tecidos e visando mercados menos exigentes (MOTA, 2003; SOUZA; MACEDO, 2009).

As cultivares que pertencem ao grupo nobre têm o ciclo significativamente mais longo, atingindo seis meses ou mais. São cultivares mais exigentes em fotoperíodo (mínimo de 13 horas) e em frio. Para serem plantadas nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e microrregiões da Bahia precisam ser vernalizadas. Na região Sul são plantadas sem a necessidade desta prática. Seus bulbos caracterizam-se por possuírem bulbilhos graúdos e em pequeno número, alta capacidade de conservação e obtenção da mais alta cotação comercial, devido à qualidade, comparável à do alho argentino. Por estas características, com o passar dos anos as cultivares nobres substituíram naturalmente as cultivares de alho comum, sendo que atualmente os alhos nobres respondem por cerca de 80% da área cultivada com alho no Brasil (SOUZA; MACEDO, 2009). As cultivares Chonan, Roxo Pérola de Caçador, Quitéria, Jonas, Ito e San Valentin são alguns exemplos deste grupo (MOTA, 2003; SOUZA; MACEDO, 2009).

2.3 Vernalização

A vernalização apenas reduz o fotoperíodo crítico necessário para que ocorra a bulbificação, não eliminando a exigência da cultura a esse aspecto climático. Com isso, o feito mais marcante de vernalização é o aumento da precocidade, especialmente em cultivares de alho com maior exigência de baixa temperatura para o desenvolvimento do bulbo (DEL POZO; GONZALEZ, 2005; RESENDE et al., 2011).

A técnica de vernalização ou frigorificação consiste em armazenar o alho semente em câmara com temperatura de 3 a 5 °C, e umidade relativa entre 70 a 90% por período de 40 a 60 dias. Os bulbilhos devem ser retirados da câmara às vésperas do plantio, uma vez que longo período fora da câmara pode causar a desvernalização e afetar a bulbificação reduzindo a produção (MOTA, 2003;

RESENDE; DUSI; MELO, 2004; RESENDE et al., 2011; SOUZA; MACEDO, 2004).

A vernalização, além de possibilitar a expansão do plantio de alho nobre para novas regiões, auxilia na quebra da dormência dos bulbilhos, antecipa a formação do bulbo e reduz o ciclo da cultura. Desse modo, essa prática possibilita uma melhor oferta de alho de excelente qualidade no período da entressafra, melhorando o abastecimento do mercado e assim, aumentando a competitividade do alho brasileiro perante o produto importado (MOTA, 2003; RESENDE; DUSI; MELO, 2004; RESENDE et al., 2011).

2.4 Alho livre de vírus

A propagação do alho *in vitro* por meio de ápices caulinares, permitindo a recuperação de plantas livres de vírus foi, sem dúvida, um grande avanço tecnológico para essa cultura, pois possibilitou a exploração do máximo potencial produtivo do alho, acobertado durante milênios por ciclos de reprodução vegetativa e acúmulo de viroses (RESENDE et al., 2013; RESENDE; FAQUIN; SOUZA, 2000). A degenerescência ocorre devido à presença de viroses que se perpetuam na cultura em função da propagação vegetativa do alho e seu difícil controle em campo, e com isso provoca a redução da produção e qualidade dos bulbos colhidos. Este tipo de propagação favorece a transmissão de pragas e doenças em plantios sucessivos, acarretando uma perda gradual da capacidade produtiva da planta e da capacidade de conservação do alho no armazenamento (RESENDE et al., 2009).

Apesar de tudo, os benefícios proporcionados por essa tecnologia chegou deficitária aos produtores de alho, sem um programa de manutenção de qualidade acompanhando a tecnologia. Não basta apenas transferir bulbos livres de vírus para os produtores. É preciso garantir a qualidade desses bulbos por

tempo indeterminado, evitando que o produtor tenha que retornar com frequência às instituições de pesquisa para renovação do alho-semente (RESENDE et al, 2013). Segundo Silva, Souza e Pasqual (2010), todas as cultivares livre de vírus apresentam maior produtividade em relação às cultivares de multiplicação convencional ao longo das nove gerações de multiplicação. Entretanto, observaram também uma redução gradativa e constante da produtividade destes materiais livres de vírus ao longo de sucessivos ciclos de exposição destes materiais a condições de reinfecção em campo aberto.

De acordo com Resende et al. (2009, 2013), apesar das plantas livres de vírus apresentam maior vigor vegetativo e produtividade do que as plantas de propagação convencional quando infectadas por vírus, estas características também estariam relacionados com o estado nutricional das plantas, sendo determinante para a expressão de todo o potencial dos materiais livre de vírus.

2.5 Exigências nutricionais

O fornecimento adequado de nutrientes em quantidade e qualidade (fonte, modo e época de aplicação) assume relevante importância para a cultura do alho, visto que a maioria dos solos brasileiros é de baixa fertilidade natural (FONTE, 1997; RESENDE et al., 2009).

A produtividade brasileira de alho encontra-se, ainda, muito aquém do potencial que as cultivares disponíveis no mercado possuem. Contudo, bons produtores têm obtido produtividades de duas a três vezes superiores à média brasileira. Entre tantos fatores que contribuem para essa baixa produtividade, destaca-se o manejo inadequado com a cultura, principalmente nos aspectos relativos à nutrição, adubação e calagem (SOUZA & MACEDO, 2009).

Aperfeiçoar o fornecimento de nutrientes procurando maximizar a produtividade da cultura e a qualidade do alho é o caminho a ser seguido,

principalmente levando-se em conta que a globalização da economia e a formação do Mercosul interferiram significativamente na qualidade do alho ofertado no mercado interno e, conseqüentemente, sobre a alicultura nacional, que precisa cada vez mais fornecer produtos de elevada qualidade comercial para satisfazer um consumidor mais exigente e assim poder concorrer no mesmo patamar com o alho importado (MACEDO, 2008; SOUZA; MACEDO, 2009).

Na cultura do alho, a eliminação de alguns vírus pela cultura de meristema, tem proporcionado aumento significativo no vigor vegetativo das plantas, na produtividade e na qualidade dos bulbos. No entanto, a exigência nutricional do alho oriundo de cultura de tecidos ainda é pouco conhecida e necessita de muitos estudos para o melhor aproveitamento do seu alto potencial produtivo (RESENDE, 1997; RESENDE et al., 2013). Por isso, muitas vezes, a nutrição mineral adequada à cultura é ignorada pelos produtores brasileiros, causando sérios prejuízos não só a produção, como também a conservação pós-colheita dos bulbos (SOUZA; MACEDO, 2009).

O conhecimento das necessidades de nutrientes em função da idade da planta auxilia na indicação da quantidade e época de aplicação dos adubos de cobertura. A extração de nutrientes pelo alho apresenta uma relação bastante direta com o crescimento e desenvolvimento da planta, tendo papel crucial na produtividade de bulbos. O crescimento da cultura se acentua a partir dos 60 dias e cessa aos 150 dias após o plantio, sendo maior acúmulo de massa seca na parte aérea das plantas até os 70 dias e maior acúmulo de massa seca nos bulbos a partir dos 90 dias após o plantio (RESENDE et al., 1999a).

A absorção de todos os nutrientes é diminuta até aos 45 dias, sendo que o N e K são absorvidos intensamente nos períodos subsequentes. Os macronutrientes absorvidos em maior quantidade são N e K, seguidos pela ordem decrescente o Ca, S, P e Mg. A absorção dos micronutrientes é consideravelmente intensa desde o início da cultura, destacando-se o Fe, seguido

de B, Zn, Mn, Cu (RESENDE, 1997; RESENDE, et al., 1999b). O acúmulo de P e N acompanha o crescimento da planta, intensificando a partir dos 50 dias após o plantio, enquanto os teores de Ca e K aumentam até os 75 dias, decrescendo lentamente com o desenvolvimento da planta. Os percentuais de Mg e S atingem sua concentração mais elevada na parte aérea do alho em torno dos 45 dias. (RESENDE et al., 1999b; MACEDO, 2008; SOUZA et al., 2011). Quanto aos micronutrientes, o B, Zn e Cu aumentam a concentração na parte aérea e elevam-se até os 75 dias de ciclo, decrescendo a partir de então. O Fe e Mn são os micronutrientes de concentrações mais elevadas no alho, apresentando teores irregulares com o desenvolvimento da planta (MACEDO, 2008; RESENDE et al., 1999b; SOUZA et al., 2011). Maiores acúmulos de N, P e K foram observados em plantas propagadas por alho-semente que passou pela limpeza viral via cultura de meristema em relação à planta obtida a partir de alho-semente sem limpeza viral (MACEDO et al., 2011; RESENDE et al., 1999b; SOUZA et al., 2011), reflexo do maior vigor vegetativo e produtivo observado nas plantas livres de vírus.

A maioria das pesquisas aponta o nitrogênio como um dos principais fatores que contribuem na incidência de pseudoperfilhamento em alho. Aspectos como a quantidade, época de aplicação e fonte de nitrogênio podem favorecer a ocorrência deste distúrbio. Segundo Resende e Souza (2001), doses de N superiores a 40 kg ha^{-1} apresentaram aumento linear na porcentagem de pseudoperfilhamento com o aumento dos níveis de nitrogênio aplicados na cultivar 'Quitéria' de propagação convencional e conseqüentemente redução da produção comercial de bulbos. No entanto, Fernandes et al. (2011) utilizando alho-semente livre de vírus verificou ausência de pseudoperfilhamento mesmo com a dose de 320 kg ha^{-1} de N usando como fonte nitrato de amônio, aplicados em duas parcelas utilizando a cultivar 'Caçador'. Não informando se houve o uso de estresse hídrico no método de cultivo.

Assim sendo, verifica-se que as cultivares de alho livre de vírus são mais exigentes em nutrição mineral, com melhores respostas produtivas e menos distúrbios fisiológicos, como o pseudoperfilhamento. Dessa maneira, a literatura mostra que à nutrição e adubação do alho vernalizado livre de vírus, ainda possuem muitas lacunas quanto às exigências nutricionais e na identificação de problemas na produção decorrentes de estresses nutricionais, seja por deficiência ou pelo excesso na adubação. Segundo Souza & Macedo (2009), os produtores de alho devem atentar-se para proceder ao manejo diferenciado da adubação em função do genótipo selecionado e das condições do ambiente de cultivo, as quais determinarão modificações na fenologia desta hortaliça, e com isso sua produtividade. Para tanto, o entendimento sobre a nutrição mineral da cultura do alho é de fundamental. Já que o vigor das plantas também está relacionado com o fator nutricional, sendo determinante para a produção de bulbos de alho de maior tamanho, massa e valor comercial.

2.6 Fósforo na nutrição de plantas

O fósforo (P) é essencial para a sobrevivência das plantas, está ligado principalmente ao armazenamento e transporte de energia na forma de ATP (fonte energética para todos os processos metabólicos das plantas) formado no tilacoides das folhas das plantas na fosforilação fotossintética, e como componente das moléculas de DNA e RNA, responsáveis pela informação genética e síntese de proteínas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

É absorvido, preferencialmente, como H_2PO_4^- , consequência não só do efeito do pH na abundância dessa espécie iônica em solução, mas também de um marcante decréscimo da disponibilidade de fósforo com a elevação do pH da solução. Após a absorção, o fósforo é quase que imediatamente incorporado em composto orgânico (RAIJ, 1991). O P acelera a formação de raízes, sendo

componente da membrana celular, passagem obrigatória dos demais nutrientes no processo de absorção e assimilação. Quando deficiente causa menor vegetação, produção, qualidade e senescência precoce e está entre os nutrientes que mais afetam a produtividade agrícola (MALAVOLTA, 2006). O suprimento adequado, desde o início do desenvolvimento vegetal, é importante para a formação dos primórdios das partes vegetativas e reprodutivas (RAIJ, 1991).

Dentre as espécies iônicas originadas do ácido ortofosfórico (H_3PO_4), predomina, na faixa de pH do solo de 4 a 7, a forma de fosfato ($H_2PO_4^-$), que é absorvida pelas raízes das plantas. Geralmente, a concentração de fosfato nas células radiculares e na seiva do xilema é de 100 a 1.000 vezes maior do que a da solução do solo. Isso demonstra que a absorção de fosfato dá-se contra um alto gradiente de concentração, portanto, ele é absorvido ativamente (FAQUIN, 2001).

Nas regiões tropicais e subtropicais, o fósforo é o elemento que mais limita a produção, principalmente em culturas anuais, em função da baixa disponibilidade no solo. Mais 90% das análises de solo no Brasil apresentam teores menores de P disponível. Além da carência generalizada de fósforo nos solos brasileiros, o elemento apresenta forte interação com o solo (fixação), o que reduz a eficiência das adubações fosfatadas (FAQUIN, 2001).

Apesar de o fósforo ser descrito como um macronutriente primário e de máxima importância na adubação, os seus teores nas plantas são bem mais baixos do que os de nitrogênio e potássio, aproximando-se mais dos teores dos macronutrientes secundários. Porém, é um elemento de extrema importância para a qualidade e produção de alimentos, sendo fundamental sua aplicação em todas as culturas para obtenção de altas produtividades (MALAVOLTA, 2006). Por isso, o teor de P requerido para o ótimo crescimento das plantas pode variar, dependendo da espécie vegetal e órgão analisado.

O fósforo é bastante móvel na planta sendo redistribuído com facilidade pelo floema. Dados recentes mostram que o P inorgânico (Pi) está presente também no floema em substancial concentração. Quando as plantas estão adequadamente nutridas em P, de 85% a 95% do P inorgânico total da planta está localizado nos vacúolos. Ocorrendo redução no suprimento de P para as plantas, este Pi sai do vacúolo e é redistribuído para os órgãos novos em crescimento. Dada a fácil redistribuição do fósforo na planta, os sintomas de deficiência manifestam-se inicialmente nas folhas mais velhas (FAQUIN, 2001).

Segundo Filgueira (2000), apesar do fósforo ser o quinto nutriente em ordem de extração pela cultura do alho, é o nutriente que oferece maiores respostas em produtividade e no aumento da massa do bulbo. No alho, a deficiência de fósforo causa redução no crescimento e amarelecimento irregular das folhas mais velhas, progredindo do ápice em direção à base, podendo ser confundida com sintoma de deficiência de nitrogênio (MACEDO et al., 2011).

De acordo com Marschner (1995), folhas deficientes em fósforo têm sua eficiência fotossintética por unidade de clorofila muito reduzida. Assim, o adequado fornecimento deste nutriente é indispensável para que a planta possa expressar todo seu potencial de rendimento e de defesas contra patógenos.

Não se chegou ainda a um consenso com relação às quantidades e fontes de fósforo que proporcionam maiores ganhos em produtividade na cultura do alho nobre livre de vírus. O que se tem observado é que a resposta à adubação fosfatada depende em grande parte da caracterização do solo como o tipo, fertilidade, textura, pH, assim como do tipo de cultivo e seu nível tecnológico de produção (BÜLL et al., 2008; MACEDO et al., 2011). No entanto, o fósforo é fundamental para o equilíbrio fisiológico da planta por constituir como a sua principal fonte de energia. Entretanto, maiores doses de fósforo no solo podem reduzir a absorção de outros nutrientes como Zn, Cu e Fe, causando a

precipitação destes, em razão da elevação do pH do solo (BÜLL; VILLAS BÔAS; NAKAGAWA, 2008; MACEDO et al., 2011; VIDIGAL et al., 2002).

No Brasil, as aplicações de fósforo são realizadas em altas proporções na cultura do alho, principalmente por causa da fixação de grande parte dos fertilizantes fosfatados solúveis (BÜLL et al., 2004; MACEDO et al., 2011). O problema é agravado pelo fato da aplicação de fertilizantes ser feitas em toda a área, seguida pela incorporação no solo a uma profundidade de 20 a 30 centímetros, aumentando consideravelmente a superfície de contato entre o nutriente e o solo, favorecendo a adsorção do P, e diminuindo a disponibilidade deste para a cultura (BÜLL et al., 1998, 2004).

Dada a baixa mobilidade do fósforo no solo (adsorção), estudos sobre o efeito de sua localização, em relação ao sistema radicular sobre o comportamento da planta tem um grande significado prático, especialmente em solos com deficiência de fósforo extrema (NOVAIS; NEVES; BARROS, 1991). Nessa situação, o alcance de altas produtividades, especialmente no primeiro ano de cultivo, dependerá da fosfatagem corretiva, além de adubação localizada no sulco de semeadura.

Büll et al. (2004, 2008) estudaram os efeitos de doses de fósforo (50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e doses de zinco e de suas interações, em diferentes tipos de solo no cultivo do alho vernalizado sob condições de casa de vegetação, e observaram que a produção de bulbos aumentou com as doses de P e foi influenciada pela localização e aplicação do fertilizante fosfatado em solo argiloso, verificando também efeito negativo de altas doses de fósforo sobre a absorção de Zn. Segundo Macedo et al., 2011, doses de P₂O₅ superiores a 200 kg ha⁻¹ reduziram a produção da fitomassa dos bulbos da cultivar de alho vernalizado 'Caçador' proveniente de propagação vegetativa convencional.

Segundo Walters e Bingham (2007), plantas de alho que são bem nutridas em fósforo apresentam maior resistência ao ataque de patógenos e a

distúrbios fisiológicos. Torna-se de fundamental importância o equilíbrio das adubações fosfatadas sobre a produção de bulbos com qualidade superior e dessa forma, proporcionar melhores produtividades e maior retorno econômico ao produtor.

2.7 Avaliação do estado nutricional da cultura

Os sintomas de deficiências nutricionais tornam-se claramente visíveis quando uma deficiência se apresenta em um estágio agudo e a taxa de crescimento é distintamente diminuída (MARSCHNER, 1995). Assim, as plantas desenvolvidas com limitações nutricionais apresentam crescimento vegetativo reduzido e baixa produção, além de deformações morfológicas (BERGMANN, 1992).

A diagnose visual então consiste simplesmente em comparar os aspectos da amostra a ser diagnosticada com a mostra considerada padrão. Na maior parte dos casos compara-se uma amostra constituída de um órgão, geralmente a folha, mas depende do nutriente, porém, a comparação pode ou deve ser feita usando-se outros órgãos, da raiz ao fruto. O motivo pelo qual o sintoma é típico do elemento deve-se ao fato de um dado nutriente exercer sempre as mesmas funções, qualquer que seja a espécie. Deve-se ressaltar que o sintoma visual de deficiência ou toxidez é o último passo de uma série de problemas metabólicos, irreversíveis e que, quando aparece, a produção da cultura já foi limitada sem que a sintomatologia típica se manifeste nas plantas. Trata-se, então, da chamada “fome ou toxidez oculta” e ocorre quando a carência ou excesso são mais leves (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Epstein & Bloom (2004) mencionam três fatos que tornam a diagnose de difícil aplicação tendo apenas a sintomatologia como base. Segundo os autores, os sintomas de certo elemento podem diferir tão grandemente em diferentes

culturas que o conhecimento desses sintomas em uma espécie oferece pouco ou nenhuma ajuda na determinação da mesma deficiência em outra. Além disso, sintomas idênticos ou similares podem resultar de deficiências de diferentes nutrientes. E, por fim, outros fatores podem ocasionar sintomas semelhantes aos descritos para deficiências nutricionais.

Outro método de avaliação do estado nutricional das plantas é o uso de análises químicas de material vegetal que é baseado na premissa de que a quantidade de certo elemento na planta é uma indicação do suprimento existente no solo para aqueles nutrientes específicos e, conseqüentemente, relacionado com a quantidade no solo (CARVALHO; LOPES, 1998; MALAVOLTA, 2006). Além disso, a grande vantagem da análise química das plantas é que essa integra os efeitos do solo, planta, clima e manejo.

A concentração de nutrientes difere não somente em diferentes espécies, mas também nas diversas partes das plantas. Essa variabilidade é afetada pelo tipo de planta, idade fisiológica do tecido, posição do tecido nas plantas, disponibilidade de nutrientes no substrato, concentração de outros nutrientes e vários fatores edafoclimáticos (JONES JUNIOR et al., 1991).

2.8 Adubação foliar

Dentre as várias maneiras de se fornecer nutrientes às plantas, o valor da adubação foliar não pode ser descartado, sendo ela, muitas vezes, a alternativa mais eficiente para a solução de problemas específicos e/ou complemento de uma adubação racional (FAQUIN, 2001; ROSOLEM, 2002).

Tem sido proposta ou utilizada a adubação foliar sob determinadas situações ou condições, que precisam, portanto ser definidas, sendo estas a adubação foliar corretiva, adubação foliar substitutiva, adubação foliar complementar e adubação foliar suplementar. Com a adubação foliar corretiva

objetiva-se corrigir deficiências nutricionais que possam eventualmente ocorrer durante o ciclo da planta. É possível usar a adubação foliar preventiva quando se sabe que um determinado nutriente é deficiente no solo e que a sua aplicação neste não é eficiente. Não se deve pensar que pela adubação foliar substitutiva se possa substituir o fornecimento de nutrientes via solo, embora alguns autores admitam que, em certas espécies, é possível atender às exigências nutricionais da planta, via exclusivamente foliar. Para a maioria das culturas seria, portanto, muito difícil esta substituição, especialmente para os macronutrientes, devido à necessidade de grande número de aplicações, o que tornaria o processo antieconômico. Na adubação foliar complementar uma parte dos adubos é aplicado via solo, convencionalmente, sendo completada pela aplicação foliar. É comum este tipo de adubação em culturas perenes em épocas de maior exigência. No caso da adubação foliar suplementar, o uso da técnica seria feito com um investimento a mais, em culturas de alta produtividade, portanto, sem carência nutricional, pois a adubação no solo seria normal. Nestas condições, a adubação foliar teria a finalidade de garantir a produção pendente em períodos de estresse nutricional (ALSTON, 1979; FAQUIN, 2001; ROSOLEM, 2002).

Para que a solução aplicada molhe adequadamente as folhas, proporcionando um bom contato com a superfície foliar, é necessário, em muitos casos, fazer a adição de adjuvantes (agentes molhantes ou adesivos) à solução, principalmente em plantas com cutícula apresentando altos teores de cera, como alho (ROSOLEM, 2002; STEIN; STOREY, 1986). Macedo et al. (2009), estudando aplicações foliares com micronutriente em plantas de alho, observaram resultados significativos com a adubação foliar. Dessa forma, mostra-se que o fornecimento de nutriente pela adubação foliar em alho é possível, apesar do formato, posição da folha e nível de cera da cutícula ser um obstáculo para esta forma de adubação.

A absorção foliar é obrigatoriamente cuticular, devido ao revestimento da superfície foliar, inclusive a câmara subestomática, pela cutícula. Estudos efetuados com a cutícula foliar isolada enzimaticamente mostraram que a mesma é permeável à difusão de cátions e ânions, mais no sentido de fora para dentro (influxo) do que o contrário (efluxo). Em geral se aceita que a absorção foliar de nutrientes, tal como acontece com a radicular, se processe em duas etapas: a passiva que consiste num processo não metabólico, onde o nutriente aplicado na superfície foliar atravessa a cutícula ocupando o ELA (Espaço Livre Aparente), formado pela parede celular, espaços intercelulares e superfície externa do plasmalema. Seria a ocupação do apoplasto foliar. A ativa constituindo-se num processo metabólico lento que se dá contra um gradiente de concentração e exige o fornecimento de energia (ATP) para vencer as membranas plasmáticas. Seria a ocupação do simplasto foliar. Contrariamente ao que ocorre nas raízes, o elemento absorvido pelas folhas pode atingir o floema tanto pelo apoplasto – por difusão pelas paredes e espaços intercelulares – quanto pelo simplasto, através das comunicações citoplasmáticas, os plasmodesmas. O transporte à longa distância para outros órgãos, quando ocorre, tem lugar principalmente pelo floema, e esse processo exige energia (ATP) (FAQUIN, 2001; ROSOLEM, 2002).

A reação (pH) da solução para aplicação foliar deve ser levemente ácida, com pH entre 4 e 6. A presença da ureia e de K^+ na solução aumentam a absorção foliar de nutrientes, o que justifica a inclusão nas destes elementos nas formulações. A absorção dos nutrientes por meio da adubação foliar às vezes é feita em condições diversas de pH como é o caso do fósforo em que o pH mais indicado está em torno de 3,0 a 5,0. Entretanto as fontes empregadas usualmente como fosfatos (supersimples, fosfato de potássio e MAP) geram pH 7 a 10 em solução, sendo, dessa forma, absorvido apenas 75% do total aplicado. Além disso, há um longo tempo para absorção e assimilação, em torno de 48 a 96

horas após a aplicação. Algumas literaturas relatam tempo de até 16 dias para absorção completa do P quando é usado as fontes fosfatas (H_3PO_4) via foliar, inibindo, desse modo, a aplicação de fósforo foliar, apesar da velocidade e eficiência na absorção do P foliar comparada a adubação via solo seja de quatro a trinta vezes maior em condições de pH ideal (fonte de aplicação/absorção da planta) (ALSTON, 1999; CAMARGO; SILVA, 1975; ROSOLEM, 2002; SANTOS et al., 2006; SHAFER; REED, 1986; STEIN; STOREY, 1986).

Uma das vantagens mais enfatizadas da adubação foliar é o alto índice de utilização, pelas plantas, dos nutrientes aplicados nas folhas em relação à aplicação no solo. No solo, os nutrientes estão sujeitos a reações de insolubilização ou de perdas por lixiviação, ao passo que quando aplicados nas folhas são em grande parte absorvidos. Assim, as doses necessárias na adubação foliar são menores do que na adubação no solo. Contudo, os efeitos residuais da adubação foliar são pequenos, o que exige maior frequência de aplicações (ROSOLEM, 2002).

Entretanto, a despeito do grande aumento no consumo de adubos foliares no Brasil, encontram-se poucas pesquisas conclusivas na literatura brasileira que deem um respaldo agrônomo e econômico. Portanto, a validade das recomendações de forma inquestionável somente quando embasadas experimentalmente. Se forem feitas de forma empírica, sem uma comprovação científica, podem não apresentarem, na maioria das vezes, o efeito benéfico esperado (ou divulgado), como o aumento de produção e da qualidade do produto colhido.

2.9 Fosfito na agricultura

Os fosfitos são largamente estudados em diversos países, dentre os quais o Brasil, nas mais diversas culturas destacando-se as frutíferas, cafeeiro,

olerícolas, soja, milho e feijoeiro (ÁVILA et al., 2012; NOJOSA; RESENDE; RESENDE, 2005).

Fosfitos são derivados do ácido fosforoso (H_3PO_3) que são compostos químicos oxiácidos do fósforo, originários de rochas fosfáticas. A formação do fosfito ocorre por meio da reação de redução entre ácido fosforoso (fitotóxico) e uma base, que pode ser um hidróxido de potássio, hidróxido de magnésio dentre outras (ITO et al., 2002).

A fonte mais usual de fósforo para as plantas são os fertilizantes fosfatados provenientes de ácido fosfórico (H_3PO_4) que em solução aquosa, originam íons fosfato. Os fosfitos possuem um oxigênio a menos e um hidrogênio no seu lugar (PO_3^{-3}) que os fosfatos (PO_4^{-3}) por serem provenientes do ácido fosforoso. Por apresentarem o hidrogênio no lugar do oxigênio, em sua molécula, torna-se mais fácil a sua ligação com outros compostos químicos. Além do que, o íon de fosfito tem aproximadamente 7% a mais de fósforo por molécula de que o fosfato (BLUM, 2008; DIANESE; BLUM, 2010).

O fosfito é translocado sistematicamente na planta via floema e xilema, e quando absorvido nas folhas sua movimentação na planta é via floema por meio da associação deste com fotoassimilados (GUEST; GRANT, 1991; MALUSA; TOSI, 2005). Ele é uma forma de fósforo que é absorvida rapidamente e é muito móvel dentro da planta (BLUM, 2008; DIANESE; BLUM, 2010; LOVATT; MIKKELSEN, 2011; REUVENI, 1997; RICKARD, 2000). Devido a essas características químicas e seu pH ótimo de absorção pelas folhas, o fosfito apresenta maior solubilidade em água, sendo absorvidos pela planta entre 3 a 6 horas após aplicação. Uma vez absorvido, o íon confere uma maior proteção das plantas ao ataque de fungos, podendo permanecer na planta por até 150 dias (BLUM, 2008; BRANDÃO, 2006; DIANESE; BLUM, 2010; ITO et al., 2002; MCDONALD et al., 2001; NOJOSA et al., 2005).

As pesquisas com o fosfito tiveram início em 1983, na Austrália, como protetor de plantas, para o controle de podridão da raiz (*Phytophthora cinnamommi*) do abacate. A ação antifúngica do fosfito foi relatada contra diferentes patógenos nas mais diversas culturas agrícolas (HOFGAARD et al., 2010; MCKAY; FLOYD; BOYD, 1992; SPEISER; BERNER; HASELI, 1999).

Segundo Hofgaard et al. (2010) e McDonald, Grant e Plaxton (2001), o fosfito têm despertado a atenção dos pesquisadores pelas suas qualidades nutricionais e ação fungicida no manejo de vários patógenos de plantas. Estimulando as fitoalexinas, que atuam como um mecanismo natural da planta contra invasão de patógenos, o fosfito atua diretamente sobre os fungos fitopatogênicos.

Sônego e Garrido (2005), com o objetivo de avaliar diversos tipos de fosfito de potássio e de fosfonatos sobre o controle do míldio da videira, verificou que apesar desses produtos não serem considerados produtos fitossanitários, apresentaram-se como alternativas para o controle do míldio da videira, além de proporcionarem o melhor controle em áreas sujeitas a altas pressões da doença quando associados aos fungicidas convencionais.

Brackmann et al. (2004) estudando o efeito de fosfitos para o controle de podridões pós-colheita em maçãs 'Fuji' durante o armazenamento refrigerado, verificou que os frutos tratados com fosfito de potássio apresentaram porcentagem de lesões inferiores ao tratamento testemunha, confirmando as afirmações que contribuem aos fosfitos elevadas ação fungicida.

Em estudos em casa de vegetação, Araújo (2007) avaliando diferentes formulações de fosfito de potássio, sobre *C. gloeosporioides*, verificou que todos os fosfitos de potássio testados reduziram o diâmetro das colônias e a velocidade de crescimento micelial em relação à testemunha. Segundo Lobato et al. (2008), o fosfito confere alto efeito curativo contra o ataque de *Phytophthora infestans*, quando usado em tratamento de tubérculos de batata semente.

O uso de fertilizantes à base de fosfito tem sido testado também como fonte de fósforo em atividades agrícolas no Brasil e no mundo todo, visando aumento na produtividade e na qualidade pós-colheita, devido as importantes propriedades do fosfito, tais como absorção e translocação mais rápida pela planta devido a não fixação de P pelo solo (ÁVILA et al., 2012; NOJOSA et al., 2005; SCHROTTER et al., 2006; VITTI et al., 2005).

Meneghetti (2009) avaliando o efeito de fosfito de potássio sobre o controle de *Phakopsora spp.* em plantações de soja no Rio Grande do Sul observou ganhos significativos na produção de grãos nas parcelas experimentais que receberam doses de fosfito via foliar para controle da ferrugem asiática, mesmo não controlando a doença nas formas de aplicação e doses de testadas.

Vitti et al. (2005) observaram aumento no vigor das plantas em soqueira de cana-com com ganho de produtividade após aplicação de fosfito de potássio em adubação via foliar. No entanto, em estudo com feijão e milho, Ávila et al. (2011, 2012) observaram que adubação com fosfito não supriram adequadamente as necessidades de P pelo feijoeiro cultivado em vaso em solo com baixo teor de fósforo e de plantas de milho cultivadas em solução nutritiva.

Assim sendo, os agricultores devem identificar suas metas com relação ao que se espera da produção (aumento de rendimento, tamanho de frutos, controle de patógenos e qualidade pós-colheita) e com isso programar adequadamente as aplicações de fosfito, pois os fertilizantes à base de fosfito reagem de forma diferente com as diversas espécies de plantas e suas formas de manejo, podem apresentar um potencial fitotóxico e induzir reações adversas com outros materiais utilizados na agricultura, como microelementos e defensivos agrícolas (LOVATT E MIKKELSEN, 2011).

REFERÊNCIAS

- ALSTON, A. M. Effects of soil water content and foliar fertilization with nitrogen and phosphorus in late season on the yield and composition de wheat. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 30, p. 577-585, 1979.
- ARAÚJO, L. **Modo de ação do fosfito de potássio e da ulvana sobre a Mancha Foliar da Gala (*Colletotrichum gloeosporioides*) em macieira**. 2007. 66 p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007.
- ÁVILA, F. W. et al. Phosphite as phosphorus source to grain yield of common bean plants grown in soils under low or adequate phosphate availability. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 6, p. 639-648, nov./dez. 2012.
- ÁVILA, F. W. et al. Phosphite supply affects phosphorus nutrition and biochemical responses in maize plants. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 5, n. 6, p. 646-653, 2011.
- BERGMANN, W. **Nutrition disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis**. New York: G. Fischer, 1992. 741 p.
- BLUM, L. E. B. Fosfito e fungicidas podem incrementar seu lucro. **Campo e Negócios**, Uberlândia, v. 64, n. 1, p. 12-18, 2008.
- BRACKMANN, A. et al. Fosfitos para controle de podridões pós-colheita em maçãs 'Fuji' durante o armazenamento refrigerado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 251-254, 2004.
- BRANDÃO, R. P. Fosfito estimula a autodefesa das plantas contra doenças fungicas. **Informativo Bio Soja**, São Joaquim da Barra, ano 2, n. 3, p. 1-16, 2006.
- BÜLL, L. T. et al. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 516-521, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162004000500009>. Acesso em: 29 jul. 2008.

BÜLL, L. T. et al. Doses de fósforo e zinco na cultura do alho em condições de casa de vegetação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 941-949, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052008000400017>. Acesso em: 1 jan. 2010.

BÜLL, L. T. et al. 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, MG, v. 22, n. 3, p. 458-470, jul./set. 1998.

CAMARGO, P. N.; SILVA, O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo: Herba, 1975. 258 p.

CARVALHO, J. G. de; LOPES, A. S. **Método de diagnose da fertilidade do solo e de avaliação do estado nutricional das plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 116 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Conjuntura anual do alho 2014**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_02_12_11_42_51_al_hodezembro2013.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2014.

DEL POZO, A.; GONZÁLEZ, M. I. Developmental responses of garlic (*Allium sativum* L.) to temperature and photoperiod. **Agricultura Técnica**, Chillán, v. 65, n. 2, p. 119-126, 2005.

DIANESE, A. C.; BLUM, L. E. B. **O uso de fosfitos no manejo de doenças fúngicas em frutíferas e soja**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010. 29 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Mineral nutrition of plant**. Sunderlands: Sinauer Associates, 2004. 403 p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 227 p.

FERNANDES, L. J. C. et al. Contribuição das concentrações de nitrogênio em bulbilhos de alho tratados com doses de N em cobertura. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 26-31, jan./mar. 2011.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 402 p.

FONTES, R. R. Adubação. In: MENEZES SOBRINHO, J. A. de (Org.). **Cultivo do alho (*Allium sativum* L.)**. Brasília: EMBRAPA, 1997. p. 3-4. (Instruções Técnicas da Embrapa Hortaliças, 2).

GUEST, D. I.; GRANT, B. R. The complex action of phosphonates antifungal agents. **Biological Review**, Cambridge, v. 66, n. 2, p. 59-187, May 1991.

HOAGLAND, D.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soil**. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1950. 31 p. (Circular, 347).

HOFGAARD, I. S. et al. The effect of potential resistance inducers on development of *Microdochium majus* and *Fusarium culmorum* in winter wheat. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 128, n. 2, p. 269-281, Oct. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <<http://www.siDra.Ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 maio 2014.

ITO, H. A. et al. Eletrodo modificado em filme de paládio para a determinação voltamétrica de fosfito. **Eclética Química**, São Paulo, v. 27, p. 161-168, 2002. Número especial.

JONES JUNIOR, J. B. et al. **Plant analysis handbook: a practical sampling preparation, analysis, and interpretation guide**. Athens: Micro-Macro, 1991. 213 p.

LOBATO, M. C. et al. Phosphite compounds reduce disease severity in potato seed tubers and foliage. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 122, n. 3, p. 349-358, Nov. 2008.

LOVATT, C. J.; MIKKELSEN, R. L. **Phosphite fertilizers: what are they? can you use them? what can they do? better crops with plant food**. Disponível em: <<http://www.ipni.net/ppiweb/bcrops.nsf>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

MACÊDO, F. S. **Marcha de absorção de nutrientes e produtividade em alho vernalizado proveniente de cultura de meristemas**. 2008. 63 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MACÊDO, F. S. et al. Produtividade de alho vernalizado em função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 657-663, set. 2009.

MACÊDO, F. S. et al. Produtividade de alho vernalizado em função de fontes e doses de fósforo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 3, p. 379-383, mar. 2011.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MALUSA, E.; TOSI, L. Phosphorus acid residues in apples after foliar 44 fertilization: results of field trials. **Food Additives and Contaminants**, London, v. 22, n. 6, p. 541-548, June 2005.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1995. 889 p.

MCDONALD, A. E.; GRANT, B.; PLAXTON, W. C. Phosphite (phosphorous acid): its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. **Journal Plant Nutrition**, New York, v. 24, n. 10, p. 1505-1519, 2001.

MCKAY, A. G.; FLOYD, R. M.; BOYD, C. J. Phosphonic acid compounds controls downy mildew (*Peronospora parasitica*) in cauliflower curds. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 32, n. 1, p. 127-129, 1992.

MENEGHETTI, R. C. **Avaliação do fosfito de potássio sobre o progresso de *Phakopsora pachyrhizi* em soja**. 2009. 65 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MOTA, J. H. **Diversidade genética e características morfológicas, físico-químicas e produtivas de cultivares de *Allium sativum* L.** 2003. 66 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

NOJOSA, G. B. de A.; RESENDE, M. L. V.; RESENDE, A. V. Uso de fosfitos e silicatos na indução de resistência. In: CAVALCANTI, L. et al. (Ed.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 24-26.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. de et al. (Coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA, 1991. p. 189-253.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; POTAFOS, 1991. 343 p.

RESENDE, F. V. **Crescimento, absorção de nutrientes, resposta à adubação nitrogenada e qualidade de bulbos de alho proveniente de cultura de tecidos**. 1997. 139 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

RESENDE, F. V.; DUSI, A. N.; MELO, W. F. de. **Recomendações básicas para a produção de alho em pequenas propriedades**. Brasília: EMBRAPA/CNPH, 2004. 11 p. (Comunicado Técnico, 22).

RESENDE, F. V. et al. Acúmulo de matéria seca e exigências nutricionais de plantas de alho provenientes de cultura de tecidos e de propagação convencional. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 3, p. 220-226, mar. 1999a.

RESENDE, F. V. et al. Comparação do crescimento e produção entre alho proveniente de cultura de tecidos e de multiplicação convencional. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 118-124, 1999b.

RESENDE, F. V. et al. Obtenção de plantas livres de vírus e produção de alho-semente de alta qualidade fisiológica e fitossanitária. In: SOUZA, R. J.; MACÊDO, F. S. (Ed.). **Cultura do alho: tecnologias modernas de produção**. Lavras: UFLA, 2009. p. 174-209.

RESENDE, F. V. et al. **Viroses do alho no Brasil: importância e principais medidas de controle**. Brasília: EMBRAPA/CNPH, 2013. 11 p. (Comunicado Técnico, 122).

RESENDE, F. V.; FAQUIN, V.; SOUZA, R. J. de. Efeito da adubação nitrogenada no crescimento e na produção de alho proveniente de cultura de tecidos e multiplicação convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 49-57, 2000.

RESENDE, F. V.; GUALBERTO, R.; SOUZA, R. J. Crescimento e produção de clones de alho provenientes de cultura de tecidos e propagação convencional. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 61-66, 2000.

RESENDE, G. M.; SOUZA, R. J. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio sobre a produtividade e características comerciais de alho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 126-129, jul. 2001.

RESENDE, J. T. V. et al. Vernalização e épocas de plantio de alho em Guarapuava, PR. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 193-198, 2011.

REUVENI, M. Post-infections of K_2PO_3 , phosphorous acid and dimethomorph inhibit development of downy mildew caused by *Plasmopara viticola* on grapevines. **Journal of Small Fruits & Viticulture**, Binghamton, v. 5, n. 22, p. 27-38, 1997.

RICKARD, D. A. Review of phosphorus acid and its salts as fertilizer materials. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 23, n. 2, p. 161-180, 2000.

ROSOLEM, C. A. **Recomendação e aplicação de nutrientes via foliar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 98 p.

SAHFER, W. E.; REED, D. W. The foliar absorption of potassium from organic and phosphorous. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 9, p. 143-157, 1986.

SANTOS, M. G. et al. Foliar phosphorus supply and CO_2 assimilation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water deficit. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacases, v. 18, n. 3, p. 407-411, 2006.

SCHRÖETTER, S. et al. Effects of phosphite on phosphorus supply and growth of corn (*Zea mays*). **Landbauforschung Volkenrode Agricultural Research**, Braunschweig, v. 56, n. 3/4, p. 87-99, Sept. 2006.

SILVA, E. C.; SOUZA, R. J. de; PASQUAL, M. Yield of garlic cultivar for nine consecutive years after the tissue culture. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 692-697, Sept./Oct. 2010.

SÔNIGO, O. R.; GARRIDO, L. da R. **Avaliação da eficácia de algumas marcas comerciais de fosfito de potássio e de fosfanato de potássio no controle do míldio da videira**. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2005. 13 p. (Circular Técnica, 60).

SOUZA, R. J. et al. Absorção de nutrientes em alho vernalizado proveniente de cultura de meristemas cultivado sob doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 4, p. 498-503, dez. 2011.

SOUZA, R. J.; MACÊDO, F. S. **Cultura do alho: tecnologias modernas de produção**. Lavras: UFLA, 2009. 181 p.

SOUZA, R. J.; MACEDO, F. S. Vernalização de cultivares de alho nobre na região de Lavras. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-654, 2004.

SPEISER, B.; BERNER, A.; HASELI, A. Control of downy mildew of grapevine with potassium phosphonate: effectivity and phosphonate residues in wine. **Biological Agriculture and Horticulture**, Oxon, v. 17, n. 4, p. 305-312, 1999.

STEIN, L. A.; STOREY, J. B. Influence of adjuvants on foliar asorption on nitrogen and phosphorous by garlic. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 11, p. 829-832, 1986.

VIDIGAL, S. M. et al. Nutrição mineral e adubação da cebola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 218, p. 36-50, 2002.

VITTI, G. C. et al. Utilização de fosfito em cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE CANA-DE-AÇÚCAR, 10., 2005, Piracicaba. **Resumos...** Campinas: Intercuf, 2005. p. 17.

WALTERS, D. R.; BINGHAM, I. J. Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plant disease control. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 151, n. 3, p. 307-324, Dec. 2007.

**CAPÍTULO II – Desenvolvimento e sintomas visuais de deficiência
nutricional do alho vernalizado livre de vírus**

RESUMO

Mesmo sendo uma cultura economicamente e socialmente importante no Brasil, poucos são os trabalhos de pesquisa sobre a descrição de sintomas de deficiências nutricionais da cultura do alho, principalmente em cultivares do grupo de alho nobre, oriundo do plantio de alho-semente livre de vírus. Diante do exposto, o objetivo com a realização deste trabalho foi avaliar o efeito da omissão de nutrientes no desenvolvimento de plantas de alho vernalizado livre de vírus, assim como descrever sintomas visuais de deficiência nutricional. O experimento foi realizado em casa-de-vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições e doze tratamentos, sendo eles: Solução Hoagland e Arnon completa, soluções nutritivas com omissões de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn. Após o início dos tratamentos as plantas foram observadas, verificando-se as alterações decorrentes das omissões de nutrientes, sendo os sintomas caracterizados, fotografados durante o período experimental. As omissões nutricionais afetaram o desenvolvimento das plantas de alho que refletiram em alterações morfológicas. De maneira geral, as deficiências nutricionais foram traduzidas em sintomas visuais, a maioria, nas folhas, mas também nas raízes e bulbos. Todos os nutrientes mostraram sintomas visuais de deficiência nas plantas de alho, exceto o enxofre, o cobre e o manganês.

Palavras-chave: *Allium sativum* L., Cultura de tecidos, Nutrição Mineral.

ABSTRACT

Even being a culture economically and socially important in Brazil, there are few research studies on the description of symptoms of nutritional deficiencies for garlic, mainly in the group of noble garlic cultivars, arising from planting seed garlic free of virus. Given the above, the purpose of this study was to evaluate the effect of nutrient deficiency in the development of vernalized garlic plants free of virus and to describe visual symptoms of nutritional deficiency. The objective of the present study was to characterize morphological and visual symptoms of nutrient deficiencies in vernalized garlic plants free of virus in nutrient solution. The experiment was conducted in a greenhouse at the Department of Soil Science at UFLA. The experimental design was completely randomized with four replications and twelve treatments, namely: Complete Hoagland and Arnon Solution, nutrient solutions with omission of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn. After the beginning of the treatment, the plants were observed, and changes arising from nutrient deficiency were characterized and photographed during the trial period. Nutritional deficiencies affected the growth and development of garlic plants. In general, nutritional deficiencies have been translated into visual symptoms, mainly in the leaves, but also in roots and bulbs. All nutrients showed visual symptoms of nutrient deficiency in garlic plants, except for sulfur, copper and manganese.

Key words: *Allium sativum* L., Tissue culture, Mineral Nutrition.

1 INTRODUÇÃO

Apesar de ser uma cultura economicamente e socialmente importante no Brasil, poucos são os trabalhos de pesquisa sobre a descrição de sintomas de deficiências nutricionais da cultura do alho, principalmente em cultivares do grupo de alho nobre, oriundo do plantio de alho-semente livre de vírus.

Algumas técnicas de cultura de tecidos, com destaque para cultura de meristemas, têm sido utilizadas com êxito, visando recuperar a sanidade de clones de alhos infectados por viroses. No entanto, a exigência nutricional e os danos causados por deficiências minerais na cultura do alho vernalizado utilizando alho-semente multiplicado por cultura de tecidos no plantio ainda são pouco conhecidas (RESENDE et al., 2009, 2013). Portanto, o estudo dos danos causados e a utilização de nutrientes em plantas provenientes de cultura de tecidos tornam-se necessários visando identificar e adequar à exigência nutricional às recomendações de adubação para esses materiais em lavouras comerciais (RESENDE, 1997; RESENDE et al., 2013; SOUZA; MACEDO, 2009).

O estado nutricional das plantas pode ser determinado por meio de procedimentos indiretos e diretos. Os indiretos são aqueles em que a concentração de determinado nutriente na planta é estimada por meio de uma característica cujos valores sejam correlacionados com as concentrações dos nutrientes nas plantas. Por sua vez, os procedimentos diretos são aqueles em que as concentrações aparentes e, ou, reais, são determinadas (MALAVOLTA, 2006).

A diagnose do estado nutricional pela análise visual, determinado por meio direto, consiste meramente em comparar o aspecto da amostra com o do padrão (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Entretanto, é de

conhecimento geral que algumas espécies demonstram sintomas de deficiência nutricionais com algumas peculiaridades, às vezes não sendo regra um sintoma descrito para maioria das plantas (RODAS, 2008).

Os sintomas visuais de deficiência ou excesso podem ser considerados como o fim de uma sequência de eventos que começa com uma lesão em nível molecular, continua com alterações subcelular, depois celular e, quando um conjunto de células ou tecido é afetado, aparece o sintoma visual (MALAVOLTA, 2006). Dessa forma, os sintomas tornam-se claramente visíveis quando uma deficiência se apresenta em estágio agudo e a taxa de crescimento e produção é distintamente diminuída. Por isso, a diagnose visual pode ser especialmente complicada no caso de plantas crescendo no campo de produção, quando um ou mais nutrientes minerais estão em níveis inadequados ou quando a deficiência desse nutriente ocorre simultaneamente com a toxidez de outro nutriente, além da presença de pragas e doenças ou outras injúrias mecânicas (MARSCHNER, 1995). Assim sendo, a suposição básica é de que sob ambiente controlado, os efeitos de diversos nutrientes minerais sobre o crescimento da planta podem ser mais facilmente estudados do que no campo, obtendo-se, dessa forma, resultados mais precisos.

O objetivo com a realização do presente trabalho foi avaliar o efeito da omissão de nutrientes no desenvolvimento de plantas de alho vernalizado livre de vírus, assim como descrever os sintomas visuais de deficiência nutricional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizado no município de Lavras, sul de Minas Gerais. O município está situado a 21° 14' de latitude sul e a 45° 00' de longitude oeste de Greenwich a uma altitude de 918 m, e com temperatura média de 19,3 °C. O clima da região é classificado Cwb, com inverno seco e verão chuvoso, subtropical, de acordo com a classificação de Köppen (BRASIL, 1992). O experimento foi executado no período de abril a setembro de 2013.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com doze tratamentos e quatro repetições e, representados por: Solução de Hoagland e Arnon (1950) completa, solução nutritiva de omissão de N (-N), solução nutritiva de omissão de P (-P), solução nutritiva de omissão de K (-K), solução nutritiva de omissão de Ca (-Ca), solução nutritiva de omissão de Mg (-Mg), solução nutritiva de omissão de S (-S), solução nutritiva de omissão de B (-B), solução nutritiva de omissão de Cu (-Cu), solução nutritiva de omissão de Fe (-Fe), solução nutritiva de omissão de Mn (-Mn) e solução nutritiva de omissão de Zn (-Zn). A parcela foi composta por um vaso com volume de dois litros contendo uma planta por vaso.

A cultivar de alho nobre utilizadas foi a 'Ito'. O bulbilho-semente livre de vírus foi obtido por meio de cultura de tecidos e termoterapia, aclimatizados em casa de vegetação e multiplicados por três gerações em telado antiafídeo no Setor de Olericultura do Departamento de Agricultura da UFLA.

Após passarem por um período de vernalização (50 dias a 4 °C, ± 2 °C) os bulbilhos foram semeados em bandejas de isopor de 58 células contendo vermiculita. Aos 10 dias após a emergência (DAE) as mudas foram transferidas

para uma bandeja plástica contendo 36 L de solução referente à Hoagland & Arnon completa, com aeração constante, nas concentrações 25 e 50 da sua força iônica, as quais ficaram um período de sete dias em cada concentração. Após o período de adaptação ao meio hidropônico, as plantas foram individualizadas em vasos plásticos com capacidade para dois litros, com aeração constante e a injeção de ar no meio hidropônico por meio de um compressor que canaliza o ar através de tubos de pvc, e esses, por sua vez, para uma linha secundária feita de plástico maleável. Por meio desses foram feitas conexões, via agulha hipodérmica e mangueira de aquário. Foram utilizadas placas de isopor de quatro centímetros de espessura como suporte para as plantas. As soluções eram trocadas quinzenalmente durante o período experimental (Rodas, 2008).

Na preparação de todas as soluções estoques dos nutrientes empregaram-se reagentes P.A. As soluções nutritivas foram preparadas utilizando-se água deionizada, sendo o pH da solução ajustado para 5,5 ($\pm 0,2$), usando HCl e NaOH a 0,5 M, quando esta se encontrava acima ou abaixo desta faixa e, durante o intervalo de renovação das soluções, o volume dos vasos foi completado, sempre que necessário (diariamente), utilizando-se água deionizada, sempre mantendo o nível da água abaixo da altura dos bulbos das plantas, mas sempre com as raízes submersas em solução.

Durante o ciclo de cultivo da cultivar Ito (120 dias), à medida que surgiam os sintomas de deficiência nutricional nas plantas, estes eram descritos e fotografados.

Em intervalos semanais eram medidas a altura de planta com uma régua de madeira (150 cm), número de folhas fotossinteticamente ativas. O diâmetro do pseudocaule foi avaliado por meio de um paquímetro digital 727 da marca Starret (precisão de 0,01 mm). A partir dos 80 DAE foi avaliada também a razão bulbar que mede a relação entre o diâmetro do pseudocaule e diâmetro do bulbo em formação, fornecendo uma estimativa da taxa de bulbificação da planta.

Foram realizadas avaliações do índice relativo de clorofila (IRC) aos 30, 45, 60, 75 e 90 DAE, com oito leituras por parcela e quatro folhas por planta. O IRC foi determinado com o auxílio do clorofilômetro, modelo SPAD-502 da Minolta Corporation Ltda. (MINOLTA, 1989), amostrando-se a parte central das folhas recentemente expandidas e fisiologicamente maduras, com o cuidado de não atingir a nervura central (RAIJ et al., 1996).

Após a colheita das plantas e um período de cura de 30 dias, os bulbos e bulbilhos também foram descritos e fotografados.

De forma preliminar às análises de variância procedeu-se ao teste de homogeneidade de variâncias (teste de Bartlett a 5% de significância). Além disso, verificou-se a normalidade dos resíduos (teste Shapiro-Wilk a 5% de significância). Para todas as variáveis avaliadas não foram observados desvios em relação a esses pressupostos da análise.

Os dados foram submetidos à análise de variância, com realização do teste F, e as médias dos tratamentos qualitativos foram comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% probabilidade por meio do software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2003).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as omissões nutricionais apresentaram sintomas característicos de deficiência na cultura do alho, exceto a deficiência de enxofre, cobre e manganês.

3.1 Deficiência de nitrogênio

As plantas cultivadas em solução nutritiva com omissão de nitrogênio inicialmente apresentaram uma clorose generalizada, acentuada em folhas mais velhas (Figura 1). As folhas do tratamento sob omissão de nitrogênio entraram em senescência mais rapidamente, quando comparadas com folhas do tratamento Completo (solução padrão sem omissão de nutrientes). As plantas sob deficiência desse nutriente apresentaram crescimento e desenvolvimento retardados. O sistema radicular também foi modificado pela carência de nitrogênio, apresentando um crescimento desordenado, causando um maior alongamento das raízes quando comparadas ao padrão. O alongamento das raízes pode ter sido um artifício encontrado pela planta para tentar explorar maiores porções de solo (solução) a procura do nutriente. Não houve formação do bulbo, pois as plantas entraram em senescência precocemente, antes da diferenciação bulbar, devido à severidade dos sintomas da carência de N nas plantas de alho.

A clorose generalizada (ESPTEIN; BLOOM, 2004; MALAVOLTA, 1980, 2006) são os sintomas característicos da deficiência de nitrogênio. Dos nutrientes, o nitrogênio é o único que as plantas podem translocar e redistribuir imediatamente (BERGMANN, 1992). Dessa forma, Espstein e Bloom (2004) explicam que as folhas mais velhas são as primeiras a se tornarem afetadas, devido à redistribuição, e as folhas mais novas são afetadas posteriormente.



Figura 1 Sintomas visuais de deficiência de nitrogênio em planta de alho: aspecto geral da planta sob deficiência (direita) comparada com a planta do tratamento Completo (esquerda).

A ocorrência de sintoma visual de deficiência de nitrogênio caracterizado pela clorose das folhas mais velhas é explicada por Mengel e Kirkby (1987) no qual, quando o suprimento de nitrogênio para as raízes é inadequado, o nutriente das folhas mais velhas é mobilizado para as partes mais novas da planta. As proteínas das folhas mais velhas são redistribuídas para tecidos e folhas novas, logo após sofrerem proteólises, sendo hidrolisadas e resultando em aminoácidos. A proteólise resulta no colapso dos cloroplastos e assim ocorre um declínio dos teores de clorofila, culminado num amarelecimento das folhas mais velhas.

Entretanto, a desmontagem dos complexos pigmentos-proteínas causa a liberação de clorofila que são potencialmente tóxicos às plantas, podendo causar danos foto-oxidativos. As clorofilas devem então ser degradada até compostos de clorofila altamente reativos que são liberados dos complexos proteína-pigmentos constituintes das membranas tilacoides dos cloroplastos (SOUZA; FERNANDES, 2006).

O nitrogênio exerce grande influência no desenvolvimento vegetativo, na produtividade e na qualidade do bulbo. A deficiência diminuiu o vigor das plantas e a produtividade do alho.

3.2 Deficiência de fósforo

As plantas cultivadas em solução nutritiva sob omissão de fósforo inicialmente apresentam crescimento retardado, quando comparadas com as plantas do tratamento Completo (Figura 2A). As plantas apresentam menor número de folhas e menos desenvolvidas. Com o aumento da intensidade dos sintomas a planta sob omissão entrou em senescência precoce sem apresentar sintomas de roxeamento do limbo foliar das folhas mais velhas como descrito na literatura para outras espécies de plantas. Houve um desenvolvimento anormal

das raízes na omissão de fósforo, tornando-se mais longas que as do tratamento padrão (Figura 2B). Observou-se má formação dos bulbos, da túnica protetora, menor número de bulbilhos e redução da massa dos bulbilhos (Figura 2C). Segundo Büll et al. 2008, o fósforo apresenta efeitos marcantes sobre a altura, massa fresca das plantas de alho, com redução no tamanho de bulbos, tamanho de bulbilho e número de bulbilhos por bulbo.

Os sintomas de deficiência de fósforo não são tão marcantes com os dos outros nutrientes, e seus efeitos mais evidentes são uma redução do crescimento como um todo. Mesmo assim, pode-se observar em plantas deficientes uma coloração verde-escuro nas folhas mais novas, amarelecimento desuniforme das folhas mais velhas do ápice para base semelhante à deficiência de nitrogênio (ARAÚJO; MACHADO, 2006). Essa característica de folhas mais novas com tonalidade verde-escura é explicada pelo reduzido crescimento das folhas, não afetando inicialmente a síntese de clorofila. Assim, há um aumento da concentração de clorofila por unidade de área foliar proporcionando uma cor mais escura (BERGMANN, 1992).

Segundo Macedo et al (2011), a deficiência de P em alho causa redução no crescimento e amarelecimento irregular das folhas mais velhas, causando grande perda da produtividade comercial e qualidade dos bulbos.



Figura 2 Sintomas visuais de deficiência de fósforo em planta de alho (A): aspecto geral da planta sob deficiência (direita) comparada com a planta do tratamento Completo (esquerda), detalhe das raízes (B) e bulbos de alho (C): aspecto geral dos bulbo de plantas sob deficiência (direita) comparada com os bulbos do tratamento Completo (esquerda).

Segundo Goor e Lune (1980), os elementos considerados relativamente móveis no floema tem um gradiente de aumento das folhas mais velhas para as mais novas. Sendo assim, os sintomas de deficiência surgem nas mais velhas caso o nutriente seja móvel, como é o caso do fósforo. Plantas sob deficiência prolongada de fósforo podem apresentar manchas necróticas marrons escuras nas folhas velhas, lesões necróticas nas margens das folhas e morte e queda de folhas mais velhas.

O baixo suprimento de fósforo diminui a área foliar, em consequência principalmente da redução do número de folhas e, posteriormente, da limitação da expansão foliar (RODRIGUEZ; KELTJENS; GOUDRIAAN, 1998).

Em contraste com o crescimento da parte aérea, o crescimento de raízes é muito menos inibido sob deficiência de fósforo, acarretando numa típica diminuição da relação da massa seca da parte aérea/raiz (GRANT et al., 2001). Grant et al., (2001) explicam que as plantas apresentam alguns mecanismos de adaptação para melhorar seu acesso aos estoques de fósforo em condições de deficiência desse nutriente, um deles é o aumento do volume e do comprimento do sistema radicular, desenvolvendo rapidamente as raízes laterais.

O fósforo na planta tem a função no armazenamento e transporte de energia na forma de ATP e como componente das moléculas de DNA e RNA, responsáveis pela informação genética e síntese de proteínas. É componente dos lipídeos da membrana celular. Sua deficiência causa menor vigor, perda de qualidade da produção e senescência precoce (MALAVOLTA, 2006).

3.3 Deficiência de potássio

As plantas cultivadas em solução nutritiva sob omissão de potássio apresentaram queda significativa na produção de massa fresca da parte aérea e das raízes, quando comparadas às plantas do tratamento Completo (Figura 3A).

Tanto as folhas novas quanto as velhas apresentaram características de murchamento constante. As folhas mais velhas apresentaram clorose iniciada do ápice para a base e necrose marginal, com secamento e senescência precoce das folhas (Figura 3D). Com a intensificação dos sintomas, ocorreu necrose no pseudocaule levando as plantas ao tombamento (Figura 3C). O sistema radicular foi também comprometido pela omissão de potássio, observando um escurecimento das raízes (Figura 3B). Houve má formação dos bulbos, com redução no tamanho e formato, e com alteração na pigmentação da túnica dos bulbos (branqueamento) e bulbilhos (estrias longitudinais) (Figura 4).

O potássio desempenha um importante papel na regulação osmótica das células vegetais, principalmente na abertura e fechamento estomático. Esse nutriente também ativa muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese. O primeiro sintoma visível da deficiência de potássio é clorose nos ápice foliares, nas margens e entre nervuras. Em algumas monocotiledôneas, essas lesões necróticas podem formar-se inicialmente nos ápices foliares e nas margens e, então estender-se em direção à base. Como o potássio pode ser remobilizado para folhas mais jovens, esses sintomas aparecem inicialmente nas folhas mais maduras da base da planta. As folhas podem também curvar-se e secar (TAIZ; ZEIGER, 2004).

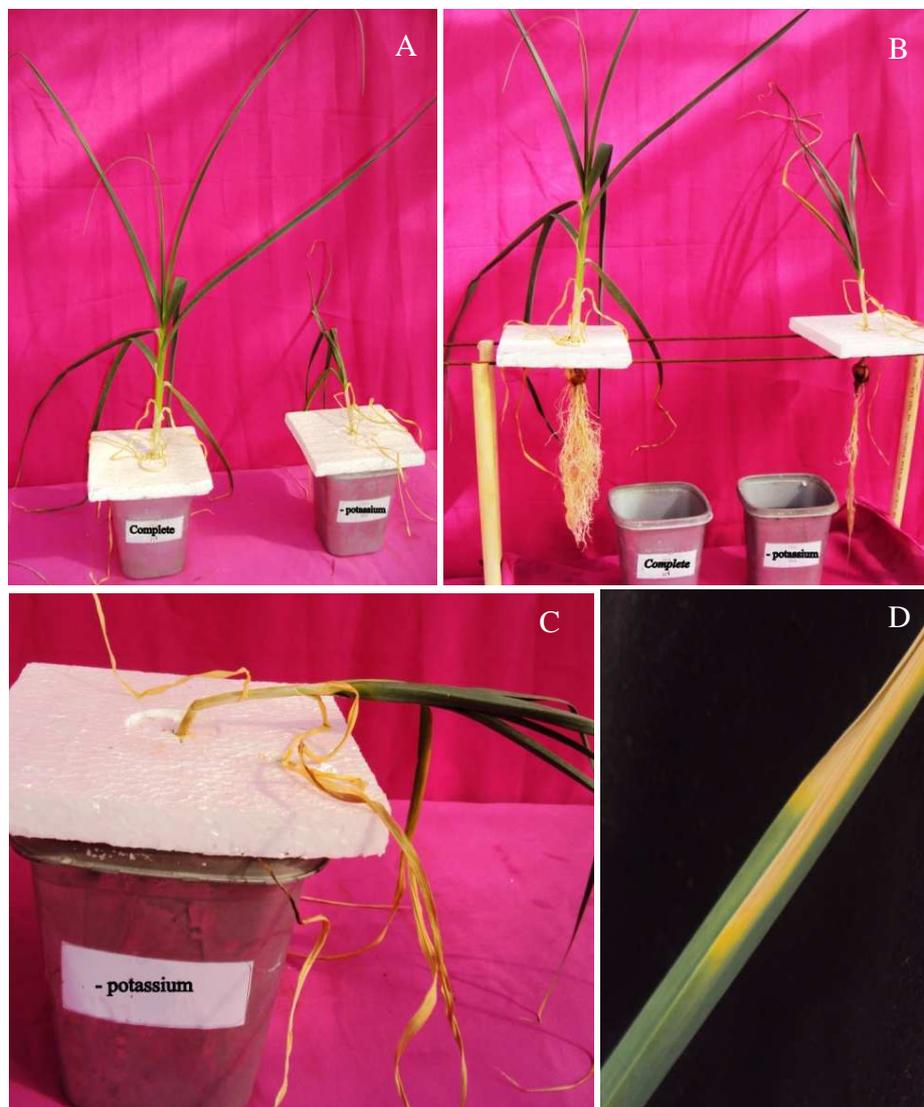


Figura 3 Sintomas visuais de deficiência de potássio em planta de alho: aspecto geral da planta sob deficiência (direita) comparada com a planta do tratamento Completo (esquerda), aspecto das raízes, (B) necrose no pseudocaule (C), clorose e necrose nas margens da folha (D).



Figura 4 Aspecto geral dos bulbos das plantas sob deficiência de potássio (direita) comparada com os bulbos do tratamento Completo (esquerda).

Segundo Malavolta (2006), uma das razões possíveis para a alta exigência de potássio pelas culturas seja a necessidade de concentrações elevadas no citoplasma para garantir atividade enzimática ótima, tendo em vista, que esse nutriente é responsável pela ativação de mais de cinquenta enzimas. A alta exigência em potássio, por cultura que armazena compostos orgânicos nos bulbos, também pode ser explicada pela sua função, atuando no transporte fotoassimilados das folhas para os órgãos de reserva (FAQUIN, 2001; MACEDO, 2008).

3.4 Deficiência de cálcio

Devido à severidade dos sintomas observados, foi necessário que esse tratamento fosse rapidamente coletado, evitando-se a morte das plantas, para obtenção do material para as análises químicas.

As plantas cultivadas em solução nutritiva sob omissão de cálcio inicialmente apresentaram crescimento retardado, quando comparadas às plantas do tratamento Completo (Figura 5A). Os sintomas visuais de deficiência de cálcio foram caracterizados por clorose seguida por necrose das margens das folhas mais jovens das plantas cultivadas em solução nutritiva sob omissão desse nutriente (Figura 5B). Com avanço da deficiência, essa necrose marginal progrediu para manchas necróticas localizadas no limbo, tomando toda área foliar e houve a morte da gema apical (Figura 5C). Não houve formação do bulbo, pois as plantas entraram em senescência precocemente devido à severidade dos sintomas da carência de Ca.

O sistema radicular foi severamente afetado pela omissão do cálcio. As raízes apresentaram coloração escura e pouco desenvolvida (Figura 5D). Na deficiência de cálcio os sintomas de clorose das folhas novas com posterior necrose das margens das folhas foram devidos, provavelmente, à dissolução da parede celular. Isso porque o cálcio é fundamental para permeabilidade das membranas e a manutenção da integridade celular, sendo requerido para divisão e a expansão celular (MENGEL; KIRKBY, 1987).



Figura 5 Sintomas visuais de deficiência de cálcio em planta de alho: aspecto geral da planta sob deficiência (direita) comparada com a planta do tratamento Completo (esquerda), senescência (B), clorose, necrose, morte da gema apical (C) e aspecto das raízes (D).

Segundo Malavolta (1980), a insolubilidade dos compostos de cálcio da planta e sua localização na célula explicam, em parte, a falta de redistribuição sob condições de deficiência o que provoca o aparecimento de sintomas de carência em órgão mais novos.

Epstein e Bloom (2004) relataram que os sintomas de deficiência de cálcio aparecem mais precocemente e, mais severamente, em regiões meristemáticas e folhas jovens. Como o nutriente não é redistribuído, os pontos de crescimento são danificados ou mortos e o crescimento das raízes é severamente afetado. Sua imobilidade é justificada por Furlani (2004), por ser o cálcio um elemento estrutural na planta e ocorrer em alta concentração na lamela média das paredes celulares e na parte externa da membrana plasmática, e como consequência sua mobilidade fica restrita.

3.5 Deficiência de magnésio

As plantas cultivadas em solução nutritiva sob omissão de magnésio, inicialmente apresentam clorose marginal das folhas iniciadas da base para o ápice das folhas mais velhas com posterior aparecimento de necrose nas margens foliares (Figura 6A). Os aportes de massa, tanto da parte aérea quanto do sistema radicular (Figura 6B), foram prejudicados com a omissão de magnésio. As folhas mais novas ficaram retorcidas e cloróticas. Observou-se pouco desenvolvimento e má formação do bulbo, e menor tamanho dos bulbilhos (Figura 6B).

Macedo (2008) em estudo de alho em campo verificou sob deficiência de magnésio uma clorose internerval incipiente nas folhas mais velhas, porém não verificaram decréscimo no desenvolvimento das partes aérea e radicular. Algumas variações ocorrem entre as espécies, citando-se como exemplo, o

aparecimento da cor avermelhada nas folhas mais velhas do algodoeiro (FAQUIN, 2001).

Segundo Faquin (2001), o Mg é tido como um macronutriente secundário, sendo as exigências das culturas em Mg relativamente baixas, e os teores nas folhas das plantas normais variam pouco, estando em geral na faixa de 0,2 a 0,4%.

O magnésio tem papel específico na síntese de DNA e RNA (TAIZ; ZEIGER, 2004); entretanto é mais conhecido como componente estrutural da molécula de clorofila (MENGEL; KIRBY, 1987). O magnésio é um componente importante da clorofila, chegando a corresponder a 2,7% do peso molecular deste pigmento e representa entre 15 a 20% do Mg total das folhas das plantas (ESPETEIN, 1978). O Mg ativa mais enzimas que qualquer outro elemento na planta. Neste caso o papel do Mg é atuar como cofator de enzimas fosforilativas, formando uma ponte entre o pirofosfato do ATP ou ADP e a molécula da enzima, sendo o substrato para muitas ATPases (FAQUIN, 2001).

A ocorrência dos sintomas em folhas mais velhas é justificada, por Epstein & Bloom (2004), pelo fato do magnésio ser rapidamente translocado das regiões maduras para as mais jovens da planta, com crescimento ativo. Como resultado, os sintomas visuais de deficiência surgem primeiro nas folhas mais velhas. Além disso, em relação a sua solubilidade, a fração solúvel em água é, em geral, maior que a do cálcio situando-se entre esse e o potássio. De forma geral, cerca de 70% do magnésio total são difusíveis e estão associados com ânions minerais ou orgânicos, os quais podem ser difusíveis (malato e citrato) ou não difusíveis (oxalato e pectato) (MALAVOLTA, 2006).



Figura 6 Sintomas visuais de deficiência de magnésio em planta de alho: aspecto geral das plantas sob deficiência (direita) comparada com as planta do tratamento Completo (esquerda), clorose internerval e necrose das folhas (A), aspecto das raízes sob deficiência (direita) comparada com as planta do tratamento Completo (esquerda) (B) e aspecto dos bulbos (C).

3.6 Deficiência de boro

A deficiência de boro afetou drasticamente o crescimento vegetativo das plantas de alho (Figura 7A). As raízes foram severamente afetadas, tornando-se escuras e sem ramificação (Figura 7B). As folhas apresentaram anormalidades nos tecidos da bainha (Figura 7C). Houve má formação do bulbo, com perda de coloração da cor da túnica (clareamento) e redução no tamanho dos bulbilhos com perda da cor da película protetora (branqueamento) (Figura 7D).

Segundo Mengel e Kirkby (1987) a deficiência de boro surge primeiramente como um crescimento anormal ou retardado de pontos em crescimento. Devido à sua relativa imobilidade nos tecidos, a deficiência tem como característica comum os distúrbios do crescimento dos tecidos meristemáticos. Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) mencionam que sob omissão de boro, as dificuldades de divisão e diferenciação celulares são as primeiras indicações da carência, resultantes da necessidade do nutriente para a síntese das bases nitrogenadas.

Quaggio e Piza Junior (2001), em trabalho de revisão, mencionam que a deficiência de boro causa mau funcionamento do tecido do câmbio vascular, responsável pela multiplicação das células dos vasos condutores, provocando colapso imediato do floema e, em casos extremo, do xilema. Com isso, há a redução do crescimento das raízes, que não recebem quantidades suficientes de fotossintatos.

Malavolta (2006), citando alguns autores, afirma que em muitas plantas as exigências de boro para a fase reprodutiva são muito mais altas do que as necessidades para o crescimento vegetativo (BLEVINS; LUKASZEWSKI, 1998).



Figura 7 Sintomas visuais de deficiência de boro em planta de alho: aspecto geral dos bulbos das plantas sob deficiência (direita) comparada com os bulbos da planta do tratamento Completo (esquerda) (A), redução e escurecimento das raízes (B), morte da gema apical e detalhe do rompimento dos tecidos bainha das folhas (C) e aspecto dos bulbos (D).

3.7 Deficiência de zinco

A deficiência de zinco afetou o vigor das plantas. As plantas apresentaram-se debilitadas e com encurtamentos dos internódios quando comparadas com o tratamento Completo (Figura 8A). Observou-se o enrolamento em espiral das folhas mais novas e um formato lanceolado mais do que o normal para as folhas de alho (Figura 8B). Verificou-se diminuição do tamanho dos bulbos e bulbilhos, com menor massa e redução do número de bulbilhos (Figura 8C).

O zinco é ativador enzimático de diversos processos metabólicos, como na produção do triptofano que é precursor das auxinas (AIA) responsáveis pelo crescimento de tecidos da planta (MENGEL; KIRKBY, 1987).

O Zn participa do grupo prostético da dismutase de superóxido (Cu-Zn-SOD). Esta enzima catalisa a conversão do radical superóxido O_2^- , para peróxido de hidrogênio mais oxigênio, protegendo os tecidos das plantas dos efeitos deletérios causados pelo O_2 (FAQUIN, 2001).

O Zn é pouco móvel na planta, particularmente nas plantas deficientes onde sua concentração e disponibilidade são menores. Por isso os sintomas de carência aparecem nos órgãos mais novos, devido a pouca mobilidade, manifestando-se principalmente nas folhas mais jovens. Os sintomas mais típicos da carência do elemento consistem no encurtamento dos internódios e na redução do tamanho das folhas novas, tornando-as cloróticas e lanceoladas (FAQUIN, 2001).



Figura 8 Sintomas visuais de deficiência de zinco em planta de alho: aspecto geral da planta sob deficiência (direita) comparada com a planta do

tratamento Completo (esquerda) (A), detalhe do enrolamento da folha (B) e aspecto dos bulbos (C).

3.8 Deficiência de ferro

As plantas sob omissão de ferro apresentaram perda de vigor, com pequena redução do porte vegetal e afinamento do pseudocaule em relação ao tratamento Completo (Figura 9A). Inicialmente verificou-se tom verde amarelado sobre a superfície do limbo foliar. Com a intensificação dos sintomas, toda a área foliar das folhas mais novas foi tomada por essa tonalidade (Figura 9B), seguindo-se por necrose das folhas. O sistema radicular não sofreu diminuição de volume, mas apresentou um tom extremamente amarelado e engrossamento das raízes (Figura 9C). O tamanho do bulbo e bulbilhos foi significativamente reduzido, sem alterações no formato e na cor da túnica do bulbo e bulbilhos (Figura 9D). Não foi encontrada descrição de sintomas específicos de carência de Fe na cultura do alho para comparação.

De acordo com Bergmann (1992) e Romheld e Marschner (1991) a deficiência de ferro está associada à inibição da elongação radicular, aumentos do diâmetro das zonas apicais das raízes, formação abundante de raízes laterais e cor amarelada devido ao acúmulo de riboflavina, sendo essa uma estratégia para translocar ferro das raízes para a parte aérea. Segundo Mengel e Kirkby (1987), o ferro forma um complexo de coordenação (sistema redox), ativa enzimas via complexos-substratos e participa na síntese do ácido aminolevulínico, o precursor de hemoproteínas e da clorofila. Na deficiência de ferro, as concentrações de clorofila, carotenoides, ferredoxina e ribossomos diminuem e os ácidos orgânicos e aminoácidos livres aumentam. Havendo menos ferredoxina a célula perde o principal fornecedor de elétrons, acarretando acúmulo de compostos oxidados, tóxicos as plantas. Por ser pouco móvel na planta, os sintomas de carência de Fe aparecem primeiro nas folhas mais novas,

as quais amarelecem devido à menor síntese de clorofila. Com evolução, as folhas podem sofrer um branqueamento (FAQUIN, 2001).



Figura 9 Sintomas visuais de deficiência de ferro em planta de alho: aspecto geral da planta sob deficiência (direita) comparada com a planta do

tratamento Completo (esquerda) (A e B), detalhe do amarelamento das raízes (B) e aspecto dos bulbos (C).

3.9 Demais deficiências

Não se observou nenhum sintoma visual característico nas omissões de enxofre, cobre e manganês. Supõe-se ter havido contaminação do ar por enxofre, já que o local de condução do experimento fica próximo a laboratórios que trabalham com esses elementos, o que proporcionou uma absorção foliar do mesmo. O bulbilho-semente tem grande reserva de nutrientes, provavelmente o sua reserva nutricional de micronutrientes pode ter sido suficiente para atender ao nível crítico de Cu (MACEDO, 2008) e Mn para a planta de alho durante todo seu ciclo. Esses nutrientes também podem ter sido absorvidos de forma suficiente na fase inicial de adaptação das plantas jovens ao meio hidropônico quando se utilizou solução completa meia força (HOAGLAND; ARNON, 1950), mascarando os sintomas (MALAVOLTA, 2006).

Segundo Malavolta (2006), o enxofre é pouco redistribuído nos tecidos vegetais, em caso de carência do elemento, os sintomas aparecem primeiro nas folhas mais novas, como uma clorose generalizada no limbo foliar, folhas pequenas e enrolamento das margens das folhas. O enxofre está relacionado com a síntese de proteína, sendo componente da estrutura dos aminoácidos cistina, cisteína e metionina. Também faz parte da ferredoxina, proteína que participa do processo fotossintético com transferência de elétrons.

Malavolta (2006) relata que em geral as plantas deficientes em cobre mostram as folhas novas inicialmente verde escuras e com aspecto flácido, com tamanho desproporcionalmente grande. As folhas encurvam-se para baixo e as nervuras podem ficar salientes. As principais funções do cobre nas plantas são enzimáticas e a estrutural. Cerca de 70% do cobre das folhas estão nos cloroplastos como proteínas complexas. Uma delas, a plastocianina, participa do fluxo de elétrons, unindo os dois sistemas fotoquímicos. As funções principais

do cobre no processo de formação da colheita são crescimento e produção, resistência a doenças e maturação uniforme (MALAVOLTA, 2006).

De acordo com Malavolta (2006), o Mn é pouco móvel na planta, os sintomas de deficiência se manifestam nas folhas mais novas que, inicialmente, mostram uma clorose internerval, que se diferencia da deficiência de ferro por formar uma rede verde grossa das nervuras sobre o fundo amarelado, e manchas pequenas e necróticas nas folhas. O manganês é ativador de diversas enzimas e participa de diversas sínteses orgânicas, entre outros processos, tais como, absorção iônica, fotossíntese, respiração, controle hormonal e resistência a doenças. Segundo Malavolta (2006), deficiência de Mn causa prejuízo na conservação pós-colheita do alho, com perda de qualidade dos bulbos.

3.10 Altura de plantas, número de folhas, diâmetro do pseudocaule e razão bulbar

Foram observadas diferenças significativas ($p > 0,5$) entre os tratamentos nas variáveis altura média de plantas, número médio de folhas, diâmetro médio do pseudocaule e razão bulbar média (Tabela 1).

Tabela 1 Altura média de plantas (AP), número médio de folhas (NF), diâmetro do pseudocaule (DP), razão bulbar (RB) em plantas de alho, livre de vírus, cultivadas em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2014.

Tratamento	AP	NF	DP	RB 80 dias	RB 90 dias	RB 110 dias	RB 120 dias
Completo	86,25 a	6,75 a	1,92 a	0,55 a	0,50 a	0,25 a	0,18 a
-N	57,17 c	3,68 c	1,40 c	NP	NP	NP	NP
-P	50,47 d	4,59 b	1,39 c	0,32 c	0,26 c	0,16 c	*
-K	50,37 d	4,44 b	1,32 c	0,30 c	0,24 c	0,15 c	*
-Ca	50,61 d	3,56 c	1,10 d	NP	NP	NP	NP
-Mg	57,34 c	4,54 b	1,62 b	0,40 b	0,39 b	0,21 b	0,15 b
-S	60,16 c	4,79 b	1,73 b	0,37 b	0,37 b	0,21 b	0,15 b
-B	50,70 d	4,51 b	1,66 b	0,40 b	0,35 b	0,16 c	*
-Cu	76,48 b	4,79 b	1,78 a	0,40 b	0,38 b	0,21 b	0,17 a
-Fe	58,80 c	4,63 b	1,57 b	0,36 b	0,27 c	0,19 c	0,15 b
-Mn	76,95 b	5,00 b	1,82 a	0,37 b	0,39 b	0,21 b	0,17 a
-Zn	60,02 c	5,16 b	1,73 b	0,40 b	0,37 b	0,21 b	0,15 b
CV(%)	7,49	6,51	6,55	11,12	11,10	12,50	12,30

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. NP: não chegou a produzir; * já havia sido colhida.

A maior altura de planta ocorreu no tratamento Completo (86,25 cm) seguido, pelos tratamentos -Mn (76,95 cm), -Cu (76,48 cm). A menor altura ocorreu nos tratamentos -K (50,37 cm), -Ca (50,61 cm), -P (50,47 cm) e -B (50,70 cm). O maior número médio de folhas foi obtido no tratamento Completo (6,75). O menor número de folhas ocorreu no tratamento -Ca (3,56) e -N (3,68). Com relação ao diâmetro do pseudocaule, o maior valor obtido foi nos tratamentos Completo (1,92 cm), -Mn (1,82 cm), -Cu (1,78 cm). O tratamento -Ca foi o que obteve menor valor de pseudocaule, 1,10 cm. De acordo com os resultados, cálcio, nitrogênio, potássio, fósforo e boro foram os minerais que mais afetaram as características morfológicas e produtivas do alho vernalizado

livre de vírus cultivados em solução nutritiva. E os minerais cobre e manganês os que causaram menor severidade nos sintomas de carência. De acordo Souza e Casali (1986), o nitrogênio, juntamente com o cálcio, fósforo e o potássio apresenta efeito marcante sobre a altura de planta, exercem ainda, enorme influência sobre número de folhas, altura de planta e produtividade. Segundo Faquin (2001), 90% do N da planta encontra-se em forma orgânica e é assim que desempenha as suas funções, como componente estrutural de macromoléculas e constituintes de enzimas. É componente de aminoácidos livres que dão origem a outros aminoácidos e proteínas, e que são percussores de hormônios vegetais, clorofila e ácidos nucleicos. A função do fósforo na planta está ligada principalmente ao armazenamento e transporte de energia na forma de ATP e componente dos lipídeos da membrana celular. A sua carência causa menor crescimento, menor produção e senescência precoce (MALAVOLTA, 2006). De acordo Magalhães (1986), a maior restrição de cálcio retarda o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente a absorção de nutrientes e o crescimento da planta. Segundo com RESENDE (1997), o cobre é o micronutriente menos exigido pelo alho, podendo ser suprido pelas próprias reservas desse nutriente pré-existente no bulbilho, utilizado como semente.

A razão bulbar aos 80 DAE foi maior no tratamento completo (0,55). Os piores valores obtidos foram nos tratamentos -K (0,30) e -P (0,32). Aos 90 DAE houve redução dos valores em todas as cultivares, sendo -K (0,24), -P (0,26) e -Fe (0,27) os de menor razão bulbar. A tendência de diminuição dos valores de razão bulbar manteve-se aos 110 dias, e somente o -K (0,15), -P (0,16) e -Fe (0,19) se diferenciaram dos demais tratamentos com o menor valor, indicando a maturação precoce dos bulbos. Aos 120 DAE os menores valores de razão bulbar foram obtidos em -Mg, -S, -B, -Cu, -Mn, -Zn e -Fe. Aos 120 DAE as plantas de -P, -K e -B já haviam sido colhidas, pois já entraram precocemente em senescência devido à carência destes nutrientes e a razão bulbar aos 110 dias

já indicava a completa maturação dos bulbos. Os sintomas de deficiência nos tratamentos -Ca e -N foram tão severos que os mesmos entraram em senescência antes da diferenciação e desenvolvimento do bulbo. Segundo Mann (1952), quando a razão bulbar reduz-se a níveis inferiores a 0,5, o bulbo encontra-se completamente formado e para valores menores que 0,2 encontra-se em fase final de maturação. Nota-se com estas pressuposições, que algumas deficiências causaram a maturação precoce do bulbo, como as de K, P, B e Fe quando comparadas com o tratamento padrão completo, demonstrado pela redução precoce da razão bulbar, causando menor produção de bulbos. A carência dos demais nutrientes também encurtou o ciclo das plantas e afetaram a produção. O ferro é um elemento chave no metabolismo da planta, estando envolvido com transformações energéticas necessárias e outros processos vitais como respiração, fotossíntese, assimilação de nitrogênio e enxofre, estando associado com enzimas envolvidas em reações redox. (BATAGLIA, 1991). A alta exigência em potássio, por cultura que armazenam compostos orgânicos nos bulbos, pode ser explicada pela sua função, atuando no transporte de K das folhas para os órgãos de reserva (FAQUIN, 2001). Assim sendo, explica-se a maior necessidade de K pelas plantas de alho na fase de bulbificação. Segundo Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997, a carência de cálcio afeta principalmente os pontos de crescimento da raiz, causando o aparecimento de núcleos poliploides, células binucleadas, núcleos constrictos e divisões mitóticas causando escurecimento e posterior morte da raiz, levando a uma paralisação do crescimento da planta. Com isso, as plantas sob omissão de Ca senesceram antes das avaliações da razão bulbar, não havendo desenvolvimento do bulbo.

A relação entre a curva de crescimento, principalmente no número de folhas, altura de planta e a quantidade de nutrientes absorvida, é de fundamental importância na nutrição e na adubação do alho. Se, entre as espécies e dentro de uma mesma espécie vegetal, verifica-se diversidade para esses parâmetros,

ocasionados pelas condições ambientais, no caso específico do alho, essa influência do meio é decisiva para o cultivo e o fornecimento racional de nutrientes na cultura do alho. É de se esperar que, em alhos nobres vernalizados, o desencontro de valores possa ser bem maior pela sensibilidade desse grupo em relação às diferentes condições de clima e solo, pela ação da vernalização (BÜLL; NAKAGAWA, 1995). Nesse sentido, a criação de padrões nutricionais para determinadas espécies e cultivares, a fim de identificar necessidades e carências, se torna uma ferramenta de extrema importância em tempos de maximização de produção e aproveitamento do máximo potencial genético dos novos materiais disponíveis no mercado, que são cada vez mais exigentes em um alto nível tecnológico de produção.

3.11 Avaliação do índice relativo de clorofila com SPAD

As clorofilas são pigmentos responsáveis pela conversão da radiação luminosa em energia, sob a forma de ATP e NADPH, e por essa razão, são estreitamente relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas e, conseqüentemente, ao seu crescimento e adaptabilidade a diferentes ambientes (TAIZ; ZEIGER, 2004). Logo, sua quantificação é relevante no estudo de práticas culturais e na nutrição mineral do alho, visando a aumentar a atividade fotossintética das plantas e conseqüentemente o potencial produtivo.

Verificou-se diferença significativa ($p > 0,5$) entre o tratamento Completo e os tratamentos de omissão nutricional no índice relativo de clorofila feita pelo medidor indireto de clorofila SPAD-502 (Tabela 2).

Tabela 2 Leitura do IRC no SPAD em plantas de alho livre de vírus cultivadas em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2014.

Tratamentos	IRC 30 dias	IRC 45 dias	IRC 60 dias	IRC 75 dias	IRC 90 dias
Completo	69,6 a	69,3 a	73,8 a	73,2 a	70,8 a
-N	43,0 d	42,0 c	40,7 d	24,5 d	0*
-P	63,1 b	65,7 a	63,9 b	63,7 b	65,3 b
-K	62,9 b	66,9 a	65,1 b	65,2 b	67,2 b
-Ca	64,6 b	58,1 b	0*	0*	0*
-Mg	55,5 c	54,0 c	54,0 c	52,5 c	49,2 c
-S	62,0 b	65,1 a	63,4 b	69,9 b	69,1 a
-B	64,1 b	64,0 a	68,3 b	67,6 b	67,6 b
-Cu	66,2 a	66,6 a	62,8 b	62,6 b	62,9 b
-Fe	55,5 c	53,7 c	52,7 c	50,0 c	45,0 c
-Mn	66,4 a	66,3 a	62,3 b	65,1b	65,0 b
-Zn	66,1 a	66,1 a	66,3 b	65,1 b	68,15 b
CV(%)	3,92	6,95	9,08	9,82	8,22

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. *As plantas já haviam sido colhidas.

Na primeira leitura aos 30 DAE os maiores valores de leitura no aparelho SPAD foram dos tratamentos Completo (69,6), -Cu (66,2), -Mn (66,4) e -Zn (66,1). O menor valor foi observado no tratamento -N quando comparadas com tratamento Completo, sendo este o padrão. Aos 45, 60 e 75 DAE somente o tratamento -N se destacou de forma mais negativa, verificando-se relação da omissão de N em solução nutritiva e menores valores no IRC obtidos no SPAD ao longo das medições. Porém os tratamentos -Mg e -Fe obtiveram leituras abaixo dos demais tratamentos em todas as leituras, exceto, somente quando comparado os de omissão de nitrogênio. Apresentando também relação entre omissão de Mg e Fe na solução nutritiva e o menor teor de clorofila nas folhas das plantas ao longo das leituras. Aos 90 DAE o decréscimo de clorofila foi

maior nas plantas sob omissão de Fe do que nas plantas sob omissão de Mg. As plantas do tratamento -N foram colhidas para as análises químicas antes da leitura aos 90 DAE, pois já estavam em senescência. Segundo Fernandes et al., (2011), há correlação positiva entre as leituras IRC e o N foliar em diferentes épocas de amostragem e doses N em adubação de cobertura, sendo que o maior coeficiente de correlação foi obtido aos 50 DAE, sendo o IRC de 70,0 SPAD, com aplicação de 235 kg ha⁻¹ de N. Dados semelhantes foram obtidos por Lima (2005) que avaliou a correlação entre essas variáveis a cada 10 dias durante o ciclo da cultura que foi de 130 dias, utilizando a cultivar Caçador, e obteve maior coeficiente de correlação aos 70 DAE. Dessa forma, as leituras do IRC do SPAD podem inferir nos teores de N no alho.

Sob as formas *a* e *b*, as clorofilas são constantemente sintetizadas e destruídas, cujos processos são influenciados por fatores internos e externos às plantas. Entre os fatores externos, os nutrientes minerais se destacam, por integrarem a estrutura molecular das plantas, como também por atuarem em alguma etapa das reações que levam à síntese desses pigmentos (TAIZ; ZEIGER, 2004). Segundo Malavolta (2006), o ferro está envolvido na síntese da clorofila. Cerca de 80% do Fe nas folhas verdes estão localizados nos cloroplastos. Quando há deficiência desse micronutriente cai o teor de clorofila, o número de cloroplastos diminui e há menor quantidade de grana nos mesmos. A incorporação do Fe ou Mg como um átomo central no núcleo tetrapirrólico, leva à formação do grupo heme e às enzimas que o contém e à clorofila, respectivamente. Fe é pouco móvel na planta, inferir, os sintomas aparecem primeiro nas folhas mais novas, as quais amarelecem devido à menor síntese de clorofila. Com a evolução, as folhas podem sofrer um branqueamento. No caso do magnésio, a função mais conhecida do Mg é a de compor a molécula da clorofila, que são porfirinas magnesianas. O Mg corresponde a 2,7% do peso das mesmas e representa cerca de 15 a 20% do Mg total das folhas das plantas.

Como a maior parte do Mg na planta encontra-se na forma difusível e o elemento é móvel no floema, os sintomas de deficiência ocorrem nas folhas mais velhas. Estes se manifestam como uma clorose internerval, com progressão para uma clorose generalizada (FAQUIN, 2001; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Nesse contexto, os resultados do estudo com o medidor indireto de clorofila mostrou-se eficaz na detecção de carência de N em alho. E que por meio de criação de padrões podem também identificar outras carências, como Mg e Fe em plantas de alho, já que se comprovou que estes nutrientes também tem participação chave na produção de clorofila pelas plantas, podendo ser medida indiretamente pelo SPAD. Dessa forma, o Minolta SPAD-502 pode-se tornar uma ferramenta muito útil para o manejo da nutrição e da adubação na cultura do alho vernalizado. Pois, a determinação do teor de clorofila pelo clorofilômetro apresenta algumas vantagens sobre o método de extração de clorofila, ou seja, a leitura pode ser realizada em poucos minutos, pois o aparelho tem custo mínimo de manutenção, não há necessidade de envio de amostras para laboratório, o que resulta em economia de tempo e dinheiro, e as leituras podem ser realizadas em quantas amostras forem necessárias, sem implicar na destruição das folhas (ARGENTA et al., 2001; MINOLTA, 1989; SWIADER; MOORE, 2002). Entretanto, faz-se necessária a sua calibração em cada situação, pois às condições climáticas, genótipo da espécie e à infestação por vírus, entre outras causas podem levar a variação nas leituras do índice relativo de clorofila, interferindo no diagnóstico nutricional das culturas analisadas.

4 CONCLUSÃO

As omissões dos nutrientes refletem em alterações morfológicas nas plantas de alho, traduzidas como sintomas visuais característicos de deficiência nutricional de cada elemento, exceto o enxofre, o cobre e o manganês.

Os nutrientes cálcio, nitrogênio, potássio, fósforo, boro, ferro e zinco foram os minerais que mais afetaram o desenvolvimento do alho vernalizado livre de vírus cultivados em solução nutritiva, enquanto os minerais cobre e manganês foram os que menos afetaram desenvolvimento das plantas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p. 253-280.

ARGENTA, G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e nitrogênio nas folhas de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 13, n. 2, p. 158-167, ago. 2001.

BATAGLIA, O. C. Ferro. In: FERREIRA, M. E. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS; CNPq, 1991. p. 159-172.

BERGMANN, W. **Nutrition disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis**. New York: G. Fischer, 1992. 741 p.

BLEVINS, D. G.; LUKASZEWSKI, K. M. Boron in plant structure and function. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 49, p. 481-500, 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília: SPI/EMBRAPA, 1992. 84 p.

BÜLL, L. T. et al. Doses de fósforo e zinco na cultura do alho em condições de casa de vegetação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 941-949, 2008.

BÜLL, L. T.; NAKAGAWA, J. Desenvolvimento, produção de bulbos e absorção de nutrientes na cultura do alho vernalizado em função de relações cálcio: magnésio no solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 409-415, set./dez. 1995.

EPSTEIN, E. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. New Delhi: Willey Easrtern, 1978. 411 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Mineral nutrition of plant**. Sunderlands: Sinauer Associates, 2004. 403 p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 227 p.

FERNANDES, L. J. C. et al. Contribuição das concentrações de nitrogênio em bulbilhos de alho tratados com doses de N em cobertura. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 26-31, jan./mar. 2011.

FERREIRA, D. F. **SISVAR software**. Versão 4.6. Lavras: UFLA/DEX, 2003. Software.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. (Ed.). **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 40-75.

GOOR, B. J. van; LUNE, P. van. Redistribuição de potássio, boro, magnésio e cálcio em árvores de maçã determinadas por método indireto. **Physiologia Plantarum**, Copenhague, v. 48, n. 1, p. 21-26, 1980.

GRANT, C. A. et al. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Piracicaba: POTAFOS, 2001. 5 p. (Informações Agronômicas, 95).

HOAGLAND, D.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soil**. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1950. 31 p. (Circular, 347).

LIMA, C. P. **Medidor de clorofila na avaliação de nutrição nitrogenada na cultura do alho vernalizado**. 2005. 95 p. Dissertação (Mestrado em Horticultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

MACÊDO, F. S. **Marcha de absorção de nutrientes e produtividade em alho vernalizado proveniente de cultura de meristemas**. 2008. 63 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MACÊDO, F. S. et al. Produtividade de alho vernalizado em função de fontes e doses de fósforo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 3, p. 379-383, mar. 2011.

MAGALHÃES, J. R. Nutrição mineral em alho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 142, p. 20-30, 1986.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MANN, L. K. Anatomy of the garlic bulb and factors affecting bul development. **Hilgardia**, Berkeley, v. 21, n. 8, p. 195-251, 1952.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1995. 889 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4th ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.

MINOLTA, C. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Divisions, 1989. 22 p.

QUAGGIO, J. A.; PIZA JUNIOR, C. T. Frutíferas tropicais. In: FERREIRA, M. E. et al. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 459-492.

RAIJ, B. et al. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. 285 p.

RESENDE, F. V. **Crescimento, absorção de nutrientes, resposta à adubação nitrogenada e qualidade de bulbos de alho proveniente de cultura de tecidos**. 1997. 139 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

RESENDE, F. V. et al. Obtenção de plantas livres de vírus e produção de alho-semente de alta qualidade fisiológica e fitossanitária. In: SOUZA, R. J.; MACÊDO, F. S. (Ed.). **Cultura do alho: tecnologias modernas de produção**. Lavras: UFLA, 2009. p. 174-209.

RESENDE, F. V. et al. **Viroses do alho no Brasil: importância e principais medidas de controle**. Brasília: EMBRAPA/CNPH, 2013. 11 p. (Comunicado Técnico, 122).

RODAS, C. L. **Deficiências nutricionais no morangueiro: caracterização de sintomas visuais, produção e nutrição mineral**. 2008. 86 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

RODRÍGUEZ, D.; KELTJENS, W. G.; GOUDRIAAN, J. Plant leaf area expansion and assimilate production in wheat (*Triticum aestivum* L.) growth under low phosphorus conditions. **Plant and Soil**, The Hague, v. 200, n. 2, p. 227-240, Mar. 1998.

ROMHELD, V.; MARSCHNER, H. Function of micronutrients in plants. In: MORTVEDT, J. J. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of American, 1991. p. 297-328.

SOUZA, R. J.; CASALI, V. W. D. Pseudoperfilamento: uma anormalidade genético-fisiológica em alho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 142, p. 36-41, 1986.

SOUZA, R. J.; MACEDO, F. S. **Cultura do alho: tecnologias modernas de produção**. Lavras: UFLA, 2009. 181 p.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p. 215-252.

SWIADER, J. M.; MOORE, A. SPAD chlorophyll response to nitrogen fertilization and evaluation of nitrogen status in dryland and irrigated pumpkins. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 25, n. 5, p. 1089-1100, May 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

**CAPÍTULO III – Estado nutricional e aspectos produtivos do alho
vernalizado livre de vírus em função da omissão de nutrientes**

RESUMO

O desenvolvimento das plantas depende de vários fatores, dentre os quais a disponibilidade de nutrientes em quantidades e em equilíbrio, pois a deficiência ou a toxidez de um determinado elemento influencia a atuação dos demais, promovendo redução na produção das culturas. Na literatura, estudos sobre omissão de nutrientes na cultura do alho vernalizado livre de vírus são insipientes. Diante do exposto, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da omissão de nutrientes no estado nutricional e nos aspectos produtivos de cultivares de alho vernalizado livre de vírus. O experimento foi executado em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com vinte quatro tratamentos (duas cultivares e doze soluções nutritivas) e quatro repetições representados por: Solução de Hoagland e Arnon completa, solução nutritiva de N (-N), solução nutritiva de P (-P), solução nutritiva de K (-K), solução nutritiva de Ca (-Ca), solução nutritiva de Mg (-Mg), solução nutritiva de S (-S), solução nutritiva de B (-B), solução nutritiva de Cu (-Cu), solução nutritiva de Fe (-Fe), solução nutritiva de Mn (-Mn) e solução nutritiva de Zn (-Zn). A omissão dos nutrientes afetou o crescimento e desenvolvimento das plantas de alho. A produção de bulbos é reduzida sob omissão de todos os nutrientes estudados. Os tratamentos sob omissão de Ca e N entraram em senescência antes da diferenciação e desenvolvimento bulbar. De acordo com as interações existentes entre os elementos, a absorção de nutrientes pelo alho foi afetada. A ordem decrescente do acúmulo de macronutrientes foi a seguinte: K>S>N>Ca>P>Mg. Quanto aos micronutrientes, a ordem decrescente foi a seguinte: Fe>Mn>B>Zn>Cu.

Palavras-chave: *Allium sativum* L., Cultura de tecidos, Nutrição Mineral.

ABSTRACT

Plant development depends on several factors, among which nutrients availability and balance. Deficiency or toxicity of a given element can influence the action of other nutrients, causing yield reductions. In the literature, very few studies have been dedicated to investigate the effect of nutrient omissions in the culture of virus-free vernalized garlic. In this study we evaluated the effect of nutrients omission in the nutritional status and in the production aspects of virus-free vernalized garlic. The experiment was conducted in a greenhouse at the Department of Soil Science at UFLA. The experimental design was completely randomized, with twenty four treatments (two cultivars and twelve nutrient solutions) and four replications represented by: Complete Hoagland and Arnon Solution, N (-N) nutrient solution, P (-P) nutrient solution, K (-K) nutrient solution, Ca (-Ca) nutrient solution, Mg (-Mg) nutrient solution, S (-S) nutrient solution, B (-B) nutrient solution, Cu (-Cu) nutrient solution, Fe (-Fe) nutrient solution, Mn (-Mn) nutrient solution and Zn (-Zn) nutrient solution. The omission of nutrients affected the growth and development of plants garlic. Bulb yield is reduced under omission of all nutrients studied. Treatments under omission of Ca and N entered into prior to differentiation and senescence bulbar development. According to the interactions between the elements, the absorption of nutrients was affected by garlic. The decreasing order of accumulation of nutrients was: $K > S > N > Ca > P > Mg$. Regarding micronutrients, the descending order was as follows: $Fe > Mn > B > Zn > Cu$.

Key words: *Allium sativum* L., Tissue culture, Mineral Nutrition.

1 INTRODUÇÃO

Existem grandes diferenças de comportamento de espécies vegetais e até mesmo de cultivares dentro das mesmas espécies na exigência pelos nutrientes, com isso, o conhecimento do conteúdo de nutrientes nas plantas torna-se muito importante, pois, os nutrientes são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (KIRKBY; RÖMHELD, 2007; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Como são escassos esses dados, obter conhecimentos com relação aos aspectos nutricionais da cultura do alho vernalizado livre vírus, especialmente com omissão de nutrientes, torna-se indispensável no processo de sua introdução em cultivos comercial em qualquer região.

A avaliação do estado nutricional de uma planta consiste na comparação entre uma planta a qual se deseja avaliar e uma planta considerada padrão, ou seja, uma planta que tenha em seus tecidos todos os nutrientes em quantidades e proporções adequadas, que seja capaz de dar altas produções, tendo um bom aspecto visual (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Os métodos mais empregados para a avaliação são a diagnose visual, a diagnose foliar ou análise química de plantas, a análise química do solo e os ensaios por subtração de nutrientes (RAIJ, 1991). A diagnose foliar é um método de avaliação em que se analisam quimicamente as folhas das culturas. Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), as folhas são os órgãos que, como regra geral, refletem melhor o estado nutricional da planta, isto é, respondem mais às variações no suprimento dos nutrientes, seja pelo solo, seja pelo adubo.

Na literatura, estudos sobre omissão de nutrientes na cultura do alho vernalizado livre de vírus são insipientes. Diante do exposto, este trabalho foi

realizado com o objetivo de avaliar o efeito da omissão de nutrientes no estado nutricional e nos aspectos produtivos do alho vernalizado livre de vírus.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizado no município de Lavras, sul de Minas Gerais. O município está situado a 21° 14' de latitude sul e a 45° 00' de longitude oeste de Greenwich a uma altitude de 918 m. O clima da região segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwb, caracterizado por uma estação seca de abril a setembro e uma estação chuvosa de outubro a março (BRASIL, 1992). As temperaturas médias máximas (20 a 28 °C) e temperaturas mínimas (12 a 16 °C). O experimento foi conduzido no período de abril a setembro de 2013.

Foram utilizadas no experimento as cultivares de alho nobre 'Ito' (ciclo de cultivo de 120 dias) e Quitéria (ciclo de cultivo de 150 dias). O bulbilho-mente livre de vírus foi obtido por meio de cultura de tecidos e termoterapia, aclimatizados em casa de vegetação e multiplicados por três gerações em telado antiafídeo no Setor de Olericultura do Departamento de Agricultura da UFLA.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com vinte quatro tratamentos (duas cultivares e doze soluções nutritivas) e quatro repetições representados por: Solução de Hoagland e Arnon (1950) completa, solução nutritiva de N (-N), solução nutritiva de P (-P), solução nutritiva de K (-K), solução nutritiva de Ca (-Ca), solução nutritiva de Mg (-Mg), solução nutritiva de S (-S), solução nutritiva de B (-B), solução nutritiva de Cu (-Cu), solução nutritiva de Fe (-Fe), solução nutritiva de Mn (-Mn) e solução nutritiva de Zn (-Zn). A parcela foi composta por um vaso com volume de dois litros contendo uma planta por vaso. A parcela experimental foi composta por um vaso com volume de dois litros contendo uma planta por vaso.

Após passarem por um período de vernalização (50 dias a 4 °C, \pm 2 °C) os bulbilhos foram semeados em bandejas de isopor de 58 células contendo vermiculita. Aos 10 dias após a emergência (DAE) as mudas foram transferidas para uma bandeja plástica contendo 36 L de solução referente à Hoagland & Arnon completa, com aeração constante, nas concentrações 25, 50 e 100% da sua força iônica, as quais ficaram um período de sete dias em cada concentração. Após o período de adaptação ao meio hidropônico, as plantas foram individualizadas em vasos plásticos com capacidade para dois litros, com aeração constante e a injeção de ar no meio hidropônico se deu à custa de um compressor que canaliza o ar através de tubos de pvc, e esses, por sua vez, para uma linha secundária feita de plástico maleável. Por meio desse foram feitas conexões, via agulha hipodérmica e mangueira de aquário. Foram utilizadas placas de isopor de quatro centímetros de espessura como suporte para as plantas. As soluções foram trocadas quinzenalmente durante o período experimental (Rodas, 2008).

Na preparação de todas as soluções estoques dos nutrientes empregaram-se reagentes P.A. As soluções nutritivas foram preparadas utilizando-se água deionizada, sendo o pH da solução ajustado para 5,5 (\pm 0,2), usando HCl e NaOH a 0,5 M, quando esta se encontrava acima ou abaixo desta faixa e, durante o intervalo de renovação das soluções, o volume dos vasos foi completado, sempre que necessário (diariamente), utilizando-se água deionizada, sempre mantendo o nível da água abaixo da altura dos bulbos das plantas, mas sempre com as raízes submersas em solução.

A temperatura no interior da casa de vegetação foi observada e registrada por um termômetro de máxima e mínima (Incoterm) durante o ciclo de cultivo.

As plantas foram colhidas no final do ciclo de cultivo ou quando apresentavam sinais de senescência devido os sintomas da carência nutricional, e

então separados parte aérea, radicular e o bulbo. Após a colheita, a parte aérea das plantas era pesada individualmente em balança de precisão (0,01 g), sendo anotada massa fresca e depois lavada com água destilada corrente. Aos 30 dias após a colheita do bulbo (fase de cura) foi avaliado a massa do bulbo em balança de precisão (0,01 g) e o número de bulbilhos por bulbo.

A parte aérea, raiz e bulbo foram secados em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65-70 °C até que o material apresentasse massa constante, sendo o material vegetal depois pesado em balança de precisão (0,01 g) para obtenção da massa seca.

Após a pesagem, o material oriundo da parte aérea foi moído em moinho tipo Wiley para determinação dos teores de macro e micronutrientes.

Os teores de N nas plantas foram determinados por micro Kjeldahl, segundo metodologia descrita Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). No extrato, obtido por digestão nitroperclórica, foram dosados o P por colorimetria, o K por fotometria de chama, os teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica e os S total por turbidimetria (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

O acúmulo dos nutrientes foi obtido pelos valores resultantes da multiplicação da massa seca da parte aérea da planta com os teores de macro (g kg^{-1} de massa seca) e micronutrientes (mg kg^{-1} de massa seca) determinados pelas análises químicas, obtendo-se os dados de acúmulo de macronutrientes em mg.planta^{-1} e os de micronutrientes em $\mu\text{g.planta}^{-1}$.

De forma preliminar às análises de variância procedeu-se ao teste de homogeneidade de variâncias (teste de Bartlett a 5% de significância). Além disso, verificou-se a normalidade dos resíduos (teste Shapiro-Wilk a 5% de significância). Para todas as variáveis avaliadas não foram observados desvios em relação a esses pressupostos da análise. Os dados foram submetidos à análise de variância, com realização do teste F, e as médias dos tratamentos qualitativos

foram comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% probabilidade utilizando o software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2003).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito da omissão nutricional no desenvolvimento e produção de plantas de alho

Houve diferença significativa ($p < 0,5$) entre as cultivares Ito e Quitéria somente nas variáveis massa fresca e seca do bulbo em solução nutritiva completa. A omissão de nutrientes afetou significativamente ($p < 0,5$) à massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, massa fresca do bulbo, massa seca do bulbo e número de bulbilho por bulbos das plantas de alho das cultivares Ito e Quitéria (Tabela 1).

Tabela 1 Massa fresca média da parte aérea (MFPA), massa seca média da parte aérea (MSPA), massa seca média da raiz (MSR), massa fresca média do bulbo (MB), massa seca média do bulbo (MSB) e número médio de bulbilho por bulbo (NB) em plantas de alho livre de vírus das cultivares Ito e Quitéria sob omissão de macro e micronutrientes.

Tratamento	MFPA (g)	MSPA (g)	MSR (g)	MFB (g)	MSB (g)	NB
Ito Completo	52,96 a	7,65 a	1,98 a	26,52 a	9,30 a	9,80 a
Ito -N	26,15 c	3,60 c	1,86 a	NP*	NP*	NP*
Ito -P	26,50 c	3,21 d	1,84 a	12,41 d	1,87 e	5,50 c
Ito -K	25,90 c	2,91 d	0,83 c	11,14 d	1,66 e	6,00 c
Ito -Ca	18,60 d	2,22 e	0,58 c	NP*	NP*	NP*
Ito -Mg	20,30 d	2,90 d	0,65 c	14,38 c	4,10 c	7,00 b
Ito -S	29,90 c	3,52 c	1,06 b	19,16 b	7,24 b	8,00 b
Ito -B	29,00 c	4,61 b	0,65 c	5,86 e	1,16 e	5,00 c
Ito -Cu	35,85 b	4,73 b	1,14 b	19,57 b	6,77 b	7,25 b

Ito -Fe	26,25 c	3,09 d	0,93 b	15,68 c	3,38 d	6,50 c
Ito -Mn	28,40 c	3,63 c	1,23 b	20,04 b	7,77 b	7,75 b
Ito -Zn	29,10 c	4,40 d	1,17 b	16,31 c	3,00 d	6,25 c

Tabela 1 Continuação.

Tratamento	MFPA (g)	MSPA (g)	MSR (g)	MFB (g)	MSB (g)	NB
Quite Completo	51,11 a	7,00 a	1,76 a	18,06 b	7,42 b	9,25 a
Quitéria -N	26,21 c	3,65 c	1,78 a	NP*	NP*	NP*
Quitéria -P	26,53 c	3,28 d	1,80 a	11,45 d	1,67 e	5,15 c
Quitéria -K	25,92 c	2,91 d	0,86 c	10,90 d	1,55 e	5,75 c
Quitéria -Ca	18,64 d	2,24 e	0,54 c	NP*	NP*	NP*
Quitéria -Mg	20,40 d	2,93 d	0,63 c	13,95 c	4,00 c	6,75 b
Quitéria -S	30,01 c	3,58 c	1,10 b	17,10 b	6,90 b	7,50 b
Quitéria -B	29,14 c	4,67 b	0,72 c	5,02 e	1,00 e	4,75 c
Quitéria -Cu	35,92 b	4,77 b	1,09 b	16,96 b	6,01 b	7,25 b
Quitéria -Fe	26,32 c	3,12 d	0,90 b	15,05 c	3,17 d	6,00 c
Quitéria -Mn	28,48 c	3,68 c	1,22 b	17,02 b	7,06 b	7,50 b
Quitéria -Zn	29,25 c	4,49 d	1,15 b	15,88 c	2,90 d	6,00 c
CV (%)	4,60	10,76	10,94	4,84	4,06	5,90

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. *Não produziu bulbo.

3.1.1 Produção de massa fresca da parte aérea

A menor produção de massa fresca foi observada sob omissão de Ca seguido por Mg. Devido à intensidade dos sintomas visuais de deficiência apresentados pelas plantas de alho sob omissão de Ca, essas foram as primeiras a serem colhidas. Sob deficiência de Ca, Malavolta (2006) afirma que há hidrólise da parede celular causando a morte das regiões meristemáticas da planta. Em trabalho conduzido em campo não cultivados de Brasília, Magalhães et al. (1979), verificaram resultados semelhantes, no qual o magnésio juntamente com o cálcio foram os nutrientes mais limitantes ao crescimento e desenvolvimento do alho. Segundo Souza e Casali (1986), o cálcio, juntamente com o nitrogênio, tem efeito marcante sobre a massa fresca de plantas de alho, obtendo relação positiva entre o aumento da massa fresca e o fornecimento desses nutrientes.

Todos os tratamentos sob omissão de nutrientes apresentaram queda na produção de massa verde quando comparadas ao tratamento Completo. As plantas sob omissão de Cu foram as menos afetadas em relação à produção de massa fresca da parte aérea. De acordo com Resende (1997), o cobre é o micronutriente menos exigido pelo alho, podendo ser suprido pelas próprias reservas desse nutriente pré-existentes no bulbilho-semente.

3.1.2 Produção da massa seca da parte aérea

Assim como na massa fresca, a deficiência de Ca promoveu uma queda na produção de massa seca da parte aérea das plantas de alho. Resultado esse semelhante ao obtido por Pacheco et al. (2006) e Rodas (2008) que, estudando a nutrição mineral da cultura do morango em solução nutritiva, verificaram um elevado comprometimento da produção de massa seca da parte aérea das plantas cultivadas sob deficiência de Ca. Sem relatos na literatura para a cultura do alho.

Houve uma redução na produção da massa seca da parte de plantas cultivadas sob omissão de Ca de 70%, quando comparadas a produção do tratamento Completo.

Todos os tratamentos sob omissão de nutrientes apresentaram queda na produção de massa seca quando comparadas aos tratamentos Completo. Da mesma forma ocorrida na produção de massa verde da parte aérea, as plantas sob omissão de Cu foram as menos afetadas em relação à produção de massa seca da parte aérea.

3.1.3 Produção da massa seca do sistema radicular

A produção de massa seca de raízes de plantas submetidas às omissões de nutrientes foi severamente afetada. Tal como observado para a parte aérea das

plantas, a omissão de Ca, Mg e B, apresentaram as menores médias de produção de massa seca da raiz. Quando há deficiência metabólica de Ca, a planta responde com paralisação do crescimento radicular. Nesse processo, primeiramente, há restrição na extensão celular e, em seguida na divisão celular (MAGALHÃES, 1986; PACHECCO et al., 2007). A carência de cálcio afeta principalmente os pontos de crescimento da raiz, causando o aparecimento de núcleos poliploides, células binucleadas, núcleos constrictos e divisões amitóticas causando seu escurecimento e posterior morte da raiz, levando a uma paralisação do crescimento (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). De acordo Magalhães et al. (1986), a maior restrição de cálcio e magnésio retarda o desenvolvimento da radícula em alho e, conseqüentemente a absorção de nutrientes e o crescimento da planta. Segundo Shelp (1993), embora o ofício preciso do boro no metabolismo vegetal não seja totalmente conhecido, evidências sugerem que ele desempenha funções no alongamento celular.

Os tratamentos em que foram omitidos o N e P não apresentaram diferença da massa seca do sistema radicular em relação aos tratamentos Completo. O motivo foi supostamente pelo fato de plantas cultivadas sob omissão de P e N apresentarem mecanismos de adaptação para melhorar seu acesso aos estoques de P e N em condições de deficiência desses elementos, um deles é o aumento do comprimento e volume do sistema radicular, desenvolvendo rapidamente raízes laterais. Resultado semelhante foi observado por Grant et al. (2001) estudando a importância do fósforo para as plantas.

3.1.4 Produção do alho cultivado sob deficiência nutricional

Observou-se na Tabela 1 que houve diferença significativa ($p < 0,5$) entre as cultivares Ito e Quitéria somente nas variáveis massa fresca e seca de bulbos nos tratamentos Completo. Supõe-se que essa diferença foi provocada por uma

resposta diferente dos materiais a temperatura média diária durante o cultivo em casa de vegetação. Já que os termômetros de máxima e de mínima instalados no ambiente de cultivo protegido registraram uma temperatura diurna e noturna média acima da temperatura atmosférica no exterior da casa de vegetação, com uma variação média de 4 °C acima dos valores obtidos na estação meteorológica da UFLA (12 e 20 °C) em relação às médias noturnas e diurnas observadas no interior da casa de vegetação (16 e 24 °C). Com isso, a cultivar Quitéria que tem um ciclo de cultivo mais longo (150 dias) apresentou uma redução de 25 dias no seu ciclo, com efeito direto sobre a produção, obtendo menor massa fresca e seca de bulbo. Não se observou pseudoperfilhamento em nenhuma das cultivares. Segundo Rahim e Fordham (2001), as temperaturas médias do dia e da noite influenciam diretamente o crescimento e desenvolvimento do alho. Temperaturas mais elevadas resultaram em um menor período para a emergência de plantas, além de reduzir o tempo para o início da bulbificação e o ciclo total da cultura, principalmente em cultivares de ciclos mais longos. Em função disso, verifica-se redução da massa seca de bulbo e, conseqüentemente, baixa produção em altas temperaturas. Com isso, plantas submetidas às temperaturas do dia e da noite mais elevadas, mostram, inicialmente, taxa de ganho de massa seca de bulbo superior. Entretanto, posteriormente, esta declina devido à senescência precoce das folhas e raízes. Pois, temperaturas mais baixas possibilitam maior ganho na massa fresca e seca do bulbo no final do ciclo da cultura.

Sem exceções entre os tratamentos sob omissão de macro e micronutrientes, todos apresentaram produção inferior à verificada pelas plantas cultivadas em solução completa. Dentre os tratamentos em que houve a produção de bulbos, as plantas sob omissão dos nutrientes P, K e B foram as que apresentaram menor MFB, MSB e NB. A produção de MS do bulbo obteve a maior redução sob omissão de P, K e B. Sob omissão de P, K, B, Fe e Zn ocorreu o menor NB por bulbo quando comparadas com tratamento Completo.

Nos tratamentos em que foram omitidos os macronutrientes Ca e N, os sintomas de deficiência foram muito severos, causando senescência e colheita precoce das plantas, não havendo a diferenciação e desenvolvimento do bulbo. Segundo Zink (1963), a cultura do alho elabora 60% da massa seca durante o período compreendido entre a bulbificação e a colheita, quando absorve 65% do fósforo e 38% do potássio. Com relação ao fósforo, a concentração deste nutriente em tecidos jovens é mais elevada, em função das atividades metabólicas, e acredita-se que este seja rapidamente redistribuído para o bulbo, antes da completa senescência da parte aérea (RESENDE, 1997). A redução da MFB e MSB deve estar ligada à alta exigência em potássio, por culturas que armazenam compostos orgânicos nos bulbos. Daí sua importante função, atuando no transporte de fotoassimilados das folhas para os órgãos de reserva (FAQUIN, 2001). Segundo Macedo (2008), o boro é o um dos micronutrientes mais acumulados ao longo do ciclo do alho, sendo inferiores somente ao ferro. O boro desempenha funções na síntese de ácidos nucleicos, nas respostas hormonais e no funcionamento de membranas. Sua deficiência causa grandes danos à produção das culturas (SHELP, 1983). O ferro é um nutriente chave no metabolismo da planta, estando envolvido com transformações energéticas necessárias para síntese e outros processos vitais, como respiração, fotossíntese, assimilação de nitrogênio e enxofre. E o zinco é ativador enzimático de diversos processos metabólicos, como na produção de triptofano que é precursor das auxinas responsáveis pelo crescimento de tecidos da planta (MENGEL; KIRKBY, 1987). Segundo Magalhães et al. (1979) e Souza e Casali (1986), o cálcio, juntamente com o nitrogênio, tem efeito decisivo no desenvolvimento de folhas, raízes e bulbo, e suas carências causam grandes danos a cultura.

3.2 Teor e acúmulo de nutrientes

Foram observadas diferenças significativas ($p < 0,5$) para os teores e acúmulo de macronutrientes (Tabela 1 e 2) e dos micronutrientes (Tabela 2 e 3) entre os tratamentos sob omissão. Não sendo observada diferença significativa ($p < 0,5$) entre as cultivares 'Ito' e 'Quitéria' nos teores e acúmulos de nutrientes.

Tabela 1 Teor de macronutrientes na parte aérea de plantas de alho livre de vírus das cultivares Ito e Quitéria sob omissão de macro e micronutrientes. UFLA, Lavras, MG, 2014.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	--- g kg ⁻¹ ---					
Ito Completo	30,16 b	5,63 b	32,00 c	13,63 a	3,69 c	25,00 e
Ito -N	11,05 d	2,63 e	22,86 e	13,50 a	3,54 c	29,14 c
Ito -P	19,30 c	1,52 f	31,21 c	11,45 b	3,71 c	26,68 d
Ito -K	35,70 a	7,08 a	13,78 f	12,30 b	4,63 b	35,19 a
Ito -Ca	20,75 c	7,34 a	34,08 a	4,07 c	5,32 a	31,75 b
Ito -Mg	20,90 c	7,35 a	36,46 a	14,33 a	0,85 d	26,19 e
Ito -S	21,17 c	4,88 c	31,06 c	11,26 b	5,91 a	16,93 f
Ito -B	20,47 c	5,03 c	31,66 c	10,58 b	3,78 c	34,02 a
Ito -Cu	19,07 c	5,01 c	26,28 d	10,11 b	3,57 c	32,77 b
Ito -Fe	17,95 c	5,69 b	32,76 c	11,07 b	3,60 c	27,22 d
Ito -Mn	20,12 c	5,81 b	31,35 c	13,68 a	3,74 c	29,11 c
Ito -Zn	18,87 c	5,33 c	32,55 c	11,55 b	3,58 c	24,97 e
Quitéria Completo	31,50 b	5,65 b	32,52 c	13,68 a	3,72 c	25,39 e
Quitéria -N	11,25 d	2,56 e	22,91 e	13,50 a	3,58 c	29,26 c
Quitéria -P	19,40 c	1,54 f	31,25 c	11,48 b	3,70 c	26,74 d
Quitéria -K	35,85 a	7,00 a	13,86 f	12,33 b	4,66 b	35,33 a
Quitéria -Ca	20,56 c	7,38 a	34,18 a	4,10 c	5,35 a	31,84 b
Quitéria -Mg	20,92 c	7,29 a	36,55 a	14,36 a	0,91 d	26,29 e
Quitéria -S	21,25 c	4,80 c	31,16 c	11,30 b	5,95 a	17,01 f
Quitéria -B	20,49 c	5,13 c	31,58 c	10,62 b	3,81 c	34,16 a
Quitéria -Cu	18,95 c	5,09 c	26,33 d	10,15 b	3,63 c	32,82 b
Quitéria -Fe	18,00 c	5,74 b	32,69 c	11,14 b	3,58 c	27,15 d
Quitéria -Mn	20,00 c	5,90 b	31,39 c	13,70 a	3,67 c	29,29 c
Quitéria -Zn	19,00 c	5,42 c	32,61 c	11,68 b	3,64 c	25,12 e

CV (%)	9,88	10,80	4,26	8,85	7,64	3,25
--------	------	-------	------	------	------	------

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 2 Acúmulo de macronutrientes na parte aérea de plantas de alho livre de vírus das cultivares Ito e Quitéria sob omissão de macro e micronutrientes. UFLA, Lavras, MG, 2014.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	--- mg planta ⁻¹ ---					
Ito Completo	230,72 a	43,07 a	244,80 a	104,27 a	28,23 a	191,25 a
Ito -N	39,78 g	9,47 e	82,30 e	48,60 b	12,74 d	104,90 d
Ito -P	61,76 f	4,86 f	99,87 d	36,64 d	11,87 e	85,38 e
Ito -K	103,88 b	20,53 c	39,96 g	35,67 d	13,43 d	102,05 d
Ito -Ca	45,65 g	16,15 d	74,98 f	8,95 e	11,70 e	69,85 f
Ito -Mg	60,61 f	21,32 c	105,73 d	41,56 c	2,47 f	75,95 e
Ito -S	74,10 e	17,08 d	108,71 c	39,41 c	20,69 b	59,26 g
Ito -B	94,16 c	23,14 b	145,64 b	48,67 b	17,39 c	156,49 b
Ito -Cu	89,63 c	23,55 b	123,52 c	47,52 b	16,78 c	154,02 b
Ito -Fe	55,65 f	17,64 d	101,56 d	34,32 d	11,16 e	84,38 e
Ito -Mn	72,43 e	18,01 c	112,86 c	49,25 b	13,10 d	104,80 d
Ito -Zn	83,03 d	23,45 b	143,22 b	50,52 b	15,75 d	109,87 d
Quite Completo	220,50 a	39,55 a	227,64 a	95,76 a	26,18 a	177,73 a
Quitéria -N	41,06 g	9,34 e	83,62 e	49,28 b	13,07 d	106,80 d
Quitéria -P	63,63 f	5,05 f	102,50 d	37,65 d	12,14 e	87,71 e
Quitéria -K	104,32 b	20,37 c	40,33 g	35,88 d	13,56 d	102,81 d
Quitéria -Ca	46,05 g	16,53 d	76,56 f	9,18 e	11,98 e	71,32 f
Quitéria -Mg	61,30 f	21,36 c	107,09 c	42,07 c	2,67 f	77,03 e
Quitéria -S	76,08 e	17,18 d	111,55 c	40,45 c	21,30 b	60,90 g
Quitéria -B	95,69 c	23,96 b	147,48 b	49,60 b	17,79 c	159,53 b
Quitéria -Cu	90,39 c	24,28 b	125,59 c	48,42 b	17,32 c	156,55 b
Quitéria -Fe	56,16 f	17,91 d	101,99 d	34,76 d	11,17 e	84,71 e
Quitéria -Mn	73,60 e	21,71 b	115,52 c	50,42 b	13,51 d	107,79 d
Quitéria -Zn	85,31 d	24,34 b	146,42 b	52,44 b	16,34 d	112,79 d
CV (%)	10,07	13,37	5,19	10,39	8,47	3,94

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O maior teor de N foi verificado nas plantas cultivadas sob omissão de K. Porém, vale ressaltar que, a produtividade das plantas sob deficiência de potássio foi em média 64,65% menor em relação à produtividade das plantas em solução completa. Provavelmente, parte do N absorvido pelas plantas em solução completa foi exportada por ocasião da colheita dos bulbos. Houve também o efeito da concentração, no qual, segundo Malavolta et al. (1997), há o aumento do teor do nutriente quando cai a produção de massa seca da planta. O tratamento em que foi omitido o N apresentou o menor teor desse elemento. A concentração externa de íons de N é um dos fatores que afetam a absorção iônica radicular desse nutriente (MALAVOLTA, 2006). O N é um nutriente responsável pelo aumento da área foliar e sua deficiência causa a redução no tamanho da folha. Os menores teores associados à menor produção de massa seca culminaram nos menores acúmulos de N na parte aérea das plantas. De acordo com Raij et al. (1996), a faixa de suficiência de N considerada adequada à cultura do alho, apresenta valores entre 25 e 30 g kg⁻¹ de N, dessa forma os dados obtidos encontram-se acima do considerado adequado à cultura. Em função da baixa produção de massa seca das plantas sob esse tratamento o acúmulo seguiu a mesma tendência do teor. Juntamente com o tratamento -N, os tratamentos sob omissão de Ca apresentaram os menores acúmulos em relação aos tratamentos Completo. Os maiores acúmulos de N na parte aérea das plantas ocorreram nos tratamentos Completo seguidos pelos tratamentos -K. Esse fato reflete a maior produção de massa seca pelas plantas dos tratamentos Completo e pelo alto teor de N na omissão de potássio, havendo assim, efeito de concentração, em função da reduzida produção de massa seca. Os menores acúmulos foram observados nos tratamentos -N e -Ca. Segundo Macedo (2008), em experimento em campo estudando acúmulo de potássio em plantas de alho vernalizado livre de vírus em função a doses de N aplicadas, constatou que

quanto maiores forem às doses de nitrogênio aplicadas na cultura, maior é o acúmulo de K na planta.

Os teores e acúmulos de P na parte aérea foram afetados pela omissão dos nutrientes. O menor teor de P foi verificado quando se omitiu esse nutriente da solução de cultivo. A produção de massa seca foi comprometida e o acúmulo seguiu a mesma tendência do teor. De acordo com Freeden, Rao e Terry (1989), a redução da expansão foliar é o efeito mais notável de plantas sob carência de P. Ao contrario do esperado, a omissão de Ca não diminuiu os teores de P nas plantas. Segundo Jones Junior et al. (1991), o aumento das concentrações de Ca aumentam a absorção de P, pois o Ca estimula o transporte nas membranas das mitocôndrias. Pelo tratamento -Ca ter apresentado baixa produção de massa seca, houve efeito de concentração do teor de P na planta. Rodas (2008) estudando omissão de nutrientes em morangueiro obteve resultado semelhante, corroborando com a suposição do efeito concentração pela baixa produção de massa seca de plantas pela omissão de cálcio. Da mesma forma, a baixa produção de massa seca nos tratamentos -K e -Mg causa o efeito da concentração do teor de P na planta. Novamente observa-se efeito da concentração do nutriente descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), que afirma que a redução da massa seca pode aumentar o teor dos nutrientes na massa seca das plantas com carência nutricional. Malavolta (2006) menciona ainda que o Mg aumenta a absorção de fosfato porque abaixa os valores de Km, além disso, como o Mg participa de reações de fosforilação nas quais entra o trifosfato de adenosina (ATP), não seria errado admitir que o nutriente tem um efeito sinérgico mais amplo. Os maiores acúmulos de P na parte aérea foram verificados nos tratamentos Completo, -B, -Zn e -Cu. Nesses tratamentos verificou-se grande produção de massa seca e grande teor de P na sua composição, explicando esse resultado. Além da baixa produção, havendo menor translocação de P para o bulbo desses tratamentos. Ainda com relação à

omissão Cu, como as plantas não apresentaram sintomas severos de deficiência de cobre, houve uma produção de massa seca próxima dos valores do tratamento padrão (Completo) somada aos altos teores de fósforo na sua composição, dessa forma, observa-se um alto acúmulo de P nesse tratamento.

Os teores e acúmulos de K na parte aérea foram afetados pela omissão dos nutrientes. Os maiores teores e acúmulos de K na parte aérea das plantas foram verificados nos tratamentos onde se omitiu o Ca e Mg. Com maior intensidade em relação à omissão do Mg, porém significativamente observada, na omissão de Ca, no qual os teores de K das plantas foram maiores do que nos tratamentos Completo. A presença relativa de K, Ca e Mg influenciam a concentração de cada um dos cátions dentro da planta (JONES JUNIOR et al., 1991). Segundo Fernandes (200), o K e o Ca são dois nutrientes importantes na nutrição de plantas. E a existência de antagonismo entre esses dois cátions é de natureza fisiológica e ocorre durante os processos de absorção pelas raízes e translocação dessas para a parte aérea. Os menores teores de K na parte aérea das plantas foram verificados quando esse nutriente foi omitido da solução de cultivo. Seu acúmulo foi diminuído nesse e nos tratamentos onde ocorreu omissão do Ca e do N, devido ao fato de as plantas terem seu desenvolvimento comprometido, reduzindo a produção de massa seca. Büll et al., (1998) verificaram que a concentração de potássio na parte aérea do alho aumentou proporcionalmente as quantidades de potássio aplicadas, ocorrendo o inverso com as concentrações de cálcio e magnésio, evidenciando um efeito antagônico do potássio sobre a absorção dos cátions divalentes. Com isso, o excesso de potássio inibiu mais o crescimento das plantas que a carência, o que pode estar associado ao desbalanceamento catiônico com o cálcio e magnésio gerado pela alta disponibilidade de K. O K atua como ativador enzimático e participa de processos como abertura de estômatos, fotossíntese, transportes de carboidratos e respiração (MALAVOLTA, 2006).

A omissão de Ca ocasionou uma redução no teor desse nutriente na parte aérea da planta de alho, quando comparado com os demais tratamentos. A concentração externa de íons de Ca é um dos fatores que afetam a absorção iônica radicular (MALAVOLTA, 2006). Os menores teores associados às menores produções de massa seca culminaram nos menores acúmulos de Ca na parte aérea na parte aérea das plantas. Os maiores teores na parte aérea das plantas foram verificados nos tratamentos Completo, -Mg, -N e -Mn. Mesmo não apresentando diferença estatisticamente significativa, o teor de Ca em plantas sob omissão de Mg foi em média 5% maior que nos tratamentos Completo. Marschner (1995) observa que a presença de Mg e $N-NH_4^+$ no meio pode diminuir a absorção de Ca pela plantas. Malavolta (1980) menciona que o Ca compete com o Mn pelo mesmo carregador nas folhas em pulverização foliar. Segundo Faquin (2001), mais frequente que a deficiência, a toxidez de Mn tem-se manifestado em muitas culturas, sendo corrigida pela calagem. Frequentemente, dada a interação do Mn com o Ca, o seu excesso pode manifestar-se como deficiência induzida de cálcio, e só posteriormente como toxidez. As plantas dos tratamentos Completo apresentaram os maiores acúmulos de Ca em relação aos demais tratamentos, pois apresentaram maiores valores de massa seca conjuntamente com maiores teores de Ca.

A omissão de Mg ocasionou os menores teores desse nutriente nas plantas de alho. Quanto ao acúmulo, o tratamento -Mg apresentou o menor valor. Como esperado, na deficiência de Ca, houve aumento de Mg, evidenciando a inibição competitiva que existe entre esses elementos. O maior teor de Mg foi verificado nas plantas do tratamento -S, seguido pelo -Ca e -K. A literatura não cita nenhum tipo de relação antagônica entre Mg e o S. Porém, na via glicolítica, a descarboxilação do piruvato com a formação do acetil - CoA é catalisada por um complexo multienzimático conhecido como complexo piruvato desidrogenase, que envolve três coenzimas contendo S: tiamina iro-

fosfato (TPP), ácido lipoico e a CoASH e ainda, mais o cofatores – NAD^+ , FAD^+ e Mg^{+2} . Com isso, a omissão de S pode causar o acúmulo de Mg nas células dos tecidos foliares, devido à interrupção dessa importante rota metabólica (FAQUIN, 2001; MALAVOLTA, 2006). A presença relativa de K, Ca e Mg influencia a concentração de cada cátion dentro da planta (JONES JUNIOR et al., 1991). Assim como o verificado no teor de K e Ca nas plantas de alho em função da omissão de Mg, devido ao antagonismo característico desses cátions, houve aumento do teor de Mg na planta em função da omissão de Ca e K, apresentando diferença significativa em relação aos tratamentos Completo. Segundo Faquin (2001), as plantas absorvem o magnésio da solução do solo na forma de Mg^{2+} se este for maior do que a do K^+ na solução do solo, e é reduzida por altas concentrações de outros cátions como o K^+ , Ca^{2+} e NH_4^+ , devido à inibição competitiva. Esta competição pode levar à deficiência do elemento nas plantas. A deficiência de Mg induzida pelo excesso de K na adubação é bastante comum em culturas muito exigentes em K em que as fórmulas de adubos empregadas são muito ricas em potássio. O transporte do Mg^{2+} das raízes para a parte aérea ocorre pelo xilema via corrente transpiratória, basicamente na forma como foi absorvido Mg^{2+} . Ao contrário do que se dá com o Ca^{2+} e de modo semelhante ao que ocorre com o K^{2+} .

O menor teor de S foi verificado em plantas cultivadas sob omissão desse nutriente, enquanto nas omissões K, Ca, N, B, Cu, Mn verificaram-se maiores teores de S em relação aos tratamentos Completo. No entanto, o menor teor de S nos tratamentos Completo foi devido às altas produções de massa seca nesses tratamentos refletindo um efeito diluição do nutriente. Esse fato é comprovado nos mais altos acúmulos desse nutriente no tratamento supracitado. Além da maior mobilização do nutriente para os bulbos, sendo um dos principais componentes dos compostos voláteis do alho. O enxofre é um importante elemento dos componentes voláteis do bulbo, sendo concentrado em maior

quantidade nessa parte da planta no final do ciclo da cultura (MACEDO, 2008). Os menores acúmulos de S foram verificados nos tratamentos sob omissão de S seguidos por omissão de Ca. Provavelmente as plantas sob omissão de Ca tiveram um baixo acúmulo devido aos menores valores de massa seca produzida.

Tabela 3 Teor de micronutrientes na parte aérea de plantas de alho livre de vírus das cultivares Ito e Quitéria sob omissão de macro e micronutrientes. UFLA, Lavras, MG, 2014.

Tratamento	B	Fe	Cu	Mn	Zn
	--- mg kg ⁻¹ ---				
Ito Completo	114,56 b	302,43 a	2,50 c	301,81 c	20,57 c
Ito -N	95,27 e	127,90 f	2,45 c	224,50 e	20,63 c
Ito -P	134,28 a	250,65 b	2,43 c	324,97 b	26,32 b
Ito -K	127,68 a	215,09 c	2,39 c	307,54 c	33,91 a
Ito -Ca	87,18 d	166,54 e	3,10 b	257,56 d	31,10 a
Ito -Mg	103,39 c	179,04 d	2,21 c	214,93 e	23,25 c
Ito -S	116,05 b	209,48 c	2,55 c	264,17 d	22,09 c
Ito -B	58,03 e	186,08 c	2,42 c	255,39 d	18,71 d
Ito -Cu	110,97 b	208,66 c	1,3 d	303,00 c	21,20 c
Ito -Fe	107,18 c	110,85 g	6,72 a	426,45 a	21,15 c
Ito -Mn	115,43 b	240,81 b	2,41 c	74,52 f	20,91 c
Ito -Zn	99,64 c	205,06 c	3,13 b	259,18 d	13,97 e
Quitéria Completo	116,02 b	303,02 a	2,65 c	290,02 c	20,62 c
Quitéria -N	95,72 e	128,10 f	2,50 c	224,72 e	20,78 c
Quitéria -P	135,04 a	251,16 b	2,44 c	325,10 b	26,43 b
Quitéria -K	128,82 a	215,18 c	2,41 c	308,01 c	34,01 a
Quitéria -Ca	88,12 d	166,66 e	3,15 b	257,82 d	32,00 a
Quitéria -Mg	104,91 c	179,16 d	2,26 c	215,12 e	23,34 c
Quitéria -S	117,00 b	209,55 c	2,62 c	264,35 d	21,98 c
Quitéria -B	59,24 e	186,17 c	2,51 c	255,56 d	18,52 d
Quitéria -Cu	112,85 b	208,72 c	1,36 d	302,92 c	21,42 c
Quitéria -Fe	108,11 c	110,90 g	6,78 a	424,32 a	21,26 c
Quitéria -Mn	113,31 b	240,96 b	2,53 c	74,88 f	21,03 c
Quitéria -Zn	102,02 c	204,90 c	3,18 b	260,06 d	14,09 e

CV (%)	7,60	13,34	7,25	6,73	2,45
--------	------	-------	------	------	------

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 4 Acúmulo de micronutrientes na parte aérea de plantas de alho livre de vírus das cultivares Ito e Quitéria sob omissão de macro e micronutrientes. UFLA, Lavras, MG, 2014.

Tratamento	B	Fe	Cu	Mn	Zn
	--- $\mu\text{g planta}^{-1}$ ---				
Ito Completo	790,46 a	2086,77 a	17,25 b	2082,49 a	141,93 a
Ito -N	342,97 e	460,44 h	8,82 d	808,20 f	74,27 d
Ito -P	429,70 c	802,08 d	7,78 e	1039,9 d	84,22 c
Ito -K	370,27 d	623,76 f	6,93 e	891,87 d	98,34 b
Ito -Ca	191,80 f	366,39 i	6,82 e	566,63 g	68,42 e
Ito -Mg	299,83 e	530,70 g	6,41 e	623,30 f	67,43 e
Ito -S	406,18 c	733,18 e	8,93 d	924,60 e	77,32 d
Ito -B	266,94 e	855,97 c	11,13 c	1174,79 c	86,07 c
Ito -Cu	521,56 b	980,70 b	6,10 f	1424,10 b	99,64 b
Ito -Fe	332,26 e	342,53 h	20,83 a	1322,00 b	65,57 e
Ito -Mn	415,55 c	866,90 c	8,68 d	268,27 h	75,28 d
Ito -Zn	438,42 c	902,26 b	13,77 c	1140,39 c	61,47 f
Quitéria Completo	870,15 a	2172,65 a	19,88 b	2165,00 a	154,65 a
Quitéria -N	349,38 e	467,57 h	9,13 d	820,23 f	75,85 d
Quitéria -P	442,93 c	823,80 d	8,00 e	1066,33 d	86,69 c
Quitéria -K	374,87 d	626,17 f	7,01 e	896,31 d	98,97 b
Quitéria -Ca	197,39 f	373,32 i	7,06 e	577,52 g	71,68 e
Quitéria -Mg	307,39 e	524,94 g	6,62 e	630,30 f	68,39 e
Quitéria -S	418,86 c	750,19 e	9,38 d	946,37 e	78,69 d
Quitéria -B	276,65 e	869,41 c	11,72 c	1193,47 c	86,49 c
Quitéria -Cu	538,29 b	995,59 b	6,49 f	1444,93 b	102,17 b
Quitéria -Fe	337,30 e	346,01 h	21,15 a	1323,88 b	66,33 e
Quitéria -Mn	416,98 c	886,73 c	9,31 d	275,56 h	77,39 d
Quitéria -Zn	458,07 c	920,00 b	14,28 c	1167,67 c	63,26 f
CV (%)	7,66	14,07	8,58	7,06	2,66

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os maiores teores de B foram observados em plantas que sofreram a omissão de P e K. Entretanto, as plantas sob omissão desses nutrientes

apresentaram queda no acúmulo do nutriente, em função da menor produção de massa seca, refletindo no efeito de concentração do nutriente. Não há relatos na literatura sobre essa interação de B e P em alho. Porém, resultados semelhantes foram encontrados por Jones Junior et al. (1991) e Rodas (2008), em trabalhos com cultivares de morango nos quais mostraram que, sob deficiência de P, as concentrações de B nas plantas aumentaram. Tem sido demonstrado que o B é necessário para a incorporação do fosfato em nucleosídeos para a formação de nucleotídeos ($\text{nucleosídeo} + \text{Pi} \rightarrow \text{nucleotídeo}$), que são as unidades formadoras dos ácidos nucleicos. Nas plantas deficientes em P ocorre menor síntese de DNA e RNA, levando, em consequência, à menor produção de proteínas pelas plantas e maior concentração de B nos tecidos da planta, com exaltação da via pentoses-fosfato, favorecendo a via glicolítica, com acúmulo dos produtos gerados, dentre eles os fenóis que são fitotóxicos em níveis elevados (FAQUIN, 2001; MALAVOLTA, 2006). De acordo com Dibb e Thompson (1985), ocorrem algumas interações entre K e micronutrientes, em que o primeiro diminui a absorção de B, Fe e Mo. Bergmann (1992) também cita efeito antagônico entre B e K. Nos tratamentos Completo foram verificadas as maiores quantidades de B acumuladas na parte aérea das plantas de alho. Apesar de verificados altos teores de B nos tratamentos -P e -K, a baixa produção de massa seca da parte aérea teve influência negativa no acúmulo desse nutriente. Os menores acúmulos de B nas plantas foram encontrados nos tratamentos -Ca devido, provavelmente, aos baixos teores encontrados aliados à baixa produção de massa seca produzida.

O maior teor e acúmulo de Cu foram observados nas plantas que sofreram omissão de Fe. Quando comparados os teores e acúmulos de Cu do tratamento -Fe com os tratamentos Completo, percebe-se que, para teores, foram observados valores 62,98% superiores e que, seus acúmulos de Cu foram 16,16% superiores. Jones Junior et al. (1991), citando um trabalho com plantas

ornamentais, mencionam que a adição de Fe à solução de cultivo diminui teor de Cu em folhas. Rodas (2008), em cultivo de morango em solução nutritiva também encontrou antagonismo do Fe na absorção de Cu. Faquin (2001) cita como sintomas de toxidez de Cu, a deficiência induzida de Fe, indicando inibição competitiva dos cátions. Os menores teores de Cu foram verificados no tratamento -Cu. Como já previsto, os menores acúmulos ocorreram em -Cu seguidos pelos tratamentos P, K, Ca e Mg com menor aporte de massa seca na parte aérea. Segundo Macedo (2008), dos micronutrientes o que apresenta menor acúmulo na planta de alho é o Cu, sendo o menos exigido pela cultura.

O maior teor de Fe foi observado nos tratamentos Completo e em plantas que sofreram a omissão de P e Mn, havendo um efeito de concentração do nutriente, pois pouca massa seca foi produzida. Entretanto, seu acúmulo foi inferior aos tratamentos Completo, -Zn e - Cu, os quais apresentaram os maiores acúmulos do nutriente devido a alta produção de massa seca pelas plantas desses tratamentos. Como já foi observado no teor e acúmulo de P pelo alho, há uma interferência na absorção de P e Fe na presença desses dois nutrientes no meio, devido à formação de fosfato de ferro (precipitado). Concentrações elevadas de outros cátions na solução diminuem a absorção de ferro. Assim sendo, o aumento da disponibilidade do Mn em solos ácidos, por exemplo, inibe competitivamente a absorção de Fe causando o aparecimento de sintomas de deficiência (FAQUIN, 2001; MALAVOLTA, 2006). As plantas sob omissão simples de Fe e N apresentaram os menores valores de Fe. Jones Junior et al. (1991) argumentaram haver uma interação positiva entre a presença de nitrogênio amoniacal e a absorção de Fe pela planta, certamente devido à característica do íon NH_4^+ em aumentar a acidez do meio, aumentando a disponibilidade de Fe (MALAVOLTA, 2006.) Segundo Faquin (2001), as plantas eficientes em absorver ferro baixam o pH da solução e excretam substâncias redutoras capazes de reduzir o Fe^{3+} para Fe^{2+} . Os menores acúmulos

de Fe foram observados em plantas sob omissões de Fe, N e Ca. Uma consequência da associação de baixos teores de Fe e menor produção de massa seca desses tratamentos. Macedo (2008) relata que o ferro é notadamente o micronutriente mais acumulado pelas plantas de alho vernalizado ao longo do ciclo da cultura, com isso, sua deficiência pode acarretar sérios danos ao cultivo do alho.

Os menores teores de Mn foram verificados em plantas cultivadas sob omissão desse nutriente. Quanto ao acúmulo, os tratamentos -Mn e -Ca apresentaram os menores valores, devido à associação de baixos teores de Mn e menor produção de massa seca desses tratamentos. Os maiores teores do nutriente foram observados em plantas cultivadas sob omissão Fe e de P. Contudo, sob carência de P o acúmulo de Mn foi baixo em função de sua baixa produção de massa seca. A omissão Fe, juntamente com os tratamentos Completo, apresentaram os maiores acúmulos de Mn na parte aérea das plantas. Segundo Jones Junior et al. (1991), o Fe e Mn possuem relações muito próximas na nutrição mineral de plantas. Esses mesmos autores afirmam que existe uma relação antagônica (inibição competitiva) entre esses dois nutrientes na qual altas concentrações de Fe têm efeito sob a riboflavina que ajuda na translocação do Mn na planta. Alguns trabalhos citados por Jones Junior et al. (1991) mostra que na deficiência de P, a concentração de Mn nas plantas aumentam. No entanto, Büll et al. (1998) relatam aumento na absorção e concentração de Mn com o aumento das doses de fósforo aplicada na cultura do alho devido, principalmente, ao excesso de adubação fosfatada que baixa o pH do meio na reação inicial do fosfato com o solo deixando o Mn mais solúvel, conseqüentemente mais disponível para as plantas.

Em relação aos teores de Zn na parte aérea, os tratamentos -K, -Ca e -P apresentaram maiores valores que os verificados nos tratamentos Completo. Por produzirem menos massa seca que os tratamentos Completo, houve o efeito de

concentração de Zn. Pela associação de baixos teores de Zn e menor produção de massa seca dos tratamentos -Ca, -Fe e -Zn, nesses tratamentos foram verificados, os menores valores de acúmulos de Zn. Alguns estudos com omissão de Ca em planta de rami, também verificaram elevados teores de Zn sob omissão de Ca (FEITOSA; HIROCE; BENATTI JÚNIOR, 1992). Esses resultados podem ser explicados pela ausência do mecanismo de inibição não competitiva existente entre esse nutriente quando da retirada do Ca da solução de cultivo (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Os tratamentos Completo seguidos pelo -K e -Cu apresentaram os maiores acúmulos de Zn na parte aérea das plantas, devido, certamente ao maior aporte de massa seca nos tratamentos Completo e ao elevado teor de Zn na omissão de K e Cu. O K é um forte competidor com outros cátions por causa da alta eficiência do sistema de absorção das plantas. Em ausência de K^+ na solução, a absorção de outros cátions é aumentada, uma vez que a competição é menos severa (ROSOLEM, 2005). Moreira, Fontes e Camargos (2001), estudando a interação entre P e Zn na cultura da alface, também verificaram que na ausência dos P os teores de Zn nas plantas aumentaram. A inibição não competitiva entre Zn e P na planta é bastante estudada, sendo verificados que altos teores de P induzem uma deficiência de Zn (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). O excesso de P pode aumentar o requerimento fisiológico de Zn, reduzindo as taxas de crescimento radicular e o transporte de Zn da raiz para a parte aérea das plantas agrícolas, inclusive do alho (LONERAGAN; WEBB, 1993; BULL et al., 2008). O menor acúmulo de Zn na parte aérea das plantas de alho foi verificado nos tratamentos sob omissão desse nutriente. Esse resultado reflete os baixos teores na massa seca das plantas cultivadas com a sua omissão em solução nutritiva.

3.2.1 Ordem de acúmulo dos macro e micronutrientes

A ordem decrescente de acúmulo de macronutrientes na parte aérea da cultura do alho proveniente da cultura de meristemas em solução nutritiva é: $K > N > S > Ca > P > Mg$. Macedo (2008) estudando extração de macro e micronutrientes em alho vernalizado da cultivar Caçador em campo observou a seguinte sequência de extração dos macronutrientes N, K, Ca, S, P, Mg. Silva et al., (1981) com a cultivar Lavinia obtiveram a seguinte sequência N, K, Ca, S, P, Mg, enquanto Resende (1997), obteve a sequência K, N, Ca, S, P e Mg na cultivar de alho nobre Quitéria proveniente de cultura de meristemas.

A ordem decrescente de acúmulo de micronutrientes na parte aérea da cultura do alho proveniente da cultura de meristemas em solução nutritiva é: $Fe > Mn > B > Zn > Cu$. Resultado de extração semelhante ao de acúmulo de micro do trabalho foi observado por Silva et al. (1981). Macedo (2008) com alho nobre cultivar Caçador obteve a sequência de extração de micronutrientes Fe, B, Zn, Cu, Mn. Resende (1997) em alho seminobre obteve a sequência de Fe, B, Zn, Mn, Cu. Segundo Malavolta (2006), o Mn é o segundo micronutriente mais exigido pelas culturas agrícolas, vindo logo depois o Fe.

Dessa forma, os resultados sugerem que a extração dos nutrientes pelo alho é muito semelhante com seu acúmulo na massa seca da parte aérea das plantas, exceto para o macronutriente S e micronutriente Mn, que apesar de alta extração e acúmulo, sua restrição não causou sintomas visuais de deficiência nas plantas de alho e nem grandes perdas produtivas. Entretanto, observa-se com esses dados que às condições climáticas, genótipo da espécie e à infestação por vírus, entre outras causas podem levar a variação nas necessidades nutricionais da cultura do alho. Com isso, saber identificar estas diferenças e os danos causados pela restrição nutricional pode contribuir para o manejo mais racional da nutrição mineral em alho em busca da máxima produtividade da cultura.

4 CONCLUSÕES

A omissão de nutrientes afeta o desenvolvimento e o estado nutricional das plantas de alho, causando diversas alterações morfológicas.

A produção apresentou redução sob omissão de todos os nutrientes estudados. Os tratamentos sob omissão de Ca e N entraram em senescência antes da diferenciação e desenvolvimento bulbar, conseqüentemente não produziram bulbo.

Omissões nutricionais causaram alterações nos teores e acúmulos dos macros e micronutrientes na cultura do alho vernalizado.

O acúmulo de macronutrientes na parte aérea da cultura do alho vernalizado livre de vírus em solução nutritiva é: K> N>S>Ca>P>Mg.

O acúmulo de micronutrientes na parte aérea da cultura do alho vernalizado livre de vírus em solução nutritiva é: Fe>Mn>B>Zn>Cu.

REFERÊNCIAS

- BERGMANN, W. **Nutrition disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis**. New York: G. Fischer, 1992. 741 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília: SPI/EMBRAPA, 1992. 84 p.
- BÜLL, L. T. et al. 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, MG, v. 22, n. 3, p. 458-470, jul./set. 1998.
- BÜLL, L. T.; VILLAS BÔAS, R. L.; NAKAGAWA, J. Variações no balanço catiônico do solo induzidas pela adubação potássica e efeitos na cultura do alho vernalizado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 3, p. 456-464, 1998.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p. 328-352.
- DIBB, D. W.; THOMPSON JUNIOR, W. R. Interaction of potassium with other nutrients. In: MUNSON, R. D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: Society of Agronomy, 1985. p. 515-533.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 227 p.
- FEITOSA, C. T.; HIROCE, R.; BENATTI JÚNIOR, R. Omissão de macronutrientes em rami. **Brangantia**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 185-188, 1992.
- FERNANDES, A. R. **Nutrição mineral e crescimento de mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes* H.B.K.), em solução nutritiva, em função do balanço nutriente e níveis de salinidade**. 2000. 145 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR software**. Versão 4.6. Lavras: UFLA/DEX, 2003. Software.
- FREEDEN, A. L.; RAO, I. M.; TERRY, N. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in *Glycine max*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 89, p. 225-230, 1989.
- GRANT, C. A. et al. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Piracicaba: POTAFOS, 2001. 5 p. (Informações Agronômicas, 95).

HOAGLAND, D.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soil**. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1950. 32 p. (Circular, 347).

JONES JUNIOR, J. B. et al. **Plant analysis handbook: a practical sampling preparation, analysis, and interpretation guide**. Athens: Micro-Macro, 1991. 213 p.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 118, p. 1-24, 2007.

LONERAGAN, J. F.; WEBB, M. J. Interaction between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In: ROBSON, A. D. (Ed.). **Zinc in soil and plants**. Madison: Kluwer Academic, 1993. p. 119-134.

MACEDO, F. S. **Marcha de absorção de nutrientes e produtividade em alho vernalizado proveniente de cultura de meristemas**. 2008. 63 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MAGALHÃES, J. R. Nutrição mineral em alho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 142, p. 20-30, 1986.

MAGALHÃES, J. R. et al. Diagnose por subtração, visando o levantamento dos nutrientes limitantes para a cultura do alho em solo de cerrado do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 19., 1979, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: SOB/EMPASC, 1979. v. 2, p. 197-198.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1995. 889 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4th ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.

MOREIRA, M. A.; FONTES, P. C. R.; CAMARGOS, M. I. Interação zinco e fósforo em solução nutritiva influenciando o crescimento e a produtividade da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 6, p. 903-909, jun. 2001.

PACHECO, D. D. et al. Nutrição mineral e adubação do morangueiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 236, p. 40-49, jan./fev. 2007.

- PACHECO, D. D. et al. Sintomas visuais de deficiências minerais em morangueiro cultivado no norte de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FUTRICULTURA, 19., 2006, Cabo Frio. **Resumos...** Cabo Frio: SBF, 2006. 1 CD-ROM.
- RAHIM, M. A.; FORDHAM, R. Environmental manipulation for controlling bulbing in garlic. *Acta Horticulturae*, The Hague, v. 555, p. 181-188, June 2001.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; POTAFOS, 1991. 343 p.
- RAIJ, B. van et al. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1996. 285 p.
- RESENDE, F. V. **Crescimento, absorção de nutrientes, resposta à adubação nitrogenada e qualidade de bulbos de alho proveniente de cultura de tecidos**. 1997. 139 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.
- RODAS, C. L. **Deficiências nutricionais no morangueiro**: caracterização de sintomas visuais, produção e nutrição mineral. 2008. 86 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- ROSOLEM, C. R. Interação do potássio com outros íons. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2005. p. 239-260.
- SHELP, B. J. Physiology and biochemistry of boron in plants. In: GUPTA, U. C. (Ed.). **Boron and its role in crop production**. Boca Raton: CRC, 1993. p. 53-85.
- SILVA, N. et al. Nutrição mineral de hortaliças: absorção de nutrientes pela cultura do alho. In: HAAG, H. P.; MINAMI, K. (Ed.). **Nutrição mineral em hortaliças**. Campinas: Fundação Cargill, 1981. p. 241-256.
- SOUZA, R. J.; CASALI, V. W. D. Pseudoperfilhamento: uma anormalidade genético-fisiológica em alho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 142, p. 36-41, 1986.
- ZINK, F. W. Rate of growth and nutrient absorption of late garlic. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Saint Joseph, v. 83, p. 579-584, 1963.

CAPÍTULO IV - Produtividade de alho vernalizado em função de fontes e doses de fósforo

RESUMO

O manejo balanceado da adubação para a cultura do alho está diretamente relacionado com ao aumento da produtividade e qualidade dos bulbos, principalmente em alho livre de vírus, sendo decisivo na concorrência com o alho importado. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a influência de diferentes fontes e doses de fósforo na produtividade e qualidade do alho vernalizado proveniente da cultura de meristema em solo com baixo teor de fósforo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados. Os tratamentos foram constituídos por quatro doses de fosfito e quatro doses P_2O_5 , em esquema fatorial 4x4, sendo quatro doses do fosfito de potássio (0,0; 4,0; 8,0; e 12,0 L ha⁻¹) aplicado via foliar e quatro doses de P_2O_5 (0,0; 200; 400 e 600 kg ha⁻¹) aplicado via solo usando o superfosfato simples como fonte, com três repetições. Os bulbos-sementes da cultivar 'Ito' utilizadas neste experimento são procedentes de cultura de meristemas, provenientes do terceiro ano de cultivo em campo. O aumento da produtividade do alho foi influenciado pelas fontes e doses de fósforo. Observou-se interação entre doses de fosfito e fosfato para altura de planta, número de folhas, produtividade total de bulbos, produtividade comercial de bulbos, massa média comercial de bulbos, massa seca média dos bulbos comerciais, porcentagem de chochamento dos bulbos, massa e número de bulbilhos. A produtividade do alho foi influenciada pelas fontes e doses de fósforo. A maior produtividade total e comercial de bulbos foi obtida com aplicação conjunta de fosfito via foliar e de fosfato via solo.

Palavras-chave: *Allium sativum* L., Fosfito, Nutrição Mineral, P_2O_5 , Fertilizantes.

ABSTRACT

The balanced fertilizer management for garlic crop is directly related to the increase of productivity and quality of bulbs, especially in free viruses garlic, being decisive in the competition with the imported garlic. This paper was conducted to evaluate the influence of different sources and levels of phosphorus in terms of productivity and quality of vernalized garlic from meristem culture in soil with low phosphorus content. The experimental design adopted was randomized blocks. The treatments consisted of four doses of phosphite and four doses P_2O_5 in a 4x4 factorial structure, being four doses of potassium phosphite (0.0, 4.0, 8.0, and 12.0 L ha⁻¹) applied via foliar and four doses of P_2O_5 (0.0, 200, 400 and 600 kg ha⁻¹) applied to the soil using superphosphate as a source, with three replications. The bulb-seeds of cultivar 'Ito' used in this experiment are coming from tissue culture, from the third year of cultivation in the field. The increased productivity of garlic was influenced by sources and levels of phosphorus. It was observed interaction between doses of phosphite and phosphate for plant height, number of leaves, total productivity of bulbs, commercial productivity of bulbs, average commercial mass of bulbs, average dry weight of commercial bulbs, percentage of pith bulbs, mass and number of bulbils. The productivity of garlic was influenced by sources and levels of phosphorus. The highest total and marketable productivity of bulbs was obtained with combined application of foliar phosphite and phosphate in the soil.

Key words: *Allium sativum* L., Phosphite, Mineral Nutrition, P_2O_5 , Fertilizers.

1 INTRODUÇÃO

A importância econômica da cultura do alho tem aumentado consideravelmente no Brasil nos últimos anos por ser o principal condimento na culinária brasileira e pela maior procura por suas propriedades nutracêuticas. Além do crescimento no poder aquisitivo do consumidor brasileiro que cada vez mais consome produtos naturais considerados benéficos à saúde. No entanto, a produção brasileira de alho é insuficiente para atender a demanda do mercado interno, sendo a baixa competitividade do alho nacional com o argentino e chinês o principal fator limitante à expansão do seu cultivo no Brasil (SOUZA; MACEDO, 2009).

O manejo balanceado da adubação para a cultura do alho está diretamente relacionado com ao aumento da produtividade e qualidade dos bulbos, principalmente em alho livre de vírus, sendo decisivo na concorrência com o alho importado (RESENDE et al., 2009, 2011).

A deficiência de fósforo (P) em alho causa perda de vigor nas plantas com redução no crescimento e amarelecimento irregular das folhas mais velhas, causando grande perda da produtividade comercial e qualidade dos bulbos (MACEDO, 2008). Segundo Macedo (2008), os teores de fósforo exigidos pela cultura do alho são baixos quando comparadas com o nitrogênio e o potássio, apesar de terem a mesma importância nutricional.

Entretanto, a adubação com fósforo no cultivo de alho, em solos brasileiros se realiza a taxas muito elevadas, pois esse nutriente é fundamental para o aumento da produtividade e qualidade da produção comercial. No entanto, a aplicação de grandes quantidades de P é principalmente devido à baixa disponibilidade deste elemento nos solos brasileiros, causada tanto pelo seu alto poder de imobilização, devido à aplicação dos fertilizantes fosfatados serem feitas em área total, seguido por incorporação, aumentando

consideravelmente a superfície de contato entre o nutriente e o solo, favorecendo a adsorção, como pela negligência dos agricultores na aplicação de corretivos agrícolas, pois a acidez do solo restringe ainda mais a disponibilidade de fósforo para a cultura, implicando em maior gasto com fertilizantes. Como consequência desses fatos, nas adubações, o fósforo é o nutriente que entra em maiores proporções (BÜLL et al., 2004, 2008). Dessa forma, elevando o custo de produção e diminuindo o retorno econômico para o produtor de alho (MACEDO, et al., 2011).

A necessidade de se buscar bioestimulantes e fertilizantes mais eficientes com aplicação mais racional tem incentivado as pesquisas para desenvolver e explorar produtos com melhor custo/benefício. Nesse contexto, o fosfito (PO_3^{-3}) derivado do ácido fosforoso, por apresentar um oxigênio a menos que os fosfatos é absorvido pelas plantas mais rapidamente, por ser altamente solúvel e facilmente assimilado nas folhas (LOVATT; MIKKELSEN, 2006). Com isso, os principais benefícios do fosfito é conter 7% a mais de fósforo por molécula de que os fosfatos, com assimilação exigindo menor gasto energético da planta, com melhoria do estado nutricional das plantas, sobretudo nos estádios de maior aumento da atividade metabólica e atuarem como ativadores de resistência das plantas a condições ambientais adversas e a patógenos, por meio do estímulo da produção de fitoalexinas (DIANESE; BLUM, 2010; MCDONALD; GRANT; PLAXTON, 2001; NOSOJA; RESENDE; RESENDE, 2005)

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a influência de fontes e doses de fósforo na produtividade do alho vernalizado proveniente de cultura de meristemas em solo com baixo teor de fósforo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo no Setor de Olericultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras - UFPA, localizado no município de Lavras, sul de Minas Gerais. O município está situado a 21° 14' de latitude sul e a 45° 00' de longitude oeste de Greenwich a uma altitude de 918 m. O clima da região segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwb, caracterizado por uma estação seca de abril a setembro e uma estação chuvosa de outubro a março, e com temperatura média de 19,3 °C (BRASIL, 1992). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2009). O experimento foi executado no período de abril a setembro de 2012.

A análise química da área experimental apresentou a seguinte classificação: pH (CaCl₂) = 5,9; H⁺ + Al³⁺ = 2,9 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 4,7 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 1,0 cmol_c dm⁻³; P disponível (extrator Mehlich- 1): = 4,06 mg dm⁻³; P-rem= 7,3 mg L⁻¹; K⁺ = 100,0 mg dm⁻³; matéria orgânica = 2,9 dag kg⁻¹; CTC= 6,14 cmol_c dm⁻³, V% = 77,21%, S: 11,3 mg dm⁻³; Zn: 24,4 mg dm⁻³; Fe: 24,70 mg dm⁻³; Mn: 94,2 mg dm⁻³; Cu: 5,5 mg dm⁻³; B: 0,5 mg dm⁻³ e textura argilosa (62% de argila). De acordo com os resultados da análise química o solo apresentava baixo teor de fósforo.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 4x4, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro doses de fosfito de potássio (0,0; 4,0; 8,0; e 12,0 L ha⁻¹) aplicados via foliar e quatro doses de P₂O₅ (0,0; 200; 400 e 600 kg ha⁻¹) aplicado via solo, perfazendo um total de 48 parcelas experimentais.

As doses de P_2O_5 foram aplicadas usando como fonte o superfosfato simples (18% de P_2O_5) aplicadas 10 dias antes do plantio juntamente com a adubação base, nas doses 1,11; 2,22 e 3,33 t ha⁻¹ de superfosfato simples.

As doses de fosfito foram retiradas de uma solução concentrada verdadeira de fosfito de potássio (KH_2PO_3) e diluídas em água para um volume de calda de 500 L ha⁻¹. A composição e características físico-químicas da solução concentrada do fosfito de potássio usado no experimento foram a seguinte: P = 40%; 596 g L⁻¹; K = 6%; pH em água = 3,0; índice salino = 67,5; densidade (ρ) = 1,69 g cm⁻³. O teor de potássio do fosfito pode ser descrito como adjuvante, e atua para facilitar e aumentar a velocidade de absorção dos íons de fosfito (PO_3) pelas plantas, pois ativa a abertura estomática e aumenta a reatividade com a cutícula foliar das folhas de alho, facilitando a penetração do P na parede celular. Mas para minimizar a interferência nos resultados do estudo esse valor foi calculado e subtraído da adubação base com potássio, para cada tratamento.

As aplicações de fosfito foliar foram iniciadas aos 30 dias após o plantio (DAP), sendo parceladas em quatro aplicações, com $\frac{1}{4}$ das doses totais estipuladas de fosfito (0,0; 1,0; 2,0; e 3,0 L ha⁻¹) por pulverização, em intervalos de 20 dias entre cada aplicação. Sendo a primeira aplicação aos 30 DAP, a segunda aos 50 DAP (fase vegetativa), a terceira e quarta dose de fosfito foram aplicadas após o período de estresse hídrico da cultura, sendo a terceira aplicação de fosfito aos 75 DAP e a última realizada 95 DAP (fase de bulbificação). Para aplicação dos tratamentos com fosfito foi usado um pulverizador costal de alavanca com capacidade para 10 L com bico tipo leque. Para aumentar a eficiência de aplicação foi adicionado o espalhante adesivo Agral® 1 ml L⁻¹. Em cada aplicação os tratamentos foram cercados por um biombo de lona plástica para evitar a deriva do produto entre as parcelas experimentais.

Os bulbilhos-semente da cultivar de alho vernalizado 'Ito' utilizadas neste experimento são procedentes de cultura de meristemas, provenientes do terceiro ano de cultivo em campo. As parcelas (1,00x1,20 m) foram dispostas em canteiros e compostas por seis linhas arranjadas em esquemas de fileiras duplas. O espaçamento entre fileiras duplas foi de 37 cm e o espaçamento entre fileiras simples de 12 cm. A densidade de plantio foi de dez bulbilhos por metro linear. A área útil foi definida pelas quatro fileiras centrais. A densidade de plantio foi de dez bulbilhos por metro linear. As bordaduras constituídas pelas duas fileiras de plantas externas e 20 cm de ambas as extremidades de cada parcela, permanecendo-se com área útil de 0,6 m² (32 plantas). Os bulbos foram vernalizados por 50 dias em câmara fria a 4 °C, ±2 °C e aproximadamente 80% de umidade relativa. Os bulbilhos-semente foram plantados com IVD (índice de superação de dormência) superior a 70% com ápice para cima na profundidade de 5 cm. A massa média de 100 bulbilhos-semente usados no plantio foi de 250 g. Os bulbilhos-semente foram tratados com o fungicida Rovral[®] para o plantio.

A adubação básica de plantio foi de acordo com a recomendada pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (1999) para a cultura do alho com algumas modificações, baseada na análise química do solo, que consistiu da aplicação de 35 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de K₂O, 18 kg ha⁻¹ de Mg, 3 kg ha⁻¹ de B, 3 kg ha⁻¹ de Zn, nas formas de sulfato de amônia, cloreto de potássio, sulfato de magnésio, bórax e sulfato de zinco. Os 100 kg ha⁻¹ de K₂O foram divididas em três parcelas, aplicadas no plantio, 25 e 80 dias após o plantio. Na adubação de cobertura foram aplicadas 70 kg ha⁻¹ de N, dividida em duas parcelas, aos 25 e 80 dias após o plantio, com distribuição de 20% e 80% da dose, respectivamente, e utilizando-se como fonte a ureia.

Os tratos culturais, bem como os demais cuidados com a cultura, foram realizados de acordo com as necessidades e as recomendações regionais para o

alho. A cultura foi mantida livre de plantas daninhas por meio de pulverizações dos herbicidas seletivos Ronstar® e Totril®, escalonados com capinas manuais.

No início da diferenciação dos bulbilhos, aproximadamente aos 50 dias após o plantio, a irrigação foi suspensa por 20 dias visando diminuir os possíveis efeitos do pseudoperfilhamento na produtividade e qualidade comercial dos bulbos. Porém ocorreu uma precipitação de aproximadamente 30 mm no décimo primeiro dia do estresse hídrico, que teve influência sobre a porcentagem de pseudoperfilhamento.

A irrigação foi realizada por meio de duas linhas de aspersões espaçadas em 12 m com aspersores (bocal 3,8 x 3,8 mm) também espaçados em 12 m em todas as parcelas. O estresse hídrico para o controle de pseudoperfilamento foi dos 50 até 70 DAP, após este período a irrigação foi novamente realizada com aspersores convencionais em área total, sendo novamente suspensa por 10 dias antes da colheita, visando a melhor conservação pós-colheita dos bulbos, pois favorece a uniformidade da maturação.

Foi avaliada a altura de plantas por meio de régua de madeira (150 cm) e número de folhas vivas aos 30, 60, 90 e 120 dias após o plantio.

A colheita foi efetuada durante a fase de senescência das plantas, quando estas apresentaram apenas seis folhas verdes em início de secamento. Após a colheita, as plantas foram para pré-cura e secas ao sol por cinco dias e depois permaneceram na cura à sombra por 75 dias. Após a cura, foi efetuado o toalete dos bulbos, sendo a partir de então avaliados e anotados os dados de produção.

O diâmetro de bulbos foi classificado por meio de uma régua de classificação de classes seguindo os valores: refugo (<32 mm) classe 3 (33-37 mm); classe 4 (37-42 mm); classe 5 (42-47 mm); classe 6 (47-56 mm), classe 7 (>56 mm) (MENEZES SOBRINHO et al., 1993).

A produção total (PT) foi determinada pela massa dos bulbos das classes 7, 6, 5, 4, 3, superbrotados e refugos, os valores expressos t ha⁻¹. A produção

comercial (PC) foi determinada pela massa dos bulbos das classes 7, 6, 5, 4 e 3, sendo os valores expressos $t \text{ ha}^{-1}$. A massa média do bulbo da produção comercial (MMCB) foi determinada pela razão entre massa total de bulbos da produção comercial pelo número total de bulbos comerciais, valores expressos em g bulbo^{-1} . A massa média de bulbilhos da produção comercial (MMCBB) e número médio de bulbilhos foi determinado de uma amostra de 10 bulbos da PC, pela razão entre a massa total de bulbilhos e o número de bulbilhos, sendo os valores expressos em g bulbilho^{-1} . O pseudoperfilhamento foi determinado nos bulbos da PT com excesso de bulbilhos miúdos e com características de superbrotado, sendo os valores expressos em porcentagem. O chochamento foi determinado nas amostras da PT que apresentavam cinco ou mais bulbilhos chochos por bulbo, sendo os valores expressos em porcentagem.

Para obtenção da massa seca, uma amostra com 10 bulbos da PC foram secos em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65-70 °C até que o material apresentasse massa constante, sendo os valores expressos em porcentagem.

De forma preliminar às análises de variância procedeu-se ao teste de homogeneidade de variâncias (teste de Bartlett a 5% de significância). Além disso, verificou-se a normalidade dos resíduos (teste Shapiro-Wilk a 5% de significância). Para todas as variáveis avaliadas não foram observados desvios em relação a esses pressupostos da análise.

Os dados foram submetidos à análise de variância, com realização do teste F, as comparações entre os tratamentos quantitativos foram efetuadas por meio da equação de regressão (Teste F, 5%), sendo feita a derivação das equações para encontrar os pontos de máxima e de mínima. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o *software* R versão 3.0.1 (R CORE TEAM, 2013) por meio dos pacotes *ExpDes* (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2013) e *stats* (R CORE TEAM, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação ($p < 0,05$) entre os fatores estudados para todas variáveis avaliadas, exceto para porcentagem de chochamento e de pseudoperfihamento. Verificando-se diferença significativa ($p < 0,05$) para a altura média de plantas, número médio de folhas, produtividade total de bulbos, produtividade comercial de bulbos, massa média comercial de bulbos, massa seca média dos bulbos comerciais, massa média dos bulbilhos, número médio de bulbilhos e porcentagem de chochamento em função das doses de fosfito e P_2O_5 .

Observou-se efeito quadrático e linear ($p < 0,05$) para altura média de plantas na interação entre doses de fosfito e P_2O_5 . Os valores observados variaram de 69,0 a 92,6 cm. A maior altura média observada foi de 92,6 cm nas plantas das parcelas que receberam 4 L ha^{-1} de fosfito acrescidos de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 1). A máxima altura média das plantas foi de 93,0 cm obtida com aplicação conjunta de 5,6 L ha^{-1} de fosfito e 265 kg de P_2O_5 ha^{-1} . Os resultados observados sugerem que o incremento na altura de plantas está relacionado à aplicação de fosfito foliar e sua associação com doses de P_2O_5 . Segundo Santos et al. (2006), a aplicação de fósforo foliar em feijoeiro aumentou a taxa fotossintética e assimilação de CO_2 pelas plantas, sendo observado maior vigor das plantas, com incremento em altura de plantas, número de folhas, volume de raízes, produtividade de grãos e maior resistência às condições ambientais adversas, como o estresse hídrico. De acordo com Rosolem (2002), o P é mais bem absorvido nas folhas em pH 3 a 5 (ácido), porém os fosfatados deixam o pH das soluções alcalinas (7 a 10) devido a presença do Ca na sua fórmula, restringido o uso dos fosfatos em adubação foliar para suprimento de fósforo. No entanto, a absorção de P foliar é 20 a 30 vezes mais eficiente (índice de utilização) e rápido do que a radicular. Dessa

forma, a assimilação do P aplicado às folhas normalmente é alto, com uma grande translocação do fósforo na planta, chegando até às raízes sem grandes dificuldades.

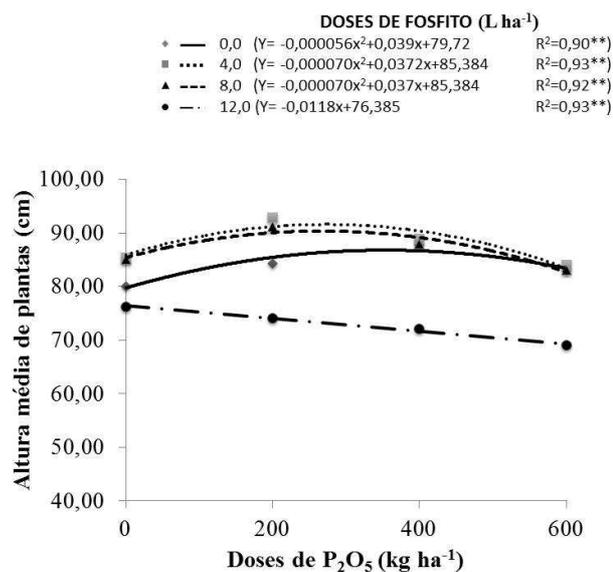


Figura 1 Altura média de plantas, em função da interação de doses de fosfito foliar e P₂O₅ via solo. UFLA, Lavras, MG, 2014

Souza & Macedo (2009) relatam que o fósforo pode influenciar na altura de plantas, tanto positivamente quanto negativamente, dependendo das quantidades utilizadas na adubação e sua disponibilidade para as plantas. Büll et al. (2008) afirmam que o aumento nos teores de nitrogênio nas folhas do alho e no nível de clorofila é evidente em função das doses de fósforo no solo, confirmando os resultados de Büll et al. (1998), permitindo inferir que existe interação sinérgica entre os dois nutrientes nessa cultura, com grande resposta no crescimento das plantas. No entanto, Büll et al. (1998) observa-se diminuição no comprimento das folhas em plantas de alho com a aplicação de doses de fósforo acima de 400 kg ha⁻¹. Segundo Hofgaard, et al. (2010), o fosfito possui alta

solubilidade, portanto é absorvido pelas folhas, tecido lenhoso e raízes com maior rapidez se comparando aos íons fosfatos. Com isso, a resposta positiva da aplicação foliar de fosfito se deve à sua estrutura molecular que apresenta um átomo de oxigênio a menos (PO_3^{-3}), tornando-o mais disponível para as plantas, sendo transportado com menor gasto energético através das membranas plasmáticas das células vegetais, e acelerando sua assimilação pelas plantas. Desse modo, observa-se que o aumento na altura das plantas apresentou alta relação com aplicação de fosfito foliar.

O número médio de folhas apresentou efeito quadrático e linear ($p < 0,05$) para a interação entre as doses de fosfito e P_2O_5 . Os dados observados variaram de 6,2 a 7,8 folhas. O maior número médio observado foi de 7,8 folhas nas plantas das parcelas que receberam 4L ha^{-1} de fosfito acrescidos de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 2). O máximo número médio de folhas estimado foi de 8,00 folhas por planta obtidos com a aplicação conjunta de $5,4\text{ L ha}^{-1}$ de fosfito e $276\text{ kg de P}_2\text{O}_5\text{ ha}^{-1}$.

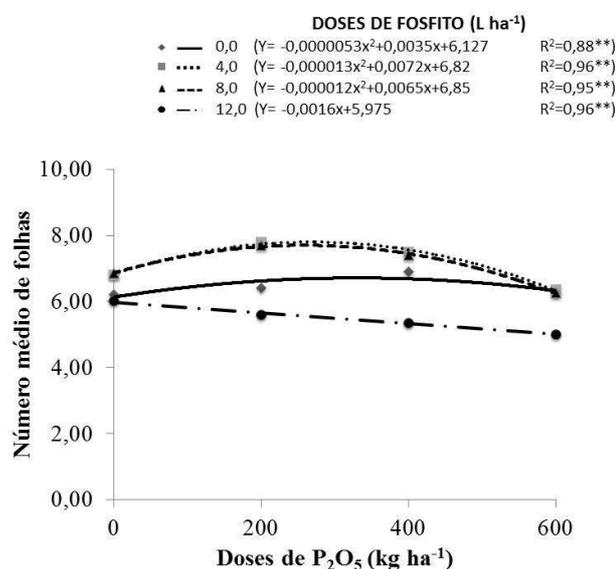


Figura 2 Número médio de folhas, em função da interação de doses de fosfito foliar e P_2O_5 via solo. UFLA, Lavras, MG, 2014.

O efeito do fosfito via foliar na menor senescência das folhas pode ter sido em função do aumento no vigor das plantas (altura de planta e número de folhas) e diminuição de manchas foliares. De acordo com Werner (1986), a senescência das folhas ocorre de forma mais pronunciada no final do ciclo, tendo início com a bulbificação, quando parte dos compostos orgânicos e inorgânicos são translocados para o bulbo. Assim, verifica-se que o fosfito via foliar propiciou maior equilíbrio nutricional das plantas. Ávila et al. (2011) encontraram maior resposta fisiológicas em plantas de milho ao estresse a agentes externos, como a estimulação da biossíntese de lignina em estudos com fosfito como fonte de fósforo, e com elevada sistemicidade do fosfito que se moveu tanto via xilema como via floema. Segundo Vitti, et al. (2005) e Walters e Bingham (2007), o fosfito atua como indutores de resistência sistêmica. Essa indução, realizada por meio da nutrição, ativa as enzimas glucanase, peroxidase e quitinase. Elas propiciam uma maior defesa contra patógenos, diminuindo a perda de área foliar, reduzindo a senescência das folhas e condicionando um aumento de produtividade. A alta relação entre número de folhas e a produtividade observada neste trabalho está de acordo com resultados de outros estudos de nutrição em alho vernalizado (BAGHALIAN et al., 2006; RESENDE et al., 2011). Dessa forma, uma associação de fatores, como maior disponibilidade de fósforo, melhor estado nutricional das plantas e menor índice de doenças foliares foi determinante para o um menor índice de senescência de folhas e uma maior altura de planta, refletindo em melhores produtividades nos tratamentos que receberam fosfito via foliar.

Foi observada perda de vigor das plantas de alho que receberam as maiores doses de P_2O_5 via solo e de fosfito via foliar. O vigor das plantas apresentou um efeito linear negativo sobre todas as variáveis analisadas nesse

estudo para interação entre as doses de 12 L ha⁻¹ e 600 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Tanto o fosfito quanto o fosfato quando analisados separadamente também tiveram influência negativa sobre todas as variáveis avaliadas nas doses citadas acima, causando danos vegetativos e perdas produtivas na cultura do alho. Büll et al. (1998) e Seno et al. (1995) observaram que a diminuição da produção de fitomassa das plantas de alho com o aumento das doses de fósforo já ocorre nos estádios iniciais da cultura, cujos valores são nitidamente inferiores na maior dose do elemento aplicada em adubação. Essas observações levam à hipótese de que possíveis efeitos danosos promovidos por níveis elevados de fósforo sobre o desenvolvimento do alho manifestam-se precocemente, sendo decisivos na produção no final do ciclo de cultivo. Büll et al. (1998) afirmam que a elevação nas doses de fósforo aumenta as concentrações de manganês nas folhas, revelando um acentuado paralelismo entre esses índices analíticos (P x Mn), reduzindo o crescimento das plantas de alho. Faquin e Vale (1991) afirmam que a absorção de altos teores de Mn é considerada tóxica para as plantas e estão associados com uma redução de até 20% na produção, dependendo da cultura. De acordo com Edwards e Kamprath, (1974), a maior absorção de Mn pelo alho ocorre em razão da redução dos valores de pH do solo com o aumento da dose de fósforo, causando também efeitos antagonísticos do P na absorção do Zn, sendo uma resposta comum em solos que recebem altas doses de fertilizantes fosfatados. Segundo Büll et al. (2008), adubações pesadas com fósforo podem induzir deficiência de zinco. As possíveis causas atribuídas a este antagonismo são a precipitação de compostos de P-Zn no solo, inibição não competitiva no processo de absorção, menor transporte do Zn das raízes para a parte aérea e, principalmente o efeito de diluição, que pode ser entendido como a diminuição do teor de um determinado nutriente na massa seca (no caso o Zn), devido ao crescimento da planta em resposta à aplicação de outro nutriente deficiente no meio (no caso o P). Dessa forma, o crescimento da planta em resposta à

aplicação do P, pode diluir o teor de Zn na massa seca a valores abaixo do nível crítico, reduzindo a produtividade da cultura. Provavelmente uma das causas da redução das variáveis produtivas neste estudo pode ser atribuída à absorção de altos teores de Mn, que proporcionaram efeito tóxico ao desenvolvimento da cultura e também na restrição de zinco. O zinco tem papel fundamental em plantas de alho. É ativador enzimático de diversos processos metabólicos, como produção do triptofano, que é precursor das auxinas responsáveis pelo crescimento de tecidos da planta (divisão e alongamento celular) e participa da síntese de RNA e proteínas, sendo absorvido e acumulado em grandes quantidades ao longo do ciclo da cultura e entre os micronutrientes é inferior apenas aos valores de ferro e boro (RESENDE et al., 1999).

A influência negativa da aplicação da maior dose de fosfito isoladamente ou associado às doses de fosfato (P_2O_5) sobre o vigor das plantas pode ter sido devido à associação de três fatores ligados a fitotoxidez. O primeiro fator causado por um desequilíbrio fisiológico na planta pela alta concentração interna de fósforo, desbalanceado a absorção e acúmulo de outros nutrientes pelas plantas, principalmente de micronutrientes como descrito anteriormente. Ávila et al. (2011) estudando os efeitos de doses fosfito fornecido em solução nutritiva associado com fertilizantes fosfatos em cultivo de milho em casa de vegetação, observaram que logo após fornecimento de fosfito o elemento podia ser detectado em todas as partes das plantas. Porém, sendo constatada uma pequena redução no crescimento das plantas que receberam fosfito via hidropônica, em comparação as plantas que receberam somente adubação fosfatada. Resultados semelhantes foram observados por Schrötter et al. (2006), utilizando doses fosfito via solo no cultivo em vaso de plantas de milho. Os demais fatores supostamente foram injúrias na parede vegetal das folhas das plantas, causados por um alto índice salino do fosfito, que pode ter sido aplicado em uma concentração muito alta nos tratamentos que receberam a maior

dosagem do produto e também por um pH muito ácido (2,0) desta formulação. Além da redução do vigor das plantas (altura de planta e número de folhas), foi observado amarelecimento e necrose nas folhas das plantas que receberam a dose de 12 L ha⁻¹ de fosfito. Com a perda de vigor das plantas causado pela fitotoxidez da maior dose de fosfito aplicada, houve consequentemente uma perda de produtividade da cultura, exatamente como foi observada. Segundo Faquin (2001), os sintomas de queima nas folhas podem causar menor fotossíntese e prejuízo na produtividade das culturas. Fajardo et al. (2002) afirmam que o baixo vigor vegetativo das plantas de alho causa a redução no tamanho e peso dos bulbos e bulbilhos. O índice salino mensurado do fosfito de potássio foi 67,5 (L⁻¹ de solução concentrada), valor próximo a de fertilizantes como a ureia, que apresenta um índice salino de 75 (RADER JUNIOR; WHITE; WHITTAKER, 1943). O índice salino é a pressão osmótica causada pelo fertilizante. Supostamente a pressão osmótica da solução aplicada foi superior à da solução celular das folhas da planta, causando o caminhamento da água da célula para o soluto depositado na cutícula da folha, com isso causando injúrias nas folhas e retardando o crescimento das plantas, sendo mais fitotóxico no início do ciclo da cultura, pois as plantas mais novas são as que mais sentem os efeitos da salinidade. François (1994) e Magalhães (1986) citam a cultura do alho muito sensível à salinidade, mesmo em níveis relativamente baixos. Segundo Fageria, Baligar e Jones (1991), a parte aérea da planta é mais afetada pela salinidade do que as raízes. Sendo observado que, mesmo sem diferença estatística, a fitomassa do bulbo foi mais afetada (redução de 12%) pela acumulação de sais nas folhas do que nas raízes, cuja fitomassa teve redução de apenas 8,3%. Resultados semelhantes foram observados por Amorin et al. (2002), estudando o efeito negativo da salinidade na cultura do alho. Segundo Faquin (2001), formulações para aplicação foliar, é interessante que o pH esteja em torno de 5,0, uma vez que formulações muito ácidas ou alcalinas podem

levar à ocorrência de fitotoxidez. Mas, quando o pH das soluções é corrigido os sintomas de fitotoxidez desaparecem. Diante do exposto, mesmo com o parcelamento das aplicações de fosfito em intervalo de 20 dias e feitas sempre no início da manhã, com umidade relativa do ar aproximada de 70%, a fitotoxidez das doses mais elevadas não foram minimizadas. Dessa maneira, o único meio de atenuar o efeito da acidez e da salinidade do fosfito é diminuindo a concentração (dose) aplicada via foliar, com isso reduzindo efeito negativo do índice salino e do pH do fertilizante.

A produtividade total e comercial media apresentou efeito quadrático e linear ($p < 0,05$) em função da interação entre fatores estudados. A PT observada variou de 4,97 a 11,85 t ha⁻¹ (Figura 3). A maior PT média observada foi de 11,85 t ha⁻¹ nas parcelas que receberam 4L ha⁻¹ de fosfito acrescidos de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A máxima produtividade total estimada foi de 12,00 t ha⁻¹ obtida com a aplicação de 6,3 L ha⁻¹ de fosfito acrescidos de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via solo.

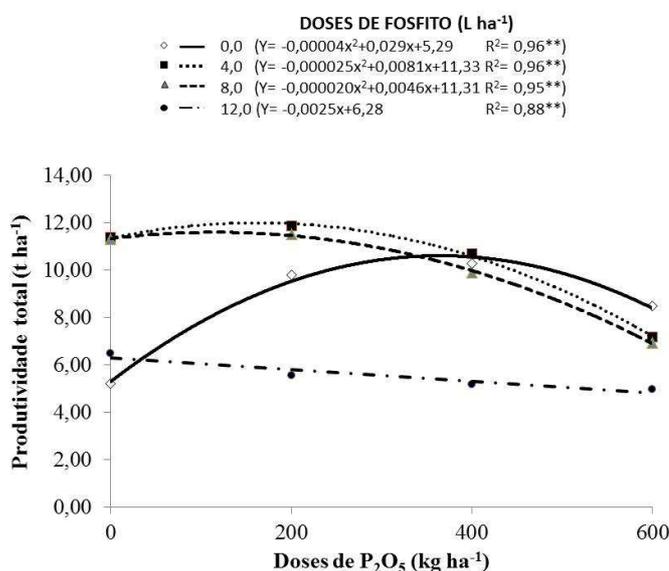


Figura 3 Valores médios da produção total de bulbos, em função da interação de doses de fosfito foliar e P_2O_5 via solo. UFLA, Lavras, MG, 2014.

A produtividade comercial média observada de bulbos variou de 2,2 a 9,3 t ha^{-1} . A maior PC média observada foi de 9,3 t ha^{-1} nas parcelas que receberam 4 L ha^{-1} de fosfito acrescidos de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 4). A máxima produtividade comercial estimada foi de 9,5 t ha^{-1} obtida com a aplicação de 6,3 L de fosfito acrescidos de 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

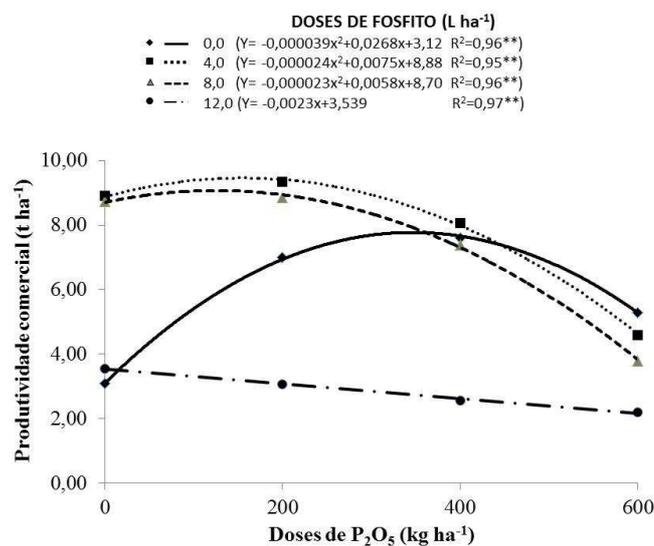


Figura 4 Valores médios da produção comercial de bulbos, em função da interação de doses de fosfito foliar e P_2O_5 via solo. UFLA, Lavras, MG, 2014.

Resende et al. (2011) avaliando a resposta de plantas de alho à adubação complementar com enxofre, observaram correlação positiva ente altura de planta e número de folhas com o aumento da produtividade das cultivares de alho

‘Quitéria’, ‘Roxo Caxiense’ e ‘Caçador’. Macedo et al. (2011) estudando efeito de fontes e doses de P_2O_5 sobre a fitomassa de plantas e bulbos em alho vernalizado de propagação convencional cultivar ‘Caçador’ obtiveram as maiores médias de produtividade com aplicação de $200 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$. Independente da fonte P_2O_5 , a aplicação de doses superiores a $200 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ reduziram linearmente a fitomassa total das plantas e dos bulbos de alho. No entanto, Büll et al. (2008) estudando interação de doses de P e Zn e tipos de solo em alho com cultivar ‘Caçador’ em casa de vegetação (vasos) obtiveram acréscimo no desenvolvimento das plantas e produtividade máxima com doses de até $400 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ em solos argilosos e $200 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ em solos arenosos, e que altas doses de fósforo diminuíram a absorção de Zn no alho. Comparando-se os resultados do presente estudo com as demais pesquisas constata-se que a exigência nutricional de P em alho varia de acordo com o tipo de cultivo, solo, genótipo e origem do material propagativo. Verifica-se que as pesquisas com exigência nutricional independente do nutriente em alho vernalizado proveniente de cultura de meristemas ainda têm muito a contribuir para a recomendação equilibrada das adubações em alho para aproveitamento do maior potencial produtivo desses materiais para obtenção das melhores produtividades nesta cultura.

Deve ser ressaltado, que o efeito observado da menor dose de fosfito (4 L ha^{-1}) produziu $11,4$ e $8,9 \text{ t ha}^{-1}$ de produção total e comercial de bulbos respectivamente, nas parcelas sem aplicação de fosfato (P_2O_5) no solo, frente a produção de $10,3$ e $7,50 \text{ t ha}^{-1}$ da melhor dose observada de P_2O_5 via solo (400 kg ha^{-1}) aplicada isoladamente. No entanto, as melhores médias observadas e estimadas de produtividade foram da aplicação conjunta de fosfito via foliar e fosfato (P_2O_5) via solo. Segundo Vitti et al. (2005), estudando aplicação de fosfito em cana-de-açúcar observaram incrementos na produtividade em soqueira de cana de $8,8$ e $18,5 \text{ t ha}^{-1}$ com aplicação de 5 e $7,5 \text{ L}$ de fosfito ha^{-1} ,

respectivamente, verificando maior vigor das plantas e elevação do °Brix dos tratamentos que receberam as doses de fosfito. Gasperin, Viecelli e Moreira (2012) estudando o efeito do fosfito no controle doenças e na produção de soja relatou que a aplicação de fosfito proporcionou mudanças significativas no rendimento de grãos e também verificou ação positiva das aplicações no controle da ferrugem asiática. E o pesquisador indica uma tendência de que o uso do fosfito contribui para a elevação do rendimento final de grãos mesmo nos tratamentos no qual as doses usadas não contribuíram para o controle do patógeno. De acordo com os resultados produtivos citados anteriormente, a aplicação de fosfito via foliar reduziu a necessidade de P_2O_5 via solo para a produtividade comercial máxima estimada, com valores de produção 18% maiores nos tratamentos que receberam $4 L ha^{-1}$ de fosfito foliar. Contudo, a produtividade obtida nos tratamentos que receberam somente a aplicação de fosfito foi menor que a encontrada com a adubação de P_2O_5 via solo associada à aplicação suplementar de fosfito foliar nas doses mais adequadas. Segundo Guo et al. (2000), os fosfatos além da função de fornecer o fósforo para nutrição das plantas, quando aplicado na quantidade adequada tem um papel importante no condicionamento do solo, pois atuam na elevação do pH do solo com adição de cálcio, fornecendo também o outros nutrientes como o enxofre, e com grande efeito sinérgico para a disponibilidade dos demais minerais essenciais e benéficos às culturas agrícolas. Além disso, apesar do P remanescente ser baixo no solo do campo experimental, provavelmente contribui para a elevada produção nas parcelas que receberam somente os tratamentos com doses de fosfito. Guo et al. (2000), relatam que a médio e longo prazo, todas as formas de fósforo do solo são disponíveis às plantas, do que se pode inferir que o fósforo adicionado pode ser inteiramente recuperado a médio e longo prazo, mas não garantem que as taxas de absorção pelas plantas sejam suficientes para manter altos rendimentos produtivos das lavouras. Ainda segundo Ávila et al. (2011),

estudando o P do fosfito fornecido via radicular, observou que o mesmo não foi metabolizado de forma satisfatória em substituição ao fosfato em plantas de milho cultivadas em vasos com solução nutritiva. Portanto, seria prematuro indicar a substituição da adubação fosfatada em alho pela aplicação foliar de fosfito, ainda mais sendo o fósforo um macronutriente, logo, deve ser fornecido principalmente via solo. Logo, verifica-se que, os melhores resultados de produtividade podem ser obtidos da associação dos benefícios e propriedades nutricionais do fosfito via foliar com o fosfato via solo.

A aplicação de fosfito via foliar proporcionou maior porcentagem de bulbos com boa qualidade comercial, entre estes, bulbos das classes 5, 6 e 7. Os melhores resultados obtidos com fosfito foram observados nas doses 4 e 8 L ha⁻¹, respectivamente, independente das doses de P₂O₅ via solo (Figura 5). Sendo o resultado de todos os benefícios ressaltados anteriormente com aplicação foliar de fosfito, que aumentou vigor das plantas de alho, e conseqüentemente a qualidade e produtividade de bulbos.

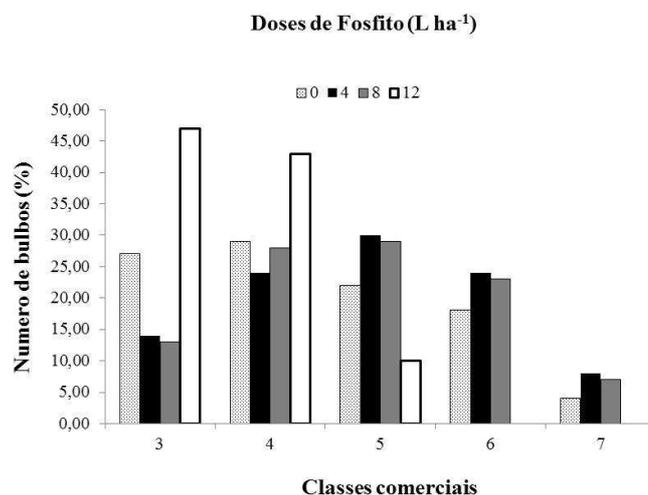


Figura 5 Distribuição da produção de bulbos em classes comerciais em função da aplicação de fosfito foliar. UFLA, Lavras, MG, 2014.

A aplicação da maior dose de fosfito (12 L ha^{-1}) foi visivelmente maléfica para as variáveis produtivas da cultura alho, tendo efeito negativo quando associada às doses de P_2O_5 aplicadas como superfosfato simples. As suposições sobre a influência negativa da aplicação das maiores doses de fosfito e fosfato já foram discutidas, nas quais foram demonstradas a alta relação do vigor das plantas com a produtividade do alho, e os efeitos negativos tanto da carência de fósforo quanto de altas adubações com P_2O_5 . Segundo Fajardo et al. (2002), o baixo vigor vegetativo das plantas de alho está associado à redução no tamanho dos bulbos. De acordo Büll et al. (1998), níveis mais baixos de fósforo no solo indicam tendência significativa para o alongamento do bulbo produzido sob condição de carência desse nutriente, o que foi constatado visualmente no seu trabalho, reduzindo o valor comercial em razão da descaracterização do formato do bulbo e redução da sua fitomassa.

Em relação a variável massa média de bulbos da produção comercial (MMCB), constatou-se efeito quadrático e linear ($p < 0,05$) em função das doses de fosfito e doses de P_2O_5 . A MNCB variou de 15,0 a 40,0 g. A maior MNCB média observada foi de 40 g nas parcelas que receberam 4 L ha^{-1} de fosfito acrescidos de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 6). O maior valor estimado da MNCB pode ser obtida da aplicação conjunta de $5,2 \text{ L ha}^{-1}$ de fosfito e 154 kg ha^{-1} de P_2O_5 , sendo a máxima MNCB estimada de 43 g.

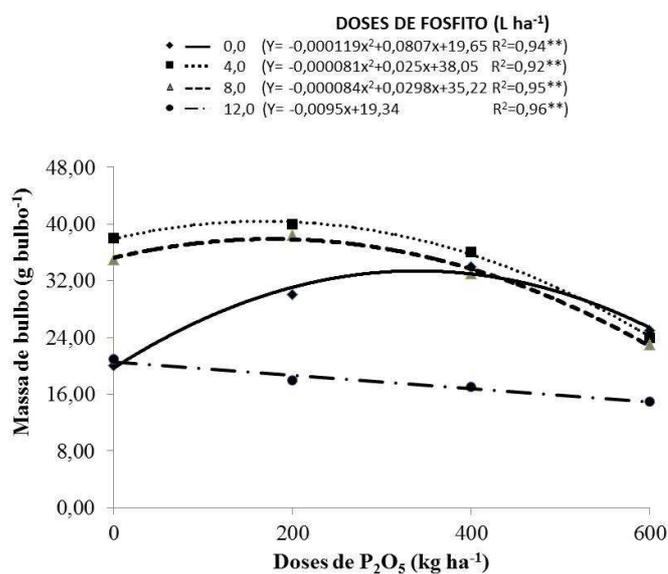


Figura 6 Massa média comercial de bulbos (MMCB), em função da interação de doses de fosfito foliar e P₂O₅ via solo. UFLA, Lavras, MG, 2014.

O número médio de bulbilhos observado variou de 6 a 13 por bulbo da produção comercial. Com efeito quadrático e linear ($p < 0,05$) para interação entre os fatores estudados. O maior número médio observado foi de 13 bulbilhos por bulbo nas parcelas que receberam 4 L ha⁻¹ de fosfito acrescidos de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 7). A maior média estimada de bulbilhos por bulbo da produção comercial pode ser obtida da aplicação conjunta de 5,4 L de fosfito e 185 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo o número máximo estimado de 14 bulbilhos por bulbo. Segundo Büll et al., 2008, o fósforo apresenta efeitos marcantes sobre a altura, massa fresca das plantas de alho, sendo um dos nutrientes cuja aplicação tem possibilidade de maiores respostas nos solos brasileiros devido sua fixação, tanto no aumento da produtividade, como tamanho de bulbo, tamanho de bulbilho e número de bulbilhos por bulbo.

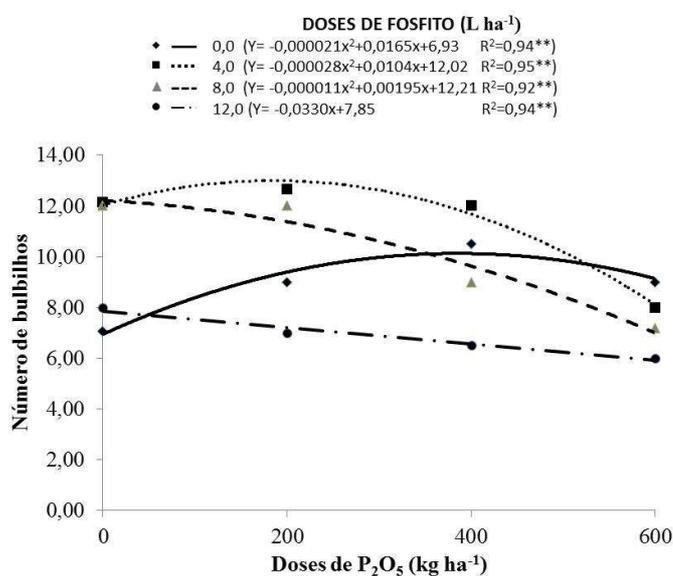


Figura 7 Número médio de bulbilhos por bulbo, em função da interação de doses de fosfito foliar e P₂O₅ via solo. UFLA, Lavras, MG, 2014

Observou-se efeito quadrático e linear ($p < 0,05$) para massa média de bulbilhos de bulbos da produção comercial (MMCB) em função da interação entre doses fosfito e P₂O₅. Os dados observados variaram de 1,6 a 4,0 g. A maior MMCBB média observada foi de 4,0 g nas parcelas que receberam 4 L ha⁻¹ de fosfito acrescidos de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 8). O máximo valor estimado de bulbilhos pode ser obtido da aplicação conjunta de 5,6 L ha⁻¹ de fosfito e 186,7 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo a máxima massa média de bulbilhos estimada de 4,5 g.

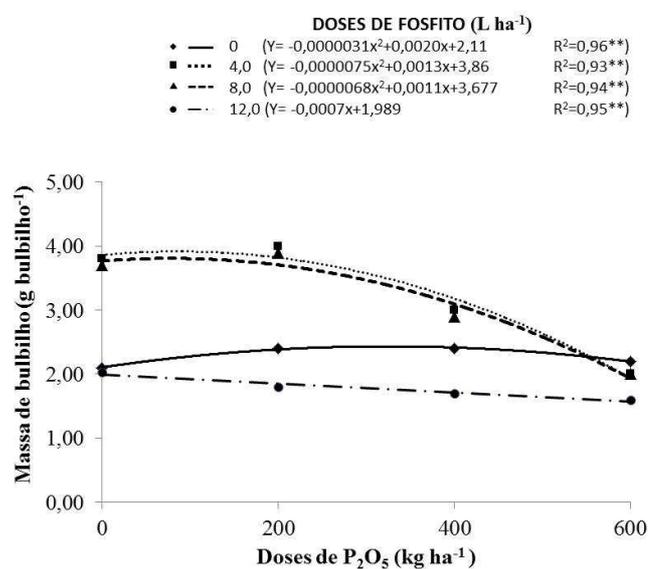


Figura 8 Massa média de bulbilhos da produção comercial, em função da interação de doses de fosfito foliar e P₂O₅ via solo. UFLA, Lavras, MG, 2014.

Estudando a nutrição mineral de P em alho, em testes entre fontes e doses de fosfatos, Macedo et al. (2011) relatam dados contrastantes, em parte, com os apresentados nesse estudo. Os resultados do seu trabalho sugeriram que a fitomassa média de bulbilhos não apresentou diferenças em relação aos níveis de fósforo testados na sua pesquisa, relacionando a influência de doses de fósforo na produtividade dos bulbos comerciais à formação de maior número de bulbilhos. Porém, o que se tem observado é que a resposta à adubação fosfatada depende em grande parte do tipo e da fertilidade do solo. No caso de alho vernalizado provenientes da cultura de meristemas, as pesquisas sobre a adubação fosfatada ainda são escassas. Não se chegou ainda a um consenso com relação às quantidades e fontes de fósforo que proporcionam maiores ganhos em produtividade, já que pesquisas recentes indicam que esses materiais de alho

livres de vírus são mais exigentes em nutrição mineral, necessitando de um alto nível tecnológico de produção para atingir todo seu potencial produtivo. Segundo Filgueira (2000), apesar de ser o quinto nutriente, em ordem de extração pela cultura do alho, o fósforo é o nutriente que oferece maiores respostas em produtividade e no aumento da massa do bulbo.

A massa seca média de bulbos observada da produção comercial variou de 25 a 42%. Observando-se efeito quadrático e linear ($p < 0,05$) para interação entre doses de fosfito via foliar e P_2O_5 via solo. A maior massa seca média observada foi de 42% nas parcelas que receberam 4 L ha^{-1} de fosfito acrescidos de 200 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 (Figura 9). O maior valor estimado para massa seca pode ser obtido na dosagem de 6,4 L ha^{-1} de fosfito e 210 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , sendo o máximo acúmulo estimado de 43%.

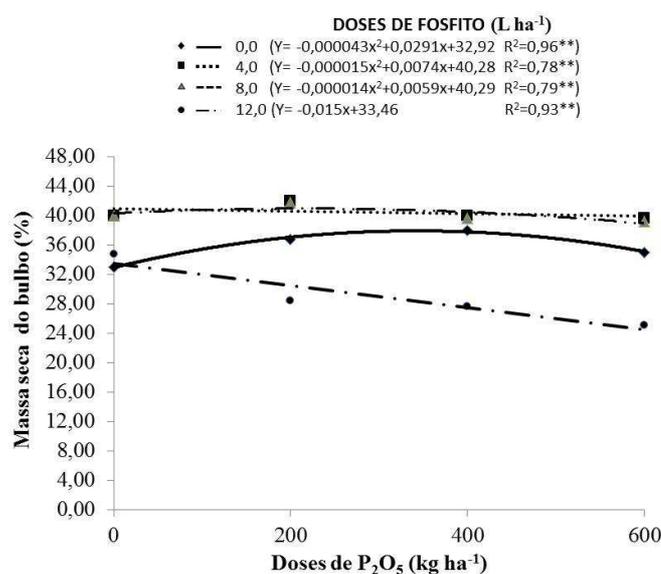


Figura 9 Massa seca dos bulbos da produção comercial em função da interação de doses de fosfito foliar e P_2O_5 via solo. UFLA, Lavras, MG, 2014.

Segundo Resende et al. (1999), os macronutrientes nitrogênio e potássio são extraídos e acumulados em maior quantidade pelas plantas, tanto no alho proveniente de cultura de tecidos quanto no multiplicado de forma convencional, e estão diretamente relacionados à intensidade de crescimento e acúmulo de massa seca da planta e dos bulbos, fundamental para a produtividade da cultura. De acordo com Büll et al. (1998), os efeitos dos níveis de fósforo sobre a absorção e concentração de N e K na parte aérea das plantas são evidentes, apresentando correlação positiva, sendo essa tendência da elevação na concentração de nitrogênio e potássio no alho com aumento de doses fósforo aplicadas na cultura responsáveis em parte do aumento de massa seca dos bulbos e sua relação direta com maiores ganhos de produtividade dos tratamentos bem nutridos em fósforo. Rahim e Fordham (2001) estudando temperatura na bulbificação do alho verificaram que redução da massa seca de bulbos está relacionada à baixa produtividade da cultura. Dessa forma, fica evidente que a maior disponibilidade e facilidade na absorção de P das plantas que receberam aplicações de fosfito está diretamente relacionada com maior vigor da planta e maior acúmulo de massa seca no bulbo, conseqüentemente, maior produtividade total e comercial.

Verificou-se efeito quadrático simples ($p < 0,05$) para a porcentagem de chochamento de bulbos em função da aplicação de fosfito, com diferença significativa entre as doses de fosfito aplicadas e independentes das doses de P_2O_5 via solo. Os valores de chochamentos obtidos reduziram com o aumento nas doses de fosfito estudadas, variando de 8,8 a 21,6% de chochamento na fase de cura dos bulbos. As menores porcentagens de bulbos chochos foram observadas nas doses 4, 8 e 12 L ha⁻¹ (Figura 10). Sendo a menor porcentagem de bulbos chochos estimada 7,6% obtida com a aplicação de 8,2 L ha⁻¹ de fosfito.

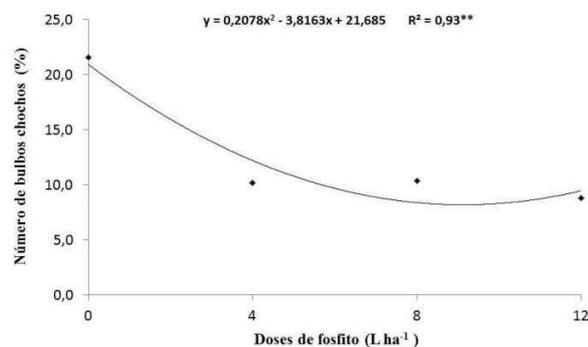


Figura 10 Valores médios de bulbos chochos, em função das doses de fosfito. UFLA, Lavras, MG, 2014.

As parcelas experimentais que não receberam aplicação de fosfito via foliar apresentaram as maiores porcentagens de chochamento dos bulbos, independente das doses de P_2O_5 via solo. O chochamento em alho pode ser ocasionado por alguns fatores, sendo eles, o excesso de nitrogênio no plantio, deficiência de boro, patógenos como *Fusarium spp.*, *Penicillium spp.* e o ácaro *Aceria tulipae*. Inúmeras pesquisas científicas indicam que os fosfitos além de serem considerados fertilizantes, são também bioestimulantes que promovem o equilíbrio nutricional das plantas, que podem agir tanto estimulando as defesas naturais dos vegetais quanto atuar diretamente sobre doenças e pragas das culturas agrícolas. Por meio de análise nos bulbos e plantas constatou-se que os altos níveis de chochamento no experimento foram causados pela incidência de ácaros, pois, a fim de investigar alguns sintomas que estavam ocorrendo de forma generalizada no experimento, e que poderiam ser descritos como enrolamento, clorose e espessamento das folhas, realizou-se uma análise nas folhas das plantas da bordadura de algumas parcelas do experimento em microscópio (lupa) estereoscópio, a qual revelou uma alta incidência do ácaro *A. tulipae* em determinadas amostras. O mesmo procedimento foi feito nos bulbos após a cura. Dessa forma, supõe-se que o fosfito agiu de alguma forma nas

plantas, ou no ácaro, aumentando a tolerância desses materiais que receberam o produto, reduzindo a infestação, e consequentemente diminuindo os possíveis danos aos bulbos.

Courtin, Fauvel e Leclant (2000) descreve o ácaro *A. tulipae*, de tamanho diminuto, forma alongada e conhecido como ácaro do bulbo ou ácaro do chochamento, sendo responsável por perdas no cultivo do alho em todas as áreas produtoras mundiais. Ataca o alho no campo e durante o armazenamento. No campo vive nas dobras das folhas e durante o armazenamento, sobre os bulbos (MENEZES SOBRINHO, et al., 1993). Segundo Courtin, Fauvel e Leclant (2000), a eclosão dos ovos é beneficiada pela alta umidade relativa, porém a condensação da água nas folhas é prejudicial ao seu desenvolvimento. O ataque do ácaro provoca deformação das folhas, que não se abrem totalmente, permanecendo com as pontas presas e arqueadas, dando um aspecto espiralado como um chicote, retorcimento, estrias cloróticas e posterior secamento. O ácaro afeta o desenvolvimento dos bulbos e, quando a infestação é muito severa, as plantas murcham e morrem (SCHMITT, 1983). No armazenamento ocorrem os maiores danos, pois os ácaros permanecem nos bulbos se alimentando e facilitando a penetração de fungos como *Pinicillium e Fusarium* causando altas taxas de chochamento dos bulbos (GALLO et al., 2002). Segundo Luengo, Menezes Sobrinho e Silva (1996), o chochamento parcial ou total de bulbos é considerado um dos defeitos mais graves apontados pelas portarias ministeriais (Brasil, 1986), sendo 15% o máximo permitido como limite para que o lote seja considerado do tipo comercial. Dentre os agentes responsáveis pelo chochamento é considerado o mais sério ocasionado pelo ácaro *A. tulipae* que reside na dobra das folhas e sobre os bulbilhos do alho (MORAES; FLECHTMANN, 2008). Na literatura são relatadas diversas vantagens do uso de fosfitos com efetivo controle de pragas e com grande vantagem sobre os agrotóxicos por não deixarem resíduo e não contaminarem o homem e o meio

ambiente. A ação do fosfito é citada de duas formas, pela ação direta sobre a praga, que ocorre como efeito tóxico quando é aplicado em alta concentração na planta, ou pela ação indireta sobre o patógeno estimulando a produção de fitoalexinas pela planta (GARLIC RESEARCH BASS, 2001; LUENGO; MENEZES SOBRINHO; SILVA, 1996; MORAES; FLECHTMANN, 2008). Assim, o fosfito tem sido relacionado ao aumento da zona bloqueadora da necrose, com rápida mudança citológica por meio da migração nuclear, deposição de papila e aumento da resposta de hipersensibilidade levando à morte celular (GUEST; GRANT, 1991). No hospedeiro, também ocorre a biossíntese de etileno, aumento da respiração, ativação da fenilalanina amonialiase, lignificação e ativação do metabolismo das pentoses-fosfato. Segundo AVILA et al. (2011), a aplicação de fosfito em plantas de milho causou respostas bioquímicas ao estresse biótico e abiótico, como a estimulação da atividade de peroxidase de guaiacol e fenólicos, agentes bioquímicos de defesa das plantas. Contudo, fica faltando esclarecer o mecanismo de ação do fosfito no controle desse ácaro no campo, ou durante o processo de cura ou no armazenamento do alho, já que não existe na literatura relato específico da ação do fosfito sobre esse tipo de praga.

Mesmo que o presente trabalho não tivesse como objetivo estudar o efeito do fosfito sobre o controle de ácaros em alho, o uso de fosfito foi a provável causa para o baixo índice de perda pós-colheita nos tratamentos que receberam as doses do produto, considerando à alta incidência de ácaros (*A. tulipae*) na área experimental, um dos possíveis fatores do acréscimo de produtividade de bulbos no campo foi a aplicação de fosfito. O armazenamento do alho pode ser realizado por 4 a 6 meses sem refrigeração. Isto permite que o alho possa ser vendido por um preço melhor nos períodos de entressafra, sendo de fundamental importância manter sua qualidade pós-colheita. Apesar de todos os aspectos sobre o armazenamento do alho serem amplamente conhecidos e os

fatores relacionados ao chochamento dos bulbos intensamente estudados, ainda ocorre muitas perdas na qualidade durante a fase pós-colheita da cultura, acarretando grandes prejuízos aos produtores de alho. Os defensivos agrícolas utilizados no controle de ácaros na fase de cura são muito tóxicos, podendo contaminar o produto com resíduos químicos remanescentes da fumigação do alho. Nesse contexto o fosfito pode se tornar uma ótima alternativa para manter a qualidade do alho durante a cura e armazenamento, minimizando possíveis danos à saúde do consumidor e do produtor. Entretanto, o mecanismo de ação do fosfito sobre o controle do acaro *A. tulipae* ainda deve ser estudado e elucidado.

Verificou-se que a aplicação de fontes e doses de fosfito e doses de P_2O_5 não exerceu influência sobre a porcentagem de pseudoperfilamento. Na literatura, não foram verificadas referências ao fósforo, relacionando-o com tal anormalidade, o que está de acordo com os resultados do presente trabalho. Mesmo com alguns estudos afirmando que a aplicação de fósforo aumenta a absorção e o teor de nitrogênio no tecido foliar e a concentração de clorofila nas folhas do alho (BULL, et al., 1998). O experimento apresentou um índice médio de 18% de pseudoperfilamento. Supõe-se que esse alto índice de pseudoperfilamento foi ocasionado pela ocorrência de 50 mm de precipitação pluvial no período de estresse hídrico da cultura, obrigando o prolongamento da suspensão da irrigação a um período superior ao indicado para a cultura do alho vernalizado na região do sul de Minas Gerais, que com certeza reduziu a produtividade comercial de bulbos. Segundo Marouelli et al. (2002), o excesso de água, principalmente após o início da bulbificação, tem sido apontado como um dos principais fatores responsáveis pela ocorrência de pseudoperfilamento. Sendo uma das práticas adotadas pelos produtores de alho nobre vernalizado, na região Sudeste, a suspensão da irrigação por um período de 10 a 20 dias, no início da fase de bulbificação, visando submeter à cultura a um período de estresse hídrico e, com isso, minimizar a ocorrência de pseudoperfilamento.

4 CONCLUSÕES

A aplicação de fósforo aumentou o vigor das plantas e a produtividade.

A maior produtividade total e comercial de bulbos foi obtida com aplicação conjunta de fosfito via foliar e de fosfato via solo.

A aplicação de fosfito apresentou efeito positivo no vigor das plantas e melhor conservação pós-colheita dos bulbos na fase de cura.

O fosfito aplicado via foliar melhorou a produtividade da cultura, apresentando-se como um bioestimulante eficaz e fonte de fósforo suplementar para o cultivo de alho vernalizado.

A adubação com altas doses de fosfito e fosfato causaram redução no vigor das plantas de alho e conseqüentemente perda de produtividade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o incremento observado na produtividade comercial de 1,4 t ha⁻¹ de alho obtido com a aplicação da dose de 4L ha⁻¹ de fosfito potássio como fonte suplementar de fósforo e como bioestimulante vegetal, o retorno financeiro bruto estimado seria de R\$ 4.200,00 ha⁻¹ considerando o preço médio de R\$ 3,00 kg⁻¹ de alho (classe 5, 6 e 7) obtido em Minas Gerais no ano de 2013 (CONAB, 2014). No entanto deduzindo o valor de R\$ 150,00 ha⁻¹ pelos 4 L de fosfito e o custo de aproximadamente R\$ 850,00 ha⁻¹ pelas quatro aplicações por ciclo, similar ao manejo adotado neste experimento, o retorno econômico líquido seria R\$ 3.200,00 ha⁻¹. Desta forma, a utilização de fosfito como insumo na produção de alho pode aumentar a rentabilidade dos produtores brasileiros de alho, em vista das dificuldades enfrentadas pelo setor, principalmente, aos preços do alho importado da China e Argentina que apresentam maior competitividade com alho brasileiro.

Contudo, adubação foliar deve ser indicada sob determinadas situações ou condições, que, portanto precisam ser definida com antecedência ao seu uso (adubação foliar corretiva, adubação foliar substitutiva, adubação foliar complementar e ou adubação foliar suplementar) para garantir o sucesso desta prática, com o retorno produtivo esperado. Apesar da eficiência da adubação foliar ser maior que a adubação via solo, reduzindo as perdas por lixiviação, volatilização e fixação, o número de aplicações é um fator importante na tomada de decisão sobre esta prática. Além disso, cada cultura agrícola tem sua peculiaridade quanto à nutrição mineral. Somente com estudos específicos da interação entre cada elemento e espécies agrícolas específicas, será possível determinar se a adubação foliar é economicamente viável para uma determinada cultura e propósito.

Por fim, toneladas de fósforo são usadas na agricultura em todas as safras, até mesmo em culturas poucos exigentes como a do alho, pois esse nutriente é de extrema importância para o aumento da produtividade e qualidade da produção de bulbos. As altas taxas de aplicação desse fertilizante são causadas principalmente devido à baixa disponibilidade de fósforo dos solos brasileiros, pelo seu alto poder de imobilização e negligência dos agricultores na aplicação de corretivos agrícolas, que acarreta deficiência de fósforo para as culturas, onerando o custo de produção, principalmente pelo elevado custo e difícil logística de transporte desse fertilizante. Dessa forma, torna-se necessário estimular as pesquisas e inovações tecnológicas que visam aumentar a eficiência de aproveitamento deste importante mineral na agricultura, buscando-se assim, um melhor retorno econômico para o agricultor e o uso mais consciente dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, J. R. A. et al. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 167-176, 2002.
- ÁVILA, F. W. et al. Phosphite supply affects phosphorus nutrition and biochemical responses in maize plants. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 5, n. 6, p. 646-653, 2011.
- BAGHALIAN, K. et al. Post-planting evaluation of morphological characters and allicin content in Iranian garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 107, n. 4, p. 405-410, Feb. 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Comissão Técnica de Normas e Padrões. **Normas de identidade, qualidade e embalagem para classificação e comercialização do alho**. Brasília, 1986. 18 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais Climatológicas: 1961-1990**. Brasília: SPI/EMBRAPA, 1992. 84 p.
- BÜLL, L. T. et al. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 516-521, 2004.
- BÜLL, L. T. et al. Doses de fósforo e zinco na cultura do alho em condições de casa de vegetação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 941-949, 2008.
- BÜLL, L. T. et al. 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, MG, v. 22, n. 3, p. 458-470, jul./set. 1998.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Conjuntura anual do alho 2014**. Disponível em:
<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_02_12_11_42_51_al_hodezembro2013.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2014.

COURTIN, O.; FAUVEL, G.; LECLANT, F. Temperature and relative humidity effects on egg and nymphal development of *Aceria tulipae* (K.) (Acari : Eriophyidae) on garlic leaves (*Allium sativum* L.). **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 137, n. 3, p. 207-211, 2000.

DIANESE, A. C.; BLUM, L. E. B. **O uso de fosfitos no manejo de doenças fúngicas em frutíferas e soja**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010. 29 p.

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. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2009. 412 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. New York: M. Dekker, 1991. 476 p.

FAJARDO, T. V. M. et al. Produção e qualidade de bulbos de alho livre de suas principais viroses. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 28, n. 2, p. 207-210, abr./jun. 2002.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 227 p.

FAQUIN, V.; VALE, F. R. Toxidez de alumínio e de manganês. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 13, n. 170, p. 28-38, 1991.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes: experimental designs package**. R Package Version 1.1.2. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=ExpDes>>. Acesso em: 14 jan. 2013.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 402 p.

FRANÇOIS, L. E. Yield and quality response of salt-stressed garlic. **HortScience**, Alexandria, v. 29, n. 11, p. 1314-1317, 1994.

GALLO, D. et al. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: ESALQ, 2002. 920 p. (Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, 10).

GARLIC RESEARCH BASS. **Repelente de insetos**. Ruberta Avenue Glendale, 2001. 3 p.

GASPERIN, T. F.; VIECELLI, C. A.; MOREIRA, G. C. Aplicação foliar de molibdênio e fosfito de potássio na incidência da ferrugem asiática da soja. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 5, n. 1, p. 30-37, 2012.

GUEST, D. I.; GRANT, B. R. The complex action of phosphonates antifungal agents. **Biological Review**, Tokyo, v. 66, n. 1, p. 59-187, 1991.

GUO, F. et al. Changes in phosphorus fractions under intensive plant growth. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 64, n. 5, p. 1681-1689, Sept./Oct. 2000.

HOFGAARD, I. S. et al. The effect of potential resistance inducers on development of *Microdochium majus* and *Fusarium culmorum* in winter wheat. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 128, n. 2, p. 269-281, Oct. 2010.

LOVATT, C. J.; MIKKELSEN, R. L. **Phosphite fertilizers: what are they? can you use them? what can they do? better crops with plant food**. Disponível em: <<http://www.ipni.net/ppiweb/bcrops.nsf>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

LUENGO, R. F. A.; MENEZES SOBRINHO, J. A.; SILVA, J. L. O. Chochamento do alho “Amarante” durante o armazenamento em função da época de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 8, p. 581-584, ago. 1996.

MACÊDO, F. S. **Marcha de absorção de nutrientes e produtividade em alho vernalizado proveniente de cultura de meristemas**. 2008. 63 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MACÊDO, F. S. et al. Produtividade de alho vernalizado em função de fontes e doses de fósforo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 3, p. 379-383, mar. 2011.

MAGALHÃES, J. R. Nutrição mineral em alho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 142, p. 20-30, 1986.

MAROUELLI, W. A. et al. Produção e qualidade de alho sob regimes de água no solo e doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 191-194, jun. 2002.

MCDONALD, A. E.; GRANT, B.; PLAXTON, W. C. Phosphite (phosphorous acid): its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. **Journal Plant Nutrition**, New York, v. 24, n. 10, p. 1505-1519, 2001.

MENEZES SOBRINHO, J. A. de et al. **A cultura do alho**. Brasília: EMBRAPA/CNPQ, 1993. 50 p. (Coleção Plantar, 1).

MORAES, G. J.; FLECHTMANN, C. H. W. **Manual de acarologia**: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. Ribeirão Preto: Holos, 2008. 288 p.

NOJOSA, G. B. de A.; RESENDE, M. L. V.; RESENDE, A. V. Uso de fosfitos e silicatos na indução de resistência. In: CAVALCANTI, L. et al. (Ed.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 24-26.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 14 jan. 2013.

RADER JUNIOR, L. F.; WHITE, L. M.; WHITTAKER, C. W. The salt index: a measure of the effect of fertilizers on the concentration of the soil solution. **Soil Science**, Baltimore, v. 55, p. 201-218, 1943.

RAHIM, M. A.; FORDHAM, R. Environmental manipulation for controlling bulbing in garlic. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 555, p. 181-188, June 2001.

RESENDE, F. V. et al. Acúmulo de matéria seca e exigências nutricionais de plantas de alho provenientes de cultura de tecidos e de propagação convencional. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 3, p. 220-226, mar. 1999.

RESENDE, F. V. et al. Obtenção de plantas livres de vírus e produção de alho-semente de alta qualidade fisiológica e fitossanitária. In: SOUZA, R. J.; MACÊDO, F. S. (Ed.). **Cultura do alho**: tecnologias modernas de produção. Lavras: UFLA, 2009. p. 174-209.

RESENDE, J. T. V. et al. Aplicação complementar de enxofre em diferentes doses na cultura do alho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 217-221, abr./jun. 2011.

ROSOLEM, C. A. **Recomendação e aplicação de nutrientes via foliar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 98 p.

SANTOS, M. G. et al. Foliar phosphorus supply and CO₂ assimilation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water deficit. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacases, v. 18, n. 3, p. 407-411, 2006.

SCHMITT, A. T. **A cultura do alho em Santa Catarina**. Florianópolis: Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária, 1983. 98 p.

SCHRÖETTER, S. et al. Effects of phosphite on phosphorus supply and growth of corn (*Zea mays*). **Landbauforschung Volkenrode Fal Agricultural Research**, Braunschweig, v. 56, n. 3/4, p. 87-99, Sept. 2006.

SENO, S. et al. Efeitos da forma de aplicação e doses de fósforo na cultura do alho (*Allium sativum* L.), “Roxo Pérola de Caçador”. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 13, p. 112, 1995. Resumo.

SOUZA, R. J.; MACÊDO, F. S. **Cultura do alho: tecnologias modernas de produção**. Lavras: UFLA, 2009. 181p.

VITTI, G. C. et al. Utilização de fosfito em cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE CANA-DE-AÇÚCAR, 10., 2005, Piracicaba. **Resumos...** Campinas: Intercuf, 2005. p. 17.

WALTERS, D. R.; BINGHAM, I. J. Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plant disease control. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 151, n. 3, p. 307-324, Dec. 2007.

WERNER, R. A. Manejo pós-colheita do alho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, p. 46-49, 1986.

ANEXOS

Anexo 1 Resumo das análises de variância realizadas para as variáveis altura média de plantas (AP), número médio de folhas (NF), diâmetro do pseudocaule (DP), razão bulbar (RB) em plantas de alho vernalizado livre de vírus cultivadas em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2014.

FV	GL	Quadrado Médio						
		AP	NF	DP	RB 80 dias	RB 90 dias	RB 110 dias	RB 120 dias
Trat	11	376,266*	2,127*	0,183*	0,0298*	0,0280*	0,0196*	0,02068*
Erro	36	21,668	0,097	0,023	0,00166	0,00187	0,0020	0,00136
Med.		61,58	4,79	1,61	0,41	0,32	0,22	0,15
CV(%)		7,49	6,51	6,55	11,00	11,1	12,5	13,3

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação experimental (%); *: significativo a 5% pelo Teste F; ns: não significativo a 5% pelo Teste F.

Anexo 2 Resumo das análises de variância realizadas para as variáveis leituras do IRC no SPAD em plantas de alho vernalizado livre de vírus cultivadas em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2014.

FV	GL	Quadrado Médio				
		IRC 30 dias	IRC 45 dias	IRC 60 dias	IRC 75 dias	IRC 90 dias
Tratamentos	11	181,112*	221,154*	239,951*	796,395*	717,582*
Erro	36	5,782	18,594	31,113	38,256	26,739
Médias		61,27	62,02	61,40	62,98	6,94
CV (%)		3,92	6,95	9,08	9,82	8,22

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação experimental (%); * : significativo a 5% pelo Teste F; ^{ns}: não significativo a 5% pelo Teste F.

Anexo 3 Resumo das análises de variância realizadas para as variáveis massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca média da parte aérea (MSPA), massa seca média da raiz (MSR), massa média do bulbo (MB), massa seca média do bulbo (MSB) e número médio de bulbilho por bulbo (NB) de plantas de alho vernalizado das cultivares Ito e Quitéria cultivadas sob omissão de nutrientes. UFLA, Lavras, MG, 2014.

FV	GL	Quadrado Médio					
		MFPA	MSPA	MSR	MB	MSB	NB
Tratamentos	23	223,49*	7,01*	0,572*	248,24*	36,76*	33,41*
Erro	72	1,20	0,170	0,0109	0,267	0,023	0,114
Médias		27,93	3,82	0,95	13,46	3,80	5,72
CV (%)		1,6	10,76	10,94	3,84	4,06	5,90

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação experimental (%); * : significativo a 5% pelo Teste F; ^{ns}: não significativo a 5% pelo Teste F.

Anexo 4 Resumo das análises de variância realizadas para teor (t) e acúmulo (a) de nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea das plantas de alho vernalizado das cultivares Ito e Quitéria sob omissão de macro e micronutrientes. UFLA, Lavras, MG, 2014.

FV	GL	Quadrado Médio					
		tN	aN	tP	aP	tK	aK
Trat.	23	115,08*	7087,882*	11,881*	308,26*	143,88*	8199,181*
Erro	72	4,27	76,646	0,667	13,944	1,613	35,765
Médias		20,91	81,79	5,52	20,94	29,83	115,15
CV(%)		9,88	10,07	10,80	13,37	4,26	5,19

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação experimental (%); *: significativo a 5% pelo Teste F; ns: não significativo a 5% pelo Teste F.

Anexo 5 Resumo das análises de variância realizadas para teor (t) e acúmulo (a) de cálcio, magnésio e enxofre na parte aérea das plantas de alho vernalizado das cultivares Ito e Quitéria sob omissão de macro e micronutrientes. UFLA, Lavras, MG, 2014.

FV	GL	Quadrado Médio					
		tCa	aCa	tMg	aMg	tS	aS
Trat.	23	26,799*	1487,442*	5,565*	175,418*	97,650*	5040,081*
Erro	72	1,060	22,553	0,522	12,533	0,854	18,114
Médias		11,63	45,703	4,09	15,75	28,94	108,02
CV (%)		8,85	10,39	7,64	8,47	3,25	3,94

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação experimental (%); * : significativo a 5% pelo Teste F; ^{ns}: não significativo a 5% pelo Teste F.

Anexo 6 Resumo das análises de variância realizadas para as variáveis teor (t) e acúmulo (a) de boro, cobre e ferro na parte aérea das plantas de alho vernalizado das cultivares Ito e Quitéria sob omissão de macro e micronutrientes. UFLA, Lavras, MG, 2014.

FV	GL	Quadrado Médio					
		tB	aB	tCu	aCu	tFe	aFe
Trat.	23	1519,64*	90660,31*	6,689*	93,877*	10007,03*	790470,424*
Erro	72	0,403	7,129	0,278	4,471	679,57	12973,055
Méd.		106,052	406,49	3,05	11,38	195,46	781,72
CV(%)		7,60	7,66	7,25	8,58	13,34	14,07

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação experimental (%); significativo a 5% pelo Teste F; ^{ns}: não significativo a 5% pelo Teste F.

Anexo 7 Resumo das análises de variância realizadas para as variáveis teor (t) e acúmulo (a) de manganês e zinco na parte aérea das plantas de alho vernalizado das cultivares Ito e Quitéria sob omissão de macro e micronutrientes. UFLA, Lavras, MG, 2014.

FV	GL	Quadrado Médio			
		tMn	aMn	tZn	aZn
Tratamentos	23	27282,945*	7198883,74*	111.163*	2197,022*
Erro	72	3,267	99,076	0,319	5,136
Médias		246,59	940,97	23,06	85,30
CV (%)		6,73	7,06	2,45	2,66

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação experimental (%); * : significativo a 5% pelo Teste F; ^{ns}: não significativo a 5% pelo Teste F.

Anexo 8 Resumo das análises de variância realizadas para as variáveis produtivas de alho vernalizado no experimento de fonte e doses fósforo. UFLA, Lavas, MG, 2014.

FV	GL	Quadrado Médio					
		PTB	PCB	MMCB	MMBB	NMB	MSB
Doses de Fosfito	3	55,46*	61,45*	935,92*	6,92*	55,75*	353,93*
Doses de P ₂ O ₅	3	17,02*	14,61*	16,84*	0,299*	0,379*	0,622*
Doses de Fosfito* Doses de P ₂ O ₅	9	8,98*	5,62*	12,82*	0,221*	5,10*	13,338*
Blocos	2	0,79*	2,02*	64,82*	1,28*	2,67*	7,30*
Erro	30	0,085	0,077	1,66	0,058	0,270	2,29
Médias		8,53	5,84	31,13	2,56	10,36	40,12
CV (%)		7,31	8,54	8,15	9,45	5,03	3,78

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação experimental (%); PTB: produtividade média total de bulbos; PCB: produtividade média comercial de bulbos; MMCB: massa média comercial de bulbos; MMBB: massa média bulbilho da produção comercial; NMB: número médio de bulbilhos da produção comercial; MSB: Massa seca media dos bulbos comercial; *: significativo a 5% pelo Teste F; ^{ns}: não significativo a 5% pelo Teste F.

Anexo 9 Resumo das análises de variância realizadas para a porcentagem de bulbos chochos, pseudoperfilhamento e características morfológicas das plantas de alho vernalizado do experimento de fonte e doses fósforo. UFLA, Lavas, MG, 2014.

FV	GL	Quadrado Médio			
		BC	PP	NMF	AMP
Doses de Fosfito	3	987,52 [*]	6,07 ^{ns}	60,38 [*]	1755,6 [*]
Doses de P ₂ O ₅	3	1,68 ^{ns}	54,68 ^{ns}	13,11 [*]	35,20 [*]
Doses de Fosfito* Doses de P ₂ O ₅	9	2,05 ^{ns}	117,1 ^{ns}	4,12 [*]	22,10 [*]
Blocos	2	25,10 [*]	94,27 ^{ns}	2,2 [*]	85,30 [*]
Erro	30	6,14	57,05	0,068	3,71
	Médias	11,06	18,00	6,68	81,75
	CV (%)	12,40	32,81	5,86	8,48

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação experimental
 NMF: Número médio de folhas; AMP: Altura média de plantas; BC: % média de bulbos chochos; PP: % média de pseudoperfilhamento; *: significativo a 5% pelo Teste F; ^{ns}: não significativo a 5% pelo Teste F.

Anexo 10 Equações ajustadas para os parâmetros avaliados em alho vernalizado em função das interações entre fonte e doses de fósforo.

Variáveis	Interação	Equação	R ²
Produção total de bulbos	0	(Y= -0,171x ² +2,15x+5,28	R ² =0,97*
	200	(Y= -0,125x ² +1,18x+9,63	R ² =0,95*
	400	(Y= -0,80x ² +0,56x+10,13	R ² =0,94*
	600	(Y= -0,27x+8,49	R ² =0,92*
	0	(Y= -0,00004x ² +0,029x+5,29	R ² =0,96*
	4	(Y= -0,000025x ² +0,0080x+11,33	R ² =0,96*
	8	(Y= -0,000020x ² +0,0046x+11,31	R ² =0,95*
	12	(Y= -0,0025x+6,28	R ² =0,88*
Produção de bulbos comercial	0	(Y= -0,1716x ² +2,088x+3,149	R ² =0,96*
	200	(Y= -0,126x ² +1,214x+6,88	R ² =0,95*
	400	(Y= -0,082x ² +0,598x+7,45	R ² =0,96*
	600	(Y= -0,252x+5,488	R ² =0,88*
	0	(Y= -0,000039x ² +0,0268x+3,12	R ² =0,96*
	4	(Y= -0,0023x+3,539	R ² =0,95*
	8	(Y= -0,000023x ² +0,0058x+8,70	R ² =0,96*
	12	(Y= -0,000024x ² +0,0075x+8,,88	R ² =0,97*
Massa média de bulbos	0	(Y= -0,484x ² +5,837x+20,35	R ² =0,97*
	200	(Y= -0,485x ² +4,887x+29,55	R ² =0,98*
	400	(Y= -0,281x ² +2,025x+33,6	R ² =0,97*
	600	(Y= -0,775x+26,40	R ² =0,84*
	0	(Y= -0,000119x ² +0,0807x+19,65	R ² =0,94*
	4	(Y= -0,000081x ² +0,025x+38,05	R ² =0,92*
	8	(Y= -0,000084x ² +0,0298x+35,22	R ² =0,95*
	12	(Y= -0,0095x+19,34	R ² =0,96*
Número de Bulbilhos	0	(Y= -0,141x ² +1,766x+7,13	R ² =0,98*
	200	(Y= -0,135x ² +1,458x+9,00	R ² =0,98*
	400	(Y= -0,0547x ² +0,243x+11,22	R ² =0,94*
	600	(Y= -0,245x+9,02	R ² =0,94*
	0	(Y= -0,000021x ² +0,0165x+6,93	R ² =0,94*
	4	(Y= -0,000028x ² +0,0104x+12,02	R ² =0,95*
	8	(Y= -0,000011x ² +0,00195x+12,21	R ² =0,92*

Variáveis	Interação	Equação	R2	
<hr/>				
		12	(Y= -0,0330x+7,85	R ² =0,94*
<hr/>				
Anexo 10 Continuação.				
<hr/>				
Variáveis	Interação	Equação	R2	
Massa média de bulbilhos	0	(Y= -0,0527x ² +0,624x+2,11	R ² =0,97*	
	200	(Y= -0,0578x ² +0,646x+2,38	R ² =0,92*	
	400	(Y= -0,028x ² +0,282x+2,39	R ² =0,93*	
	600	(Y= -0,045x+2,22	R ² =0,85*	
	0	(Y= -0,0000031x ² +0,0020x+2,11	R ² =0,96*	
	4	(Y= -0,0000075x ² +0,0013x+3,86	R ² =0,93*	
	8	(Y= -0,0000068x ² +0,0011x+3,677	R ² =0,94*	
	12	(Y= -0,0007x+1,989	R ² =0,95*	
Massa seca de bulbos	0	(Y= -0,1906x ² +2,422x+33,09	R ² =0,97*	
	200	(Y= -0,2906x ² +2,852x+36,31	R ² =0,97*	
	400	(Y= -0,218x ² +1,85x+37,54	R ² =0,93*	
	600	(Y= -0,29x ² +2,75x+34,565	R ² =0,88*	
	0	(Y= -0,000043x ² +0,0291x+32,92	R ² =0,96*	
	4	(Y= -0,000015x ² +0,0074x+40,28	R ² =0,78*	
	8	(Y= -0,000014x ² +0,0059x+40,29	R ² =0,79*	
	12	(Y= -0,015x+33,46	R ² =0,93*	
Porcentagem média de Chochamento de bulbos	0	ns	ns	
	200	ns	ns	
	400	ns	ns	
	600	ns	ns	
	0			
	4	y = 0,2078x ² - 3,8163x + 21,685	R ² =0,93*	
	8			
	12			
Altura média de plantas	0	(Y= -0,2203x ² +2,341x+79,965	R ² =0,96*	
	200	(Y= -0,40x ² +3,995x+84,03	R ² =0,93*	
	400	(Y= -0,264x ² +1,976x+87,132	R ² =0,95*	
	600	(Y= -0,235x ² +1,754x+82,438	R ² =0,95*	
	0	(Y= -0,000056x ² +0,039x+79,72	R ² =0,90*	
	4	(Y= -0,000070x ² +0,0372x+85,38	R ² =0,93*	
	8	(Y= -0,000070x ² +0,037x+85,384	R ² =0,92*	
	12	(Y= -0,0118x+76,385	R ² =0,93*	
Número médio de folhas	0	(Y= -0,0225x ² +0,256x+6,184	R ² =0,97*	
	200	(Y= -0,0547x ² +0,593x+6,375	R ² =0,97*	
	400	(Y= -0,0414x ² +0,378x+6,837	R ² =0,93*	

	600	(Y= -0,0211x ² +0,156x+6,20	R ² =0,96*
	0	(Y= -0,0000053x ² +0,0035x+6,127	R ² =0,88*
	4	(Y= -0,000013x ² +0,0072x+6,82	R ² =0,96*
	8	(Y= -0,000012x ² +0,0065x+6,85	R ² =0,95*
	12	(Y= -0,0016x+5,975	R ² =0,94*
	0	ns	ns
	200	ns	ns
	400	ns	ns
Porcentagem média de Pseudoperfilhamento	600	ns	ns
	0	ns	ns
	4	ns	ns
	8	ns	ns
	12	ns	ns

*: significativo a 5% pelo Teste F; ns: não significativo a 5% pelo Teste F.

Anexo 11 Composição da solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950).

Fertilizantes/Sais da solução estoque	Concentração da solução estoque (g por L de água)	completo	- N	- P	- K	- Ca	- Mg	- S
		Volume da solução estoque por L da solução final						
		-----mL/L-----						
1-KH ₂ PO ₄ (Mol L ⁻¹)	136,09	1	1	-	-	1	1	1
2-KNO ₃ (Mol L ⁻¹)	101,11	5	-	5	-	5	3	3
3-Ca (NO ₃) ₂ 5H ₂ O (Mol L ⁻¹)	236,16	5	-	5	5	-	4	4
4-MgSO ₄ 7H ₂ O (Mol L ⁻¹)	247,47	2	2	2	2	2	-	-
5-KCl (Mol L ⁻¹)	74,56	-	5	1	-	-	2	2
6-CaCl ₂ 2H ₂ O (Mol L ⁻¹)	147,02	-	5	-	-	-	1	1
7-NH ₄ H ₂ PO ₄ (Mol L ⁻¹)	115,31	-	-	-	1	-	-	-
8-NH ₄ NO ₃ (Mol L ⁻¹)	80,04	-	-	-	2	5	-	-
9-(NH ₄) ₂ SO ₄ (Mol L ⁻¹)	132,14	-	-	-	-	-	2	-
10-MgNO ₃ 6H ₂ O (Mol L ⁻¹)	256,43	-	-	-	-	-	-	2
11-Solução de micros (*)		1	1	1	1	1	1	1
12-Solução Fe EDTA (**)		1	1	1	1	1	1	1

(*)- Em 1L: 2,86 g H₃BO₃; 1,81 g MnCl₂ 4H₂O; 0,10 g ZnCl₂; 0,04 g CuCl₂; 0,02 g H₂MoO₄ H₂O.

(**)- 24,9 g FeSO₄ 7H₂O ou 24,25 g de FeCl₂ 6H₂O; 33,2g EDTA-Na; 89 mL NaOH 1N completar em 800 mL H₂O. Arejar uma noite ao abrigo da luz, completar a 1 L de água.