

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA CEBOLA
EM FUNÇÃO DE DOSES DE ENXOFRE**

Luiz Felipe Gevenez de Souza
Engenheiro Agrônomo

**JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
2013**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA CEBOLA
EM FUNÇÃO DE DOSES DE ENXOFRE**

Luiz Felipe Gevenez de Souza

Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2013

S729p Souza, Luiz Felipe Gevenez de
Produtividade e qualidade da cebola em função de doses de enxofre / Luiz Felipe Gevenez de Souza. – Jaboticabal, 2013
xi, 34 p. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: Arthur Bernardes Cecílio Filho
Banca examinadora: Manoel Evaristo Ferreira, Leilson Costa
Grangeiro
Bibliografia

1. *Allium cepa* L. 2. Pungência. 3. S-elementar. I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 635.25

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA CEBOLA EM FUNÇÃO DE DOSES DE ENXOFRE

AUTOR: LUIZ FELIPE GEVENEZ DE SOUZA

ORIENTADOR: Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO

Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. MANOEL EVARISTO FERREIRA

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. LEILSON COSTA GRANGEIRO

Universidade Federal Rural do Semi-Árido / Mossoro/RN

Data da realização: 23 de agosto de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LUIZ FELIPE GEVENEZ DE SOUZA – nasceu em 23 de março de 1986, em Ribeirão Preto – SP, sendo filho de José Luiz de Souza e Sonia Regina Gevenez. Formou-se como Engenheiro Agrônomo pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, em fevereiro de 2010. Iniciou o mestrado no programa de Ciências do Solo pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, em fevereiro de 2011.

“Só é digno da liberdade, como da vida,
aquele que se empenha em conquistá-la.”
(Johann Goethe)

*"Nossas dádivas são traidoras e nos fazem perder
o bem que poderíamos conquistar, se
não fosse o medo de tentar."
(William Shakespeare)*

A **Deus**, por iluminar o melhor caminho para minha jornada, me aperfeiçoando a cada dia com sua aproximação.

Ao meu avô materno **José Gevenez** (*in memoriam*) que me proporcionou muitas alegrias e felicidades nos nossos momentos juntos. “Sei que verá essa minha vitória com a torcida de sempre”. Fica a saudade...

DEDICO

A minha mãe **Sônia Regina Gevenez**, pelo amor, carinho e dedicação que teve comigo por todos esses anos de vida.

Ao meu pai **José Luiz de Souza** que, mesmo distante, se mostrou sempre presente.

A minha irmã **Aline Maria Gevenez de Souza Oliveira**, pelo amor, carinho, amizade e compreensão.

A minha avó materna (**Juracy Gevenez**), aos meus avós paternos (**Sebastião e Ilair de Souza**) e a toda minha família, por torcerem sempre pelo meu sucesso pessoal e profissional.

A minha noiva **Aline Graziela da Silva**, pelo amor, respeito e companheirismo de todos os dias.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu amigo e orientador, Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, que com sua paciência, respeito e dedicação pôde me ajudar em todo o caminho percorrido dessa jornada, de modo que chegássemos a esse excelente final.

Aos amigos e parceiros: Anderson, Juan, Rodrigo, Gilson, Marilsa e Fred; que me ajudaram com as disciplinas, com o projeto e com os resultados desse trabalho.

Às amigas Aline e Denise, que me apoiaram e me ajudaram durante todo o período que precisei residir em Jaboticabal.

Aos amigos Dante Nazário e Fabrício Zanzarini, que como verdadeiros irmãos me acolheram no momento que mais precisei.

Aos amigos e companheiros da República Independência (desde 2005) que estiveram sempre presentes no meu dia-a-dia, com alegria e demonstrando a eterna amizade.

Aos Professores, Dr. Edson Coutinho e Dr. Jairo, por participarem da minha banca de qualificação e ajudarem nas correções desse exemplar final.

Aos Professores, Dr. Manoel Evaristo e Dr. Leilson Grangeiro, por fazerem parte da minha banca de defesa, me instruindo no trabalho e permitindo esse momento de felicidade.

Aos novos e grandes amigos: Alessandro, André Ítalo, André Meyer, Arnaldo, Badia, Carlos, Cleber, Erivelton, Ivana, José de Arimatéia, Katiuscia, Leise, Lilian, Lucas, Michelle, Newdes, Rafael, Ramiro, Robson, Sandro, Thales, Thyago, Tiago, Tomé, Wanessa, enfim, toda família Heringer, pelo apoio e amizade.

A Nativa Agronegócios de Ibiá-MG, que possibilitou meu retorno aos estudos e às novas oportunidades que surgiram.

PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA CEBOLA EM FUNÇÃO DE DOSES DE ENXOFRE

RESUMO – Dentre as principais hortaliças produzidas no Brasil, a cebola (*Allium cepa* L.) destaca-se por sua elevada importância socioeconômica, melhorando a renda dos produtores e gerando milhares de empregos, diretos e indiretos no país. O valor recebido pelo produtor é influenciado, principalmente, pela sanidade e qualidade dos bulbos. A pungência, responsável pelo sabor e odor do bulbo, é uma característica que interfere na qualidade da cebola, e tem seu teor relacionado com o potencial genético da cultivar, a síntese de precursores de sabor e a absorção de enxofre pela planta. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a produtividade e qualidade da cebola em função de doses de enxofre. O experimento foi conduzido em campo, no município de Jaboticabal – SP (610 m de altitude, 21°18'10" S e 48°23'01" O), com delineamento experimental de blocos casualizados, com seis tratamentos (0, 15, 30, 45, 60 e 90 kg ha⁻¹ S) e quatro repetições. O pH e o teor de S no solo foram influenciados pela interação dose de S e época de avaliação. Com aumento no fornecimento de S, verificou-se aumento nos teores foliares de N e S, e diminuição dos teores de Ca e Mg. Máximas altura, número de folhas por planta, massa seca de folhas e produtividade de cebola 'Perfecta' foram obtidas com 57, 41, 47 e 45 kg ha⁻¹ de S no solo. Quando não se aplicou S, a produtividade foi 16% menor do que a máxima obtida (79 t ha⁻¹) e somente 47% da produção total de bulbos classificou-se na classe 3+4, que possui maior valor comercial. Maior percentagem de bulbos nessa classe (63%) foi obtida com 47 kg ha⁻¹ de S. Aumentou-se a pungência com incremento na dose de S. Porém, em todos os tratamentos, os teores de ácido pirúvico foram baixos, classificando a cultivar como muito suave e de sabor extra doce, quando fornecido até 90 kg ha⁻¹ de S.

Palavras-chave: *Allium cepa* L., pungência, S-elementar.

PRODUCTIVITY AND QUALITY OF ONION AS FUNCTION OF SULPHUR RATES

ABSTRACT – Among the major vegetables produced in Brazil, onion (*Allium cepa* L.) stands out for its high social and economic importance, improving the revenues of farmers and creating thousands of jobs, directly and indirectly in the country. The amount received by the farmer is mainly influenced by the health and quality of bulb. The pungency, responsible for the taste and smell of the bulb, is a trait which interferes with the quality of the onion and its content is related to the genetic potential of the cultivar, the synthesis of flavor precursors and sulfur absorption by the plant. This study is aimed at evaluating the productivity and quality of onion as function of sulphur rates. The experiment was conducted in field, in Jaboticabal - SP (610m, 21°18'10" S and 48°23'01" W), a randomized block design with six treatments (0, 15, 30, 45, 60 and 90 kg ha⁻¹ S) and four replications. The pH and sulfur in the soil were influenced by the interaction of S and dose evaluation for the period of 30, 60 and 90 days after sowing. After increasing rates of S fertilization, the research shows an increase in foliar contents N and S, and a decrease in Ca and Mg. Maximum height, number of leaves per plant, dry weight of leaves and yield of onion 'Perfecta' were obtained with 57, 41,47 and 45 kg ha⁻¹ S in the ground. When no S was applied, the yield was 16% lower than the maximum amount achievable (79 t ha⁻¹) and only 47% of the total production of bulbs rated as class 3+4, which has greater commercial value. Higher percentage of bulbs class (63%) was obtained with 47 kg ha⁻¹ of S. The increased of pungency was noted with the increase of dose S. However, in all the treatments, the contents of pyruvic acid were low, ranking it as very smooth and cultivate taste extra sweet when it provides up to 90 kg ha⁻¹ of S.

Keywords: *Allium cepa* L., pungency, S-elemental.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Cebola	3
2.2	Qualidade em cebolas.....	3
2.3	Enxofre no sistema solo-planta.....	5
2.4	Enxofre elementar (S ⁰):.....	6
3	MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1	Localização e caracterização da área experimental	8
3.2	Tratamentos e delineamento experimental	8
3.3	Implantação do experimento.....	9
3.4	Características avaliadas	10
3.4.1	No solo	10
3.4.2	Nas plantas	10
3.5	Análise estatística dos dados.....	13
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5	CONCLUSÕES	29
6	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

A cebola (*Allium cepa* L.), cultura de elevada importância socioeconômica para o Brasil, destaca-se como a terceira principal hortaliça no país, atrás somente da batata e do tomate (IBGE, 2011). No Brasil, estima-se que o cultivo de cebola gere mais de 250 mil empregos diretos só no setor da produção, sendo mais de 102 mil produtores envolvidos na exploração econômica da cebola (IBGE, 2013). Em sua maioria, são produtores de característica familiar, onde têm a cebola como única fonte de renda (VILELA et al., 2005). Aproximadamente, 65% dos produtores de cebola cultivam em áreas menores que 20 ha e são responsáveis por 51,7% da produção nacional (IBGE, 2013). Mesmo nas médias e grandes propriedades, o sistema de produção envolve a parceria de empresários e famílias, onde o primeiro fornece a terra, capital, máquinas e insumos, enquanto o segundo participa com a mão-de-obra para o cultivo, tratamentos culturais e colheita (VILELA et al., 2005).

Atualmente, o maior produtor mundial de cebola é a China, com área de produção próxima a 601.000 ha e produtividade média de 20,7 t ha⁻¹ (AGRIANUAL, 2012). Em 2011, a área de produção no Brasil totalizou 63.481 ha, com uma produtividade média de 24,0 toneladas por hectare, movimentando a economia do país em mais de R\$ 900 milhões, com destaque os estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Bahia e São Paulo (IBGE, 2011). O potencial produtivo varia em função dos fatores ambiente e genética, mas sabe-se hoje que o Brasil tem possibilidade de triplicar a média de sua produção atual (BAIER et al., 2009). Os municípios de Jaboticabal e Monte Alto – SP se destacam na produção de cebola por sistema de semeadura direta, gerando benefícios no manejo de rotação de culturas sobre sistemas irrigados e melhoria na economia de produtores da região. Adoções de novas tecnologias proporcionaram melhores produtividades e possibilitaram aumento no interesse empresarial pela cultura, incrementando a oferta do produto no mercado, porém reduzindo o preço pago ao produtor (VIANA et al., 2010). No entanto, o valor recebido pelo produtor passou a ser determinado pelo tamanho, qualidade e sanidade dos bulbos produzidos, e estes atributos estão

diretamente ligados a nutrição das plantas, principalmente quanto ao fornecimento de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre (KURTZ; ERNANI, 2010).

O nitrogênio, o fósforo e o potássio são geralmente fornecidos em quantidades desejadas por meio da adubação com formulados de fertilizantes encontrados no mercado (KUNZ et al., 2009). Com objetivo de redução de custos relativos à implantação da cultura, alguns produtores optam em utilizar na adubação misturas de fertilizantes com alta concentração de NPK, que, conseqüentemente, apresentam baixo teor de S, pois fontes para suprir o S às plantas como superfosfato simples (apresenta até 12% de S-SO₄²⁻) e o sulfato de amônio (apresenta até 24% de S-SO₄²⁻) são pouco requeridas para o fechamento dessas formulações (KUNZ et al., 2009). Assim, a demanda de S pela cebola não é atendida e a produtividade é afetada de forma negativa. Para essa situação, a utilização de S-elementar nas misturas de fertilizantes seria uma alternativa para aumentar a concentração do nutriente e atender a necessidade da planta de cebola (HOROWITZ, 2003).

Resultados de pesquisa têm demonstrado máximas produtividades da cultura quando são fornecidas doses de S entre 48 e 60 kg ha⁻¹ (PAULA et al., 2002; NASREEN; HUQ, 2005). Importante efeito também tem sido relatado sobre a qualidade do bulbo, especialmente em relação à pungência, que é definida como a combinação entre o sabor e odor da cebola, a qual é caracterizada, principalmente, pela concentração de ácidos voláteis sulfônicos e tiosulfônicos, que contêm S (SCHUNEMANN et al., 2006). Preferencialmente, as plantas absorvem enxofre na forma de S-SO₄²⁻ (MALAVOLTA; MORAES, 2007), portanto, é necessário que o S-elementar aplicado na fertilização da cultura sofra oxidação, por meio de reações catalisadas por microrganismos no solo (HOROWITZ; MEURER, 2006).

Com base no exposto, a utilização do S-elementar pode possibilitar economia no custo de produção das culturas, sem interferir em sua produtividade e qualidade.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a produtividade e qualidade da cebola em função de doses de enxofre.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cebola

A cebola, uma das mais antigas espécies cultivadas no mundo, é originária de regiões de clima temperado, possivelmente, predominante na Ásia Central (GOLDMAN et al., 2000). Pertencente à família Alliaceae, a espécie *Allium cepa* L. apresenta como parte comestível o bulbo, que é formado por um conjunto de folhas modificadas entumescidas, denominadas de catáfilos (MINAMI, 1988).

O bulbo, além de apresentar um odor característico, resultado de compostos sulfurosos com ação bacteriostática, possui grande importância nutricional, pois contém alto teor de carboidratos, baixos teores de proteínas e quantidades razoáveis de riboflavina e cálcio, além de ser excelente fonte de vitaminas A, B e C (RESENDE et al., 2003; MAY et al., 2008).

O sistema radicular presente na cebola é do tipo fasciculado e apresenta poucas ramificações, apresentando até 200 raízes por planta, onde 80% destas se encontram na camada do solo de até 15 cm de profundidade. Já as folhas, são subcilíndricas ocas (tubulares), lisas e cerosas (MAGALHÃES, 1993).

2.2 Qualidade em cebolas

Normalmente, os bulbos de cebola, quando sofrem alguma ruptura do tecido, possuem a propriedade de irritação da mucosa do nariz e das glândulas lacrimais. Essa propriedade é o principal fator que expressa a qualidade da cebola, e é caracterizada pela combinação entre o seu sabor e odor (flavor), também conhecida como pungência (RANDLE, 1997; MIGUEL, 2005)

A pungência é dominada por uma série de compostos orgânicos derivados do ácido sulfúrico ativados biologicamente, carboidratos solúveis em água (açúcares) e ácidos orgânicos (SCHUNEMANN et al., 2006). A enzima alinase catalisadora dessas reações fica acondicionada no vacúolo celular, enquanto que os precursores

do sabor estão contidos no citoplasma, provavelmente em pequenas vesículas. Quando as células se rompem, os ácidos sulfênicos, sofrem rearranjos espontâneos e inter-reações para produzir um amplo espectro de compostos voláteis (piruvato, amônia e enxofre) fortemente aromáticos, responsáveis por tal irritação (RANDLE, 1997; SCHUNEMANN et al., 2006).

Um dos compostos produzidos, e também o de maior quantidade encontrado na cebola, é o sulfóxido de trans-(+)-S-(1-propenil)-1-cisteína, precursor do ácido propenilsulfênico, que ao se rearranjar quimicamente, forma o indutor de lágrimas, tiopropanal S-óxido. Este, altamente volátil, chega até o canal que lubrifica o nosso globo ocular, formando substâncias que desencadeiam a produção exagerada de lágrimas, provocando o choro involuntário (BREWSTER, 1994; RANDLE, 1997; SCHUNEMANN et al., 2006).

Schwimmer e Weston (1961) determinaram a pungência da cebola baseando-se na produção enzimática de derivados de piruvato (aliinase), após o tecido do bulbo ser macerado ou preparado para suco. Nesta determinação, as concentrações de piruvato são correlacionadas positivamente com a percepção de pungência da cebola. Segundo Miguel (2005), a pungência é classificada em função da atividade da aliinase, a qual é expressa em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de ácido pirúvico, em “muito suave” (0-2,9 $\mu\text{mol g}^{-1}$), “suave” (3,0-4,2 $\mu\text{mol g}^{-1}$), “levemente pungente” (4,3-5,5 $\mu\text{mol g}^{-1}$), “pungente” (5,6-6,3 $\mu\text{mol g}^{-1}$), “pungência forte” (6,4-6,9 $\mu\text{mol g}^{-1}$), “pungência muito forte” (7,0-7,9 $\mu\text{mol g}^{-1}$) e “picante” (8,0-10,0 $\mu\text{mol g}^{-1}$). São certificadas como “extra doce”, as concentrações até “suave”, e “doces”, as concentração até “levemente pungente”.

O mecanismo da produção de pungência é regulado pelo potencial genético da cultivar, envolvendo a absorção de enxofre e a síntese de precursores do sabor, determinando a intensidade de sabor total (RANDLE, 1997; McCALLUM et al., 2001). As cultivares se diferem na eficiência em absorver o enxofre do solo, de sintetizar os precursores do sabor e na concentração da enzima aliinase (RANDLE, 1997).

A maior concentração dos precursores de sabor encontra-se no interior do bulbo, e a menor concentração se localiza no ápice do bulbo ou nas camadas externas (McCALLUM et al., 2001). Quando isolados individualmente, fatores

ambientais como a disponibilidade de enxofre no solo, a temperatura e o suprimento de água afetam a intensidade do sabor (HOROWITZ, 2003). Quanto mais elevado o conteúdo de enxofre no solo, ou aumento de temperatura, ou deficiência hídrica, maior a pungência dos bulbos (RANDLE et al., 1995; RANDLE et al. 1997; McCALLUM et al., 2001)

2.3 Enxofre no sistema solo-planta

O enxofre ocupa a décima sexta posição de elemento mais abundante na crosta terrestre, com teor próximo a 0,03%, sendo na forma sólida ou gasosa. Minerais como o gesso e a epsomita, que contêm o elemento em sua estrutura, sofrem intemperismo que, através de processos físicos, químicos e biológicos, podem ser fontes naturais de S aos solos (PAULA et al., 2002). Com o processo de intemperismo é demorado, a principal forma de fornecimento de S é pelo uso de fertilizantes de baixa concentração (OSÓRIO FILHO et al., 2007).

No solo, o S pode ocorrer de forma orgânica ou inorgânica, sendo que na forma orgânica, em maior proporção, o S está ligado ao oxigênio (formando sulfatos de colina, fenólicos, polissacarídeos e lipídeos sulfatados). Já na forma inorgânica, embora em menor parte no solo, é também importante fonte do nutriente para as plantas. As principais formas presentes nos solos são: a) sulfatos (SO_4^{2-}); b) dióxido de enxofre (SO_2); c) sulfitos (SO_3^{2-}); d) tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$); e) S elementar (S^0) e f) sulfeto (H_2S) (HOROWITZ, 2003).

A adsorção de SO_4^{2-} nos grupos funcionais dos colóides inorgânicos é dependente do pH do solo (HOROWITZ, 2003). À medida que aumenta o pH, mais SO_4^{2-} permanece livre na solução do solo e maior é a mobilidade dele no perfil do solo (ALVAREZ, 2004).

Na planta, a maior parte do S está na forma orgânica, participando de reações fisiológicas e bioquímicas. A cisteína e a metionina, são aminoácidos que apresentam S em sua cadeia e estão presentes em compostos essenciais para as plantas (DUKE; REISENAUER, 1986). A deficiência de ambos inibe a síntese de proteínas, pois ocorre um decréscimo nos conteúdos de clorofila e ribulose-

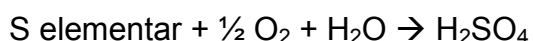
bisfosfato carboxilase, denominada Rubisco, com conseqüente redução da fotossíntese e do crescimento das plantas (RESURRECCION et al., 2001). Além disso, por estar relacionado com a atividade da nitrato-redutase, a deficiência do elemento pode diminuir o aproveitamento do nitrogênio pela planta, diminuindo a concentração de proteínas na mesma (ALVAREZ, 2004).

O acúmulo do S nos tecidos, na forma de sulfato, varia de acordo com o desenvolvimento da planta, porém em cebola, sua maior demanda ocorre próximo do final do ciclo (PÔRTO et al., 2006). Os sintomas de deficiência de S nas plantas são parecidos com os de deficiência de nitrogênio, pois ambos causam amarelamento e clorose nas folhas, porém a deficiência de S ocorre em folhas novas, enquanto que a deficiência de N ocorre em folhas velhas (PAULA et al., 2002).

2.4 Enxofre elementar (S⁰):

O uso de fertilizantes que contêm baixos teores de S em solos com baixos teores de matéria orgânica, pode resultar em limitação desse nutriente para as culturas. O uso do S-elementar, que contém mais de 90% de S, como fertilizante, isoladamente ou associado a fórmulas comerciais, é uma alternativa que pode aumentar a concentração dos nutrientes nas formulações e reduzir os custos de produção, de transporte e de aplicação do fertilizante, principalmente, em solos deficientes em S (HOROWITZ; MEURER, 2006).

O S-elementar aplicado ao solo deve ser oxidado para S-sulfato para ser absorvido pelas plantas (OSÓRIO FILHO et al., 2007), e esta oxidação ocorre, principalmente, pelas reações catalisadas por microrganismos presentes no solo (HOROWITZ; MEURER, 2006). SAIK (1995) descreveu a reação de oxidação do S-elementar no solo da seguinte forma:



A eficiência agronômica do S-elementar depende de sua taxa de oxidação para S-SO₄²⁻. Fatores do solo como textura, disponibilidade de nutrientes, aeração e temperatura, podem afetar a oxidação do S-elementar a S-sulfato, porém, o pH do solo é o principal fator que está relacionado com a taxa de oxidação do S-elementar

(LAWRENCE; GERMIDA, 1988). Possivelmente, o efeito do pH está relacionado à atividade dos microrganismos que transformam S-elementar em S-sulfato (HOROWITZ; MEURER, 2006).

Dos microrganismos responsáveis pelo processo de oxidação, as espécies quimioautotróficas do gênero *Thiobacillus* oxidam compostos reduzidos de enxofre. Entre estas bactérias, as espécies *T. thiooxidans*, *T. ferrooxidans*, *T. neapolitanus*, *T. kabobis*, *T. denitrificans*, *T. perometabolis* e *T. thioparus*, têm a capacidade de oxidar o S-elementar (HOROWITZ, 2003). A capacidade de oxidação das diferentes espécies está relacionada com o pH do meio (HOROWITZ; MEURER, 2006). Além disso, a oxidação também pode ser mediada por microrganismos heterotróficos como as bactérias *Bacillus brevis*, *Micrococcus spp.*, os actinomicetos *Spretomyces spp* e os fungos *Absidia glauca*, *Penicillium decumbens* e, principalmente, *Fusarium solani*. Este último apresenta-se com grande intensidade nos solos brasileiros (GERMIDA; JANZEN, 1993).

Alguns autores sugerem que o fornecimento S-elementar no solo seja, no mínimo, 70 dias antes do período de maior exigência da cultura (WATKINSON, 1989; HOROWITZ; MEURER, 2006) e em quantidade adequada, pois a adição de maiores quantidades de S-elementar pode gerar inibição da oxidação microbiológica, devido à liberação de substâncias tóxicas em teores elevados diminuindo significativamente a taxa de oxidação (JANZEN; BETANNY, 1987).

A cultura da cebola apresenta grande exigência em enxofre (48 a 60 kg ha⁻¹) e a maior extração deste nutriente pela cultura ocorre no final de seu ciclo (90 a 150 dias após semeadura), denominado período de bulbificação (PÔRTO et al., 2007), é possível fornecer o S-elementar para suprir a necessidade de S pela cultura, diminuindo o custo do produtor sem causar desequilíbrio nutricional no solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado na propriedade Santa Rita da Capela, localizada a 21°18'10" S e 48°23'01" O e 610 metros de altitude, em Jaboticabal, no Estado de São Paulo, no período compreendido entre 30 de maio a 10 de outubro de 2011.

O solo da área (Latosolo Vermelho) apresenta classe textural muito argilosa, com 65% de argila, 10% de silte, 13% de areia grossa e 12% de areia fina, com características químicas da camada de 0 a 20 cm, em pré instalação do experimento, pH (CaCl₂) 5,6; H+Al = 26 mmol_c dm⁻³; M.O = 16 g dm⁻³; Ca = 17 mmol_c dm⁻³; Mg = 6 mmol_c dm⁻³; P-resina = 53 mg dm⁻³; K = 1,6 mmol_c dm⁻³; SB = 27,6 mmol_c dm⁻³; CTC = 53,6 mmol_c dm⁻³; V% = 52; B = 0,14 mg dm⁻³; Cu = 3,9 mg dm⁻³; Fe = 13 mg dm⁻³; Mn = 19,9 mg dm⁻³; Zn = 3,0 mg dm⁻³; Al = 0 ; S-SO₄ = 4,0 mg dm⁻³, que segundo RAIJ et al. (1997), o teor de S no solo se encontra baixo.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com seis tratamentos correspondentes às doses de enxofre no solo (0, 15, 30, 45, 60 e 90 kg ha⁻¹ de S), com quatro repetições. A unidade experimental teve as dimensões de 1,8 m de largura por 2,5 m de comprimento, com quatro linhas duplas de plantas. Foi considerada área útil para avaliação das características 1,5 m central das duas linhas duplas centrais da parcela, ou seja, a bordadura foi formada pelas duas linhas duplas situadas nas laterais do canteiro e por 0,5 m do início e final de cada linha de cultivo da parcela.

3.3 Implantação do experimento

O experimento foi realizado com semeadura direta da cebola 'Perfecta', em 30 de maio de 2011. O preparo do solo consistiu em aração, gradagem, utilização de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ de termofosfato magnesiano grosso (sem presença de S) e preparo de canteiros com rotoencanteirador. A adubação de plantio foi na dose de $1,2 \text{ t ha}^{-1}$ do formulado 4-14-8 de N-P-K, sendo a fonte de N o nitrato de amônio (33%), de P o superfosfato triplo (46%), de K o cloreto de potássio (58%) e para fechar a fórmula utilizou-se concentrado de cálcio e magnésio (Fertup), evitando assim a presença de enxofre no plantio.

A cultivar utilizada no plantio foi a Perfecta, desenvolvida e comercializada pela AGRISTAR do Brasil Ltda, com a marca TOPSEED®, é indicada para a região Sudeste e apresenta como características marcantes a folhagem de coloração verde escura, alta tolerância à doenças, uniformidade na maturação e elevada produtividade. Os bulbos são arredondados (globulares), com casca firme, bastante aderente e coloração amarela escura. Seu ciclo é caracterizado como tardio, variando de 130 a 150 dias após plantio, com grande tolerância ao perfilhamento, uniformidade e boa conservação pós-colheita. Além disso, sua pungência é caracterizada como média podendo ser influenciada pela adição excessiva de nutrientes como nitrogênio, potássio e enxofre.

Adotou-se o espaçamento entre linhas duplas de 0,25 m e entre linhas de 0,15 m. Na linha de plantio, as sementes ficaram espaçadas em 0,06 m, aproximadamente.

O enxofre elementar utilizado no experimento foi o Sulfurgran®, comercializado pela Produquímica®, que apresenta 90% de S^0 e foi aplicado a lanço cinco dias após a semeadura.

As adubações de cobertura foram feitas aos 25 e 50 dias após a semeadura, fornecendo 25 kg ha^{-1} de N e de K, em cada adubação, porém utilizando-se de uréia como fonte de N e cloreto de potássio como fonte de K.

O sistema de irrigação utilizado foi o de aspersão do tipo "Pivô Central" e manejado de acordo com o estádio de desenvolvimento que a cultura se encontrava. No estádio inicial, compreendido entre o plantio até o estabelecimento inicial das

plantas, foi aplicada uma lâmina de 5 mm de água com intervalo de 24 horas. No estágio vegetativo, compreendido entre o estabelecimento inicial até a bulbificação, foi aplicada lâmina de 10 mm de água com intervalo de 48 horas. No estágio de bulbificação, compreendido entre a formação dos bulbos até a maturação, foi aplicada lâmina de 10 mm de água com intervalo de 24 horas. No estágio de maturação, aplicou-se lâmina de 5 mm de água com intervalo de 48 horas até as primeiras plantas estalarem, paralisando neste momento o fornecimento de água na área (ABREU et al., 1980). Ainda, foram realizadas pulverizações preventivas com inseticidas e fungicidas recomendados para a cultura.

3.4 Características avaliadas

3.4.1 No solo

- **pH (CaCl₂) do solo e teor de S-SO₄⁻² no solo:** aos 30, 60 e 90 dias após o plantio, amostrou-se na profundidade de 0 a 20 cm, de forma aleatória. Após secagem à sombra, as amostras foram peneiradas a uma malha de 2,0 mm de abertura, identificadas e encaminhadas ao laboratório para análise segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001).

3.4.2 Nas plantas

Aos 90 dias após o plantio (início da bulbificação), avaliaram-se as seguintes características:

- **Altura das plantas (cm):** obtida pela medição da distância entre o nível do solo e a extremidade da maior folha completamente estendida.

- **Número de folhas:** através da contagem do número de folhas fotossinteticamente ativas e completamente desenvolvidas, sendo desconsideradas as folhas secas e apodrecidas.

- **Teores dos macronutrientes nas plantas:** foi realizada coletando-se a folha recém-desenvolvida, como indicado pelos autores Reuter e Robinson (1988), Jones Junior et al. (1991) e Caldwell et al. (1994). O conjunto das folhas de cada parcela consistiu em uma amostra composta. As folhas foram lavadas em água deionizada e postas a secar em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até atingirem massa constante. O material após ser moído, foi digerido conforme metodologia descrita por Bataglia et al. (1983) para a determinação dos teores dos macronutrientes.

Aos 120 dias após plantio, os bulbos já estavam bem formados e desenvolvidos, e foram avaliadas as seguintes características:

- **Diâmetro médio do bulbo (mm):** A média foi obtida pela medição do diâmetro desta estrutura logo abaixo das folhas em 15 plantas, com o auxílio de um paquímetro.

- **Comprimento médio do bulbo (mm):** A média foi obtida pelo comprimento desta estrutura em 15 plantas, com o auxílio de um paquímetro.

A colheita foi realizada dia 10-10-2011, estabelecida quando 70% das plantas da área útil de cada parcela apresentaram-se “estaladas”, ou seja, quando houve o amolecimento do pseudocaule, caracterizando-se como o ponto de colheita (MAY et al., 2008). Nesta ocasião foram avaliadas as seguintes características:

- **Produtividade ($t\ ha^{-1}$):** as plantas foram arrancadas e deixadas sobre os canteiros com as folhas distribuídas sobre os bulbos para que ficassem protegidos da radiação direta. Após quatro dias de exposição ao sol, os bulbos foram retirados do local e encaminhados para o laboratório, onde foram feitas a separação da parte aérea e das raízes. Foram somadas as massas de todos os bulbos colhidos da área útil e estimada a produtividade em 1 hectare.

- **Massa seca das folhas (g m^{-2}):** as folhas presentes na área útil foram postas a secar em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até atingirem massa constante. Posteriormente, foram pesadas e estimada a massa seca em gramas por metro quadrado.

- **Teor crítico de S no solo e na planta:** determinação dos teores de S no solo e na folha, em g dm^{-3} e g kg^{-1} , respectivamente, que correspondem à 90% da máxima produção.

- **Classificação (%):** os bulbos colhidos foram classificados pelo maior diâmetro transversal, adaptando a classificação da Companhia de entrepostos e armazéns gerais do estado de São Paulo, CEAGESP (2001). Os bulbos foram classificados em Classe 0 ou refugo: <15 mm; Classe 1: 15,1 a 35 mm; Classe 2: 35,1 a 50 mm; Classe 3: 50,1 a 70 mm; Classe 4: 70,1 a 90 mm, com os resultados expressos em porcentagem da produção total. Para avaliação, utilizou-se apenas a somatória das porcentagens das classes 3 e 4, pois são as classes de maior valor comercial (LUENGO et al., 1999).

- **Avaliação da pungência dos bulbos:** foi avaliada por meio da atividade da aliinase nos bulbos, segundo o proposto por Schwimmer e Weston (1961), utilizando-se amostras contendo cinco bulbos de cada unidade experimental, dos quais eliminou-se a película superficial. Dois bulbos foram submetidos a aquecimento em micro-ondas, sob potência alta por 3 minutos, antes da determinação, correspondendo à leitura “branco”. Os bulbos aquecidos e os não aquecidos foram triturados por 5 minutos, mediante o uso de homogeneizador. Os materiais triturados foram deixados em repouso por 5 minutos, para que ocorresse a sedimentação das partículas de maior peso, antes da transferência de 5 g do sobrenadante a um Erlenmeyer, que após ser diluído com 5 mL de TCA a 0,5%, foi agitado por uma hora, filtrado em funil de Büchner e teve o volume completado para 100 mL com água destilada.

A atividade da aliinase foi quantificada utilizando-se da reação do extrato com 2,4 dinitrofenilhidrazina. Em 2 mL do filtrado, foi adicionado 1 mL de 2,4

dinitrofenilhidrazina a 0,0125 % HCL a 2 mol. Esta reação foi incubada em banho-maria a 37°C, por 10 minutos e, interrompida com adição de 5 mL de NaOH a 0,6 mol, seguida de leitura da absorbância a 420 nm. A reação padrão para quantificação foi feita através da reação de 0,25 mL de ácido pirúvico a 2 $\mu\text{mol}\cdot\text{mL}^{-1}$ diluído em 1,75 mL de água destilada, com 1 mL de 2,4 dinitrofenilhidrazina a 0,0125%, tendo-se como branco, água destilada. Os resultados foram expressos em micromoles de ácido pirúvico por grama de cebola (SCHWIMMER; WESTON, 1961).

Classificação da pungência e do sabor: a pungência e o sabor dos bulbos foram classificados de acordo com o proposto por Miguel (2005), em função da atividade da aliinase, a qual é expressa em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de ácido pirúvico, em “muito suave” (0-2,9 $\mu\text{mol g}^{-1}$), “suave” (3,0-4,2 $\mu\text{mol g}^{-1}$), “levemente pungente” (4,3-5,5 $\mu\text{mol g}^{-1}$), “pungente” (5,6-6,3 $\mu\text{mol g}^{-1}$), “pungência forte” (6,4-6,9 $\mu\text{mol g}^{-1}$), “pungência muito forte” (7,0-7,9 $\mu\text{mol g}^{-1}$) e “picante” (8,0-10,0 $\mu\text{mol g}^{-1}$). São certificadas como “extra doce”, as concentrações até “suave”, e “doces”, as concentração até “levemente pungente”.

3.5 Análise estatística dos dados

Previamente à análise de dados, realizou-se os testes de normalidade dos dados e homocedasticidade de variância. Procedeu-se à análise de variância pelo teste F, e as médias das características foram submetidas ao estudo de regressão polinomial, adotando-se como melhor ajuste a equação com maior significância e coeficiente de determinação. Para as características pH e teor de S no solo, a análise foi realizada como delineamento de parcelas subdivididas, sendo a parcela e a subparcela correspondentes a doses de S (0, 15, 30, 45, 60 e 90 kg ha^{-1}) e época de avaliação (30, 60 e 90 dias após a semeadura), respectivamente. As demais características foram avaliadas como delineamento de blocos ao acaso, com seis tratamentos correspondentes às doses de S.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa dos fatores doses de S e épocas de avaliação no pH e nos teores de S-SO₄²⁻ no solo (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para o pH e teor de enxofre (S-SO₄²⁻) no solo, aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS) da cebola 'Perfecta', em função de doses de S (kg ha⁻¹).

Causas de variação	pH (CaCl ₂)			S-SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)		
	30 DAS	60 DAS	90 DAS	30 DAS	60 DAS	90 DAS
0	5,48	5,36	5,39	7,51	7,90	3,78
15	5,50	5,50	5,42	8,84	10,89	6,76
30	5,31	5,44	5,38	8,76	13,28	6,17
45	5,54	5,55	5,30	9,06	12,77	8,55
60	5,47	5,64	5,37	10,64	14,18	7,24
90	5,44	5,49	5,39	10,90	15,37	8,98
Teste F						
Dose	1,68 ^{NS}			40,50**		
CV (%)	2,13			10,51		
Época	12,33**			186,78**		
CV (%)	1,58			10,35		
Dose x Época	3,15**			4,17**		

** Significativo a 1% de probabilidade; ^{NS} não significativo.

A análise de regressão polinomial do pH do solo em função da época de amostragem somente teve ajuste significativo de equações nas doses de 45 e 60 kg ha⁻¹ de S (Tabela 2). Para as doses de 0, 15, 30 e 90 kg ha⁻¹ não houve ajuste significativo de equação polinomial e apresentaram valores médios de pH de 5,4; 5,5; 5,4 e 5,4, respectivamente (Figura 1A). Tanto com 45 quanto com 60 kg ha⁻¹ de S, houve ajuste quadrático para as médias observadas, sendo que o pH do solo aumentou até 45 e 57 dias após a semeadura (DAS), respectivamente, e apresentando menores valores com avanço do ciclo até 90 DAS (Figura 1A). Esses resultados estão relacionados ao processo de oxidação que o S-elementar sofre no solo, pois segundo Germida e Janzen (1993), esse incremento inicial no pH se deve a associação de microrganismos heterotróficos que se desenvolvem na superfície da partícula do S elementar, produzindo o tiosulfato (S₂O₃²⁻), o qual, por estar em con-

Tabela 2. Análises de regressão polinomial para médias do pH e do teor de S-SO₄²⁻ do solo cultivado com cebola 'Perfecta' em função da época de amostragem (30, 60 e 90 dias após a semeadura) nas doses de S avaliadas.

Dose (kg ha ⁻¹ de S)	Valor de F			
	pH (CaCl ₂) no solo		Teor de S-SO ₄ ²⁻ no solo	
	L	Q	L	Q
0	1,85 ^{NS}	2,10 ^{NS}	28,52**	13,93**
15	1,74 ^{NS}	0,58 ^{NS}	8,98**	26,16**
30	1,33 ^{NS}	3,10 ^{NS}	13,79**	92,73**
45	16,30**	6,12*	0,54NS	43,16**
60	2,45 ^{NS}	17,92**	23,72**	75,20**
90	0,68 ^{NS}	2,04 ^{NS}	7,60**	80,98**

L Regressão linear; Q Regressão quadrática; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo.

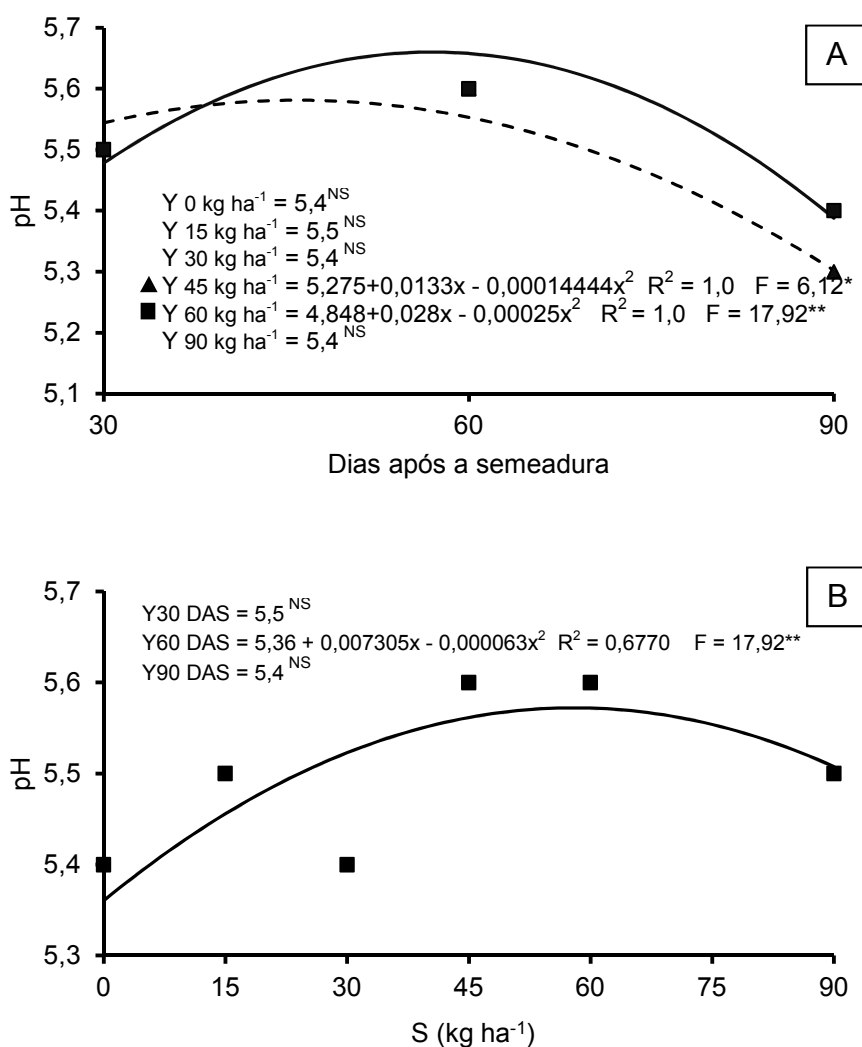


Figura 1. pH do solo cultivado com cebola 'Perfecta', avaliados aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura (A) e em função das doses de S (B).

dição ácida, reage com ions H^+ aumentando o pH do solo e resultando na formação do sulfito (SO_3^{2-}).

Segundo os mesmos autores, outro grupo de microrganismos é responsável por oxidar o sulfito à ácido sulfúrico (H_2SO_4), que, ao se dissociar, forma o sulfato (SO_4^{2-}) e libera íons H^+ no solo acidificando-o. Os resultados observados corroboram com os de Slaton et al. (2001), pois observaram o mesmo efeito no pH do solo em relação ao tempo de incubação do S-elementar.

Em relação à época avaliada, somente houve ajuste significativo de equação polinomial para as médias de pH avaliado aos 60 DAS (Tabela 3). Assim, observou-se que aos 30 e 90 DAS, não houve efeito significativo no valor do pH, apresentando médias 5,5 e 5,4, respectivamente. As ausências de efeito de doses de S-elementar no pH aos 30 e 90 DAS podem ser justificadas pelas informações de Horowitz e Meurer (2006). Ainda segundo os autores, a atividade microbiana está baixa no solo entre 22 e 38 dias de incubação do S-elementar, tendo sido observado apenas 12 a 15% de oxidação, podendo, então, a avaliação feita aos 30 DAS ter sido precoce. Aos 90 DAS, segundo as informações dos mesmos autores, mais de 90% da oxidação do S-elementar já teria ocorrido, ou seja, a atividade dos microrganismos estaria reduzida e associado a influência de outros fatores, não se observou interferência no pH do solo.

Tabela 3. Análises de regressão polinomial para médias do pH do solo e do teor de S do solo, aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura da cebola 'Perfecta', em função da dose de enxofre.

Dias após a semeadura	Valor de F			
	pH ($CaCl_2$) no solo		Teor de S- SO_4^{2-} no solo	
	L	Q	L	Q
30	0,06 ^{NS}	0,04 ^{NS}	29,15 **	0,28 ^{NS}
60	6,01*	7,19*	120,89 **	14,15 **
90	0,29 ^{NS}	1,16 ^{NS}	50,17 **	5,46 ^{NS}

L Regressão linear; Q Regressão quadrática; **significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo.

Por outro lado, aos 60 DAS foi observado ajuste significativo de equação polinomial, de acordo com a qual o pH aumenta até 58 kg ha⁻¹ de S, e doses superiores a essa fizeram o pH diminuir até atingir 5,6, com 90 kg ha⁻¹ de S (Figura

1B). Nesse período, segundo Horowitz e Meurer (2006), há alta intensidade da atividade dos microrganismos responsáveis pela oxidação do S-elementar no solo, e à medida que se aumenta a dose de S-elementar mais tiosulfatos são produzidos, que reagem com íons H^+ resultando em incremento inicial no valor do pH (GERMIDA; JANZEN, 1993; HOROWITZ, 2003). Segundo Lawrence e Germida (1988) e Deng e Dick (1990), altas doses de S-elementar podem inibir a atividade dos microrganismos responsáveis pelo processo de oxidação, ou seja, as doses superiores a 58 kg ha^{-1} de S obtidas neste experimento podem ter sido tóxicas aos microrganismos responsáveis pela reação de oxidação do S.

Para o teor de S no solo em relação à época avaliada, houve ajuste significativo de equação polinomial para todos os tratamentos (Tabela 2).

O aumento das doses de S incrementou o teor de S no solo e atingiram os máximos de 8,3; 11,0; 13,4; 12,8; 14,3 e 15,4 mg dm^{-3} aos 48, 55, 57, 59, 55 e 57 DAS, respectivamente (Figura 2A). Esses resultados concordam com os obtidos na avaliação do pH do solo, pois como discutido anteriormente, o período de maior atividade de microrganismos, resultando em oxidação do S-elementar, ocorre próximo aos 60 dias após a incubação. Contudo, para o teor de $S-SO_4^{2-}$ encontrado no solo, observou-se que os seus máximos valores ocorreram entre 55 e 59 DAS, para os tratamentos que se adicionou S no solo. Segundo Watkinson (1989) e Horowitz (2003), neste período, o processo de oxidação está em seu ápice, transformando-se o S-elementar em $S-SO_4^{2-}$.

Para o teor de $S-SO_4^{2-}$ no solo em relação às doses de S, observou-se pela análise de regressão polinomial ajuste significativo linear aos 30 e 90 DAS e ajuste polinomial quadrático para os 60 DAS (Tabela 3), com máximo obtido com a 87 kg ha^{-1} de S (Figura 2B). Esses resultados corroboram, não somente com os já observados na Figura 1A, mas também com a literatura, pois independente da fonte de enxofre utilizada, o aumento da dose proporciona incremento no teor de $S-SO_4^{2-}$ no solo (PAULA et al., 2002).

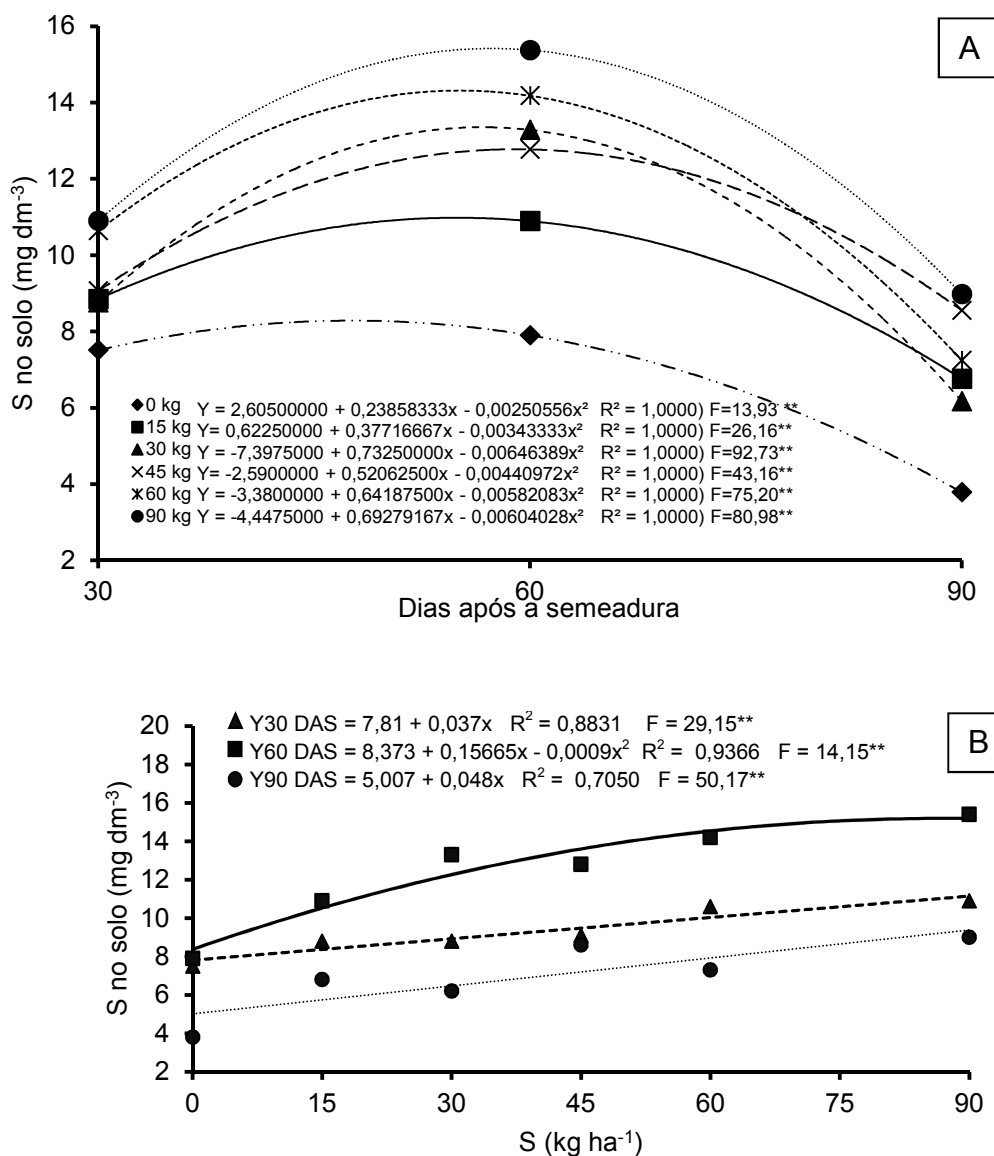


Figura 2. Teores de S no solo cultivado com cebola ‘Perfecta’ aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura (A) e em função das doses de S (B).

Os teores de S encontrados aos 60 DAS foram superiores aos obtidos aos 30 e 90 DAS, sendo que aos 90 DAS os resultados obtidos foram os piores (Tabela 1). Esses resultados indicam que o aumento de doses de S-elementar proporciona aumento no teor de S-SO₄²⁻ no solo, e que, com o tempo, tende a diminuir devido a movimentação descendente de S no perfil do solo, ou ainda, por ter sido absorvido pela cebola, em decorrência do seu estágio de desenvolvimento (PÔRTO et al., 2006).

A altura das plantas e o número de folhas não foram influenciados significativamente pelas doses de S (Tabela 4). Contudo, foram observados ajustes significativos de equações quadráticas para ambas as características (Tabela 5). Máximos de 75,9 cm de altura e 7,2 folhas por planta foram obtidos com 57 e 41 kg ha⁻¹ de S, respectivamente (Figura 3). Esses resultados relacionam-se com os benefícios do fornecimento adequado de S para a planta, pois doses baixas ou excessivas são prejudiciais para seu crescimento e desenvolvimento da cultura.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para a altura de plantas, número de folhas, massa seca das folhas e teores foliares de macronutrientes na cebola 'Perfecta', em função de doses de S (kg ha⁻¹).

Causa de variação	Altura das plantas (cm)	Número de folhas	MSF (g m ⁻²)	Teores dos macronutrientes nas folhas (g kg ⁻¹)					
				N	P	K	Ca	Mg	S
0	71,36	6,92	169,12	22,81	4,85	26,33	6,65	2,15	3,39
15	73,94	7,02	171,06	23,94	4,56	25,25	5,67	1,94	4,74
30	76,36	7,25	193,38	23,33	4,61	25,67	5,47	2,00	4,93
45	73,72	7,22	209,60	25,10	4,55	25,67	6,08	1,95	5,88
60	76,68	6,97	196,55	25,52	3,83	25,67	5,46	2,03	5,74
90	74,61	6,90	164,72	25,34	4,37	25,83	5,07	1,93	6,14
Teste F	2,58 ^{NS}	1,48 ^{NS}	4,42 *	2,80 ^{NS}	1,85 ^{NS}	0,64 ^{NS}	5,59 **	3,60 *	32,72**
CV (%)	3,26	3,53	9,93	5,61	11,39	3,41	8,22	4,36	6,92

** Significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo.

Tabela 5. Análises de regressão polinomial para a altura de plantas, número de folhas e massa seca das folhas (MSF) de cebola 'Perfecta' em função de doses de S.

Causa de variação	Valores de F		
	Altura de plantas	Número de folhas	MSF
Regressão Linear	3,57 ^{NS}	0,28 ^{NS}	0,45 ^{NS}
Regressão Quadrática	4,73*	4,94*	19,04**
Regressão Cúbica	0,25 ^{NS}	0,85 ^{NS}	0,82 ^{NS}

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo.

Para a massa seca das folhas (MSF) foi observado efeito significativo das doses de S (Tabela 2). Observa-se pela análise de regressão polinomial que houve ajuste quadrático das médias obtidas com aumento de S (Tabela 5), sendo a máxima MSF (201,6 g m⁻²) obtida com 47 kg ha⁻¹ (Figura 4). A dose que maximizou

a MSF foi próxima às que proporcionaram máximas altura de plantas e número de folhas, e também à dose observada por Nasreen e Huq (2005), de 45 kg ha⁻¹ de S, que possibilitou máximo crescimento da planta cebola.

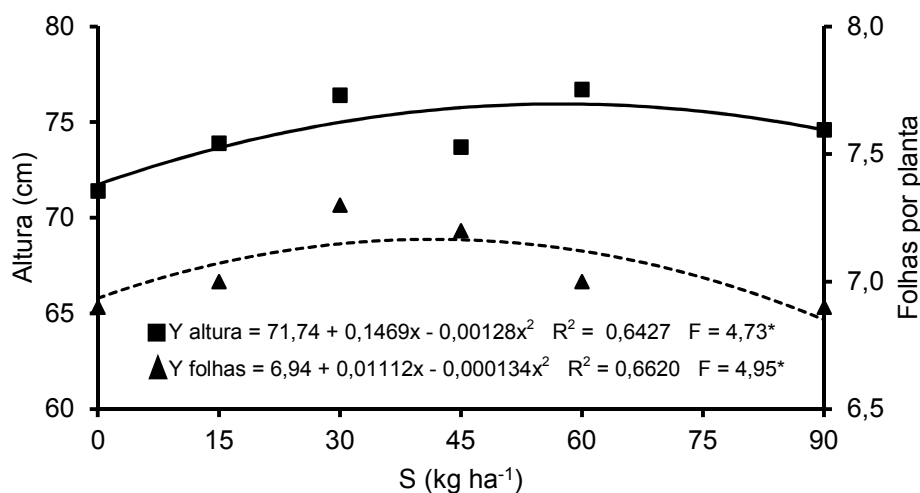


Figura 3. Altura de plantas e número de folhas da cebola 'Perfecta' em função de doses de S no solo, aos 90 dias após a semeadura.

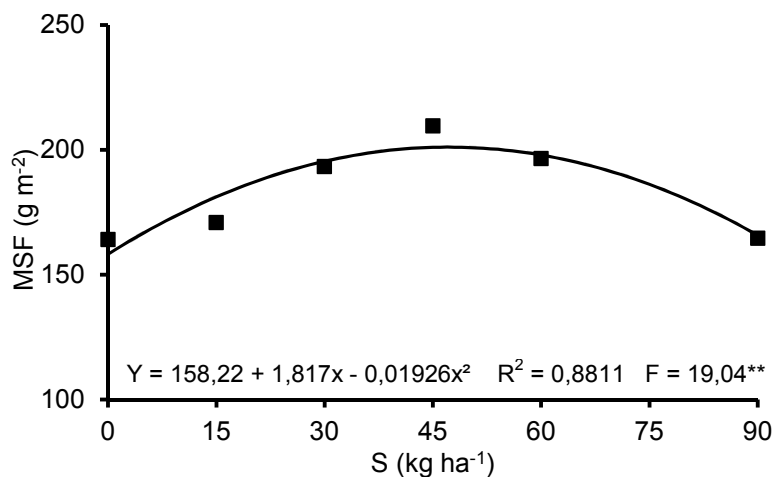


Figura 4. Massa seca das folhas (MSF) de cebola 'Perfecta' em função de doses de S no solo.

A máxima MSF obtida encontra-se entre as massas verificadas por Pôrto et al. (2006), 182 g m⁻², e Pôrto et al. (2007), 239 g m⁻², para as cebolas 'Optima' e 'Superex'. Porém, quando não foi aplicado S, a 'Perfecta' produziu 158,2 g m⁻² de MSF (Figura 4), quantidade inferior a obtida pelos autores.

Para os teores de macronutrientes, o N, P e K não foram influenciados significativamente pelas doses de S (Tabela 4). O teor médio de K situou-se na faixa adequada para a planta, enquanto o teor de P se encontrou pouco acima (REUTER; ROBINSON, 1988; JONES JUNIOR et al., 1991; CALDWELL et al., 1994).

Observa-se pelas análises de regressão polinomial dos macronutrientes efeitos significativos com ajustes lineares para N, Ca e Mg, e de ajuste quadrático para o teor de S nas folhas, em função das doses de S no solo (Tabela 6).

Tabela 6. Análises de regressão polinomial dos teores de nitrogênio (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas de cebola 'Perfecta', em função de doses de S.

Causa de variação	Valores de F			
	N	Ca	Mg	S
Regressão linear	10,34**	16,43 **	5,60 *	131,41**
Regressão quadrática	1,01 ^{NS}	0,45 ^{NS}	1,66 ^{NS}	23,44**
Regressão cúbica	0,59 ^{NS}	5,52 *	7,79 *	2,12 ^{NS}

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo.

O aumento do teor de N nas folhas com o aumento das doses de S no solo (Figura 5) pode estar relacionado com a síntese de compostos como aminoácidos, proteínas, coenzimas, lipídios, sulfóxidos, nucleotídeos, entre outros, que apresentam N e S em sua estrutura (NASREEN; HUQ, 2005; KUNZ et al., 2009). O aumento de doses de S no solo proporcionou aumento na absorção de N pela planta, caracterizando interação positiva desses elementos (MALAVOLTA; MORAES, 2007). Paula et al. (2002) não observaram aumento no teor de N nas folhas de cebola submetidas às doses de S, mas verificaram redução da relação N/S nas folhas com o aumento de doses de S no solo. No presente trabalho, levando em consideração os teores observados na Tabela 4, a relação N/S também apresentou redução, sendo 6,7; 5,1; 4,7; 4,4; 4,4 e 4,1 com a aplicação de 0, 15, 30, 45, 60 e 90 kg ha⁻¹ de S, respectivamente, corroborando com os resultados obtidos por Paula et al. (2002).

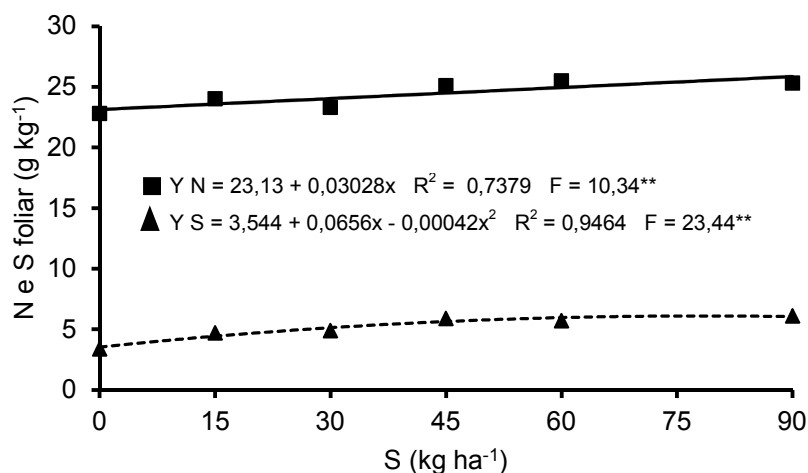


Figura 5. Teor de nitrogênio (N) e enxofre (S) nas folhas de cebola 'Perfecta' em função de doses de S no solo.

O teor de S nas folhas somente atingiu a faixa adequada de 5 a 10 g kg⁻¹ de matéria seca foliar, segundo Reuter e Robinson (1988), Jones Junior et al. (1991) e Caldwell et al. (1994), quando a dose aplicada superou 27 kg ha⁻¹ de S. O máximo teor de S na folha ocorreu com a dose de 79 kg ha⁻¹ de S, atingindo 6,1 g kg⁻¹ de matéria seca (Figura 5). Este resultado é coerente com os encontrados na literatura, pois o teor de S nas plantas aumenta com o incremento de doses de S-elementar no solo, devido à reação de oxidação, tornando o nutriente disponível para as plantas. Porém, o excesso de S disponível no solo afeta negativamente o desenvolvimento da cultura, caracterizando toxicidade (WEN et al., 2003). Colaborando com os resultados obtidos, Paula et al. (2002) também observaram esta resposta com o aumento do teor de S-SO₄²⁻ no solo, porém utilizando-se de fonte altamente solúvel.

Quanto aos teores de Ca e Mg nas folhas, foram observadas reduções nos teores foliares mediante o incremento no fornecimento de S no solo (Figura 6).

Os teores de Mg nas folhas se apresentaram na faixa adequada para a cebola, porém não observou-se o mesmo para o Ca, cujos teores estiveram abaixo da faixa em todos os tratamentos (REUTER; ROBINSON, 1988; JONES JUNIOR et al., 1991; CALDWELL et al., 1994). Mesmo com o fornecimento de Ca e Mg no solo, via aplicação do termofosfato magnésiano grosso e constituintes na formulação do adubo, houve diminuição dos teores de Ca e Mg na folha de diagnose do estado nutricional (Figura 6). A diminuição dos teores de Ca e Mg pode estar relacionada

com o efeito diluição desses nutrientes na planta. Todos os fatores que proporcionarem mudanças diferenciadas nos valores das taxas de crescimento e absorção dos nutrientes acarretarão em diferentes concentrações do nutriente no tecido vegetal. Assim, o rápido crescimento da planta combinado com a menor taxa de absorção de um nutrientes resulta em diluição do mesmo no tecido (MARSCHNER, 1995).

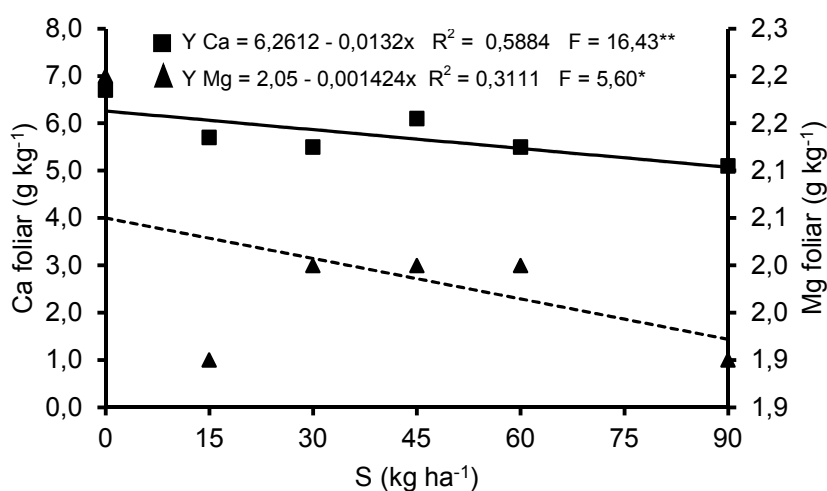


Figura 6. Teor de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg) nas folhas de cebola 'Perfecta' em função de doses de S no solo.

O diâmetro médio e o comprimento médio dos bulbos, aos 120 dias após a semeadura, tiveram efeitos significativos entre as doses de S utilizadas nos tratamentos (Tabela 3).

Observa-se pelas análises de regressão polinomial que houve ajustes significativos de efeito quadrático para ambas as características (Tabela 8), sendo que 58 e 64 kg ha⁻¹ possibilitaram obter os máximos valores, 65,0 e 82,3 mm, para o diâmetro e o comprimento, respectivamente (Figura 7). Respostas similares foram observadas para altura, número de folhas, MSF. Esta relação com as demais características observadas se deve a função estrutural que o S apresenta na planta, estando presente em diversos compostos, de modo que a fertilização com S trouxe benefícios à cebola, conforme também relatado por Lancaster et al. (2001). Porém, quando em excesso afeta negativamente o crescimento e desenvolvimento da cebola e, conseqüentemente, na formação do bulbo (PAULA et al., 2002).

Tabela 7. Resumo da análise de variância para o diâmetro (D) e comprimento (C) do bulbo, produtividade, porcentagem de bulbos na classe 3+4 e pungência de cebola 'Perfecta' em função de doses de S (kg ha^{-1}).

Causa de variação	D (mm)	C (mm)	Produtividade (t ha^{-1})	Classes 3 + 4 (%)	Pungência ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0	59,41	63,28	67,98	49,20	0,92
15	58,31	75,91	69,91	51,63	1,22
30	64,58	77,50	76,82	60,00	1,38
45	65,22	79,54	87,16	69,17	1,34
60	61,51	76,19	71,40	57,91	1,04
90	58,81	74,49	66,89	50,83	1,33
Teste F	24,05 **	21,24 **	7,12 **	2,33 NS	0,8 NS
CV (%)	1,99	3,35	7,76	17,48	34,14

** Significativo a 1% de probabilidade; ^{NS} não significativo.

O diâmetro médio do bulbo mostrou-se dentro da faixa considerada de preferência ao consumidor, que varia entre 40 a 80 mm e com forma arredondada, e ainda, mesmo em condições de baixa disponibilidade de enxofre no solo (0 kg ha^{-1} de S), a cv. Perfecta apresentou diâmetro médio satisfatório (59,4 mm), demonstrando ser uma boa opção para cultivo nas áreas com teor baixo do nutriente.

Tabela 8. Análises de regressão polinomial do diâmetro e do comprimento do bulbo de cebola 'Perfecta' em função de doses de S.

Causa de variação	Valores de F	
	Diâmetro	Comprimento
Regressão Linear	0,15 ^{NS}	23,92**
Regressão Quadrática	73,59**	62,58**
Regressão Cúbica	0,23 ^{NS}	16,88**

** significativo a 1% de probabilidade; ^{NS} não significativo.

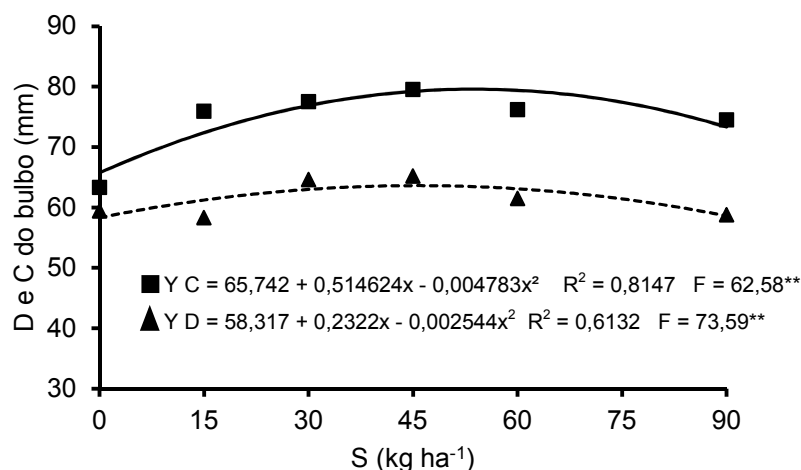


Figura 7. Diâmetro (D) e comprimento (C) médio do bulbo de cebola ‘Perfecta’ em função de doses de S no solo.

A produtividade foi influenciada pelas doses de S (Tabela 7) e observa-se pela análise de regressão que houve significância do ajuste de equação quadrática (Tabela 9). O aumento da dose de S no solo proporcionou incremento na produtividade até a dose de 45 kg ha⁻¹ de S, obtendo-se 79 t ha⁻¹ (Figura 8). Doses superiores a essa apresentaram diminuição na produção da cebola, fato que também foi observado por Paula et al. (2002), porém com doses superiores a 58 kg ha⁻¹ de S, na cebola ‘Baia Periforme’.

Tabela 9. Análises de regressão polinomial da produtividade de bulbos (P) e da massa seca das folhas (MSF) de cebola ‘Perfecta’ em função de doses de S no solo.

Causa da variação	Valores de F		
	Produtividade	% Classe 3+4	Pungência
Regressão Linear	0,02 ^{NS}	0,27 ^{NS}	13,41**
Regressão Quadrática	20,77**	8,29*	4,54*
Regressão Cúbica	0,03 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,94 ^{NS}

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo.

Os resultados obtidos corroboram com os da literatura, pois para atender a necessidade de S pela cebola, a qual varia de 31 a 34 kg ha⁻¹ de S (SUMANTRA et

al., 1998; PÔRTO et al., 2006; PÔRTO et al., 2007), há a necessidade de aplicar dose superior a 41 kg ha⁻¹ de S.

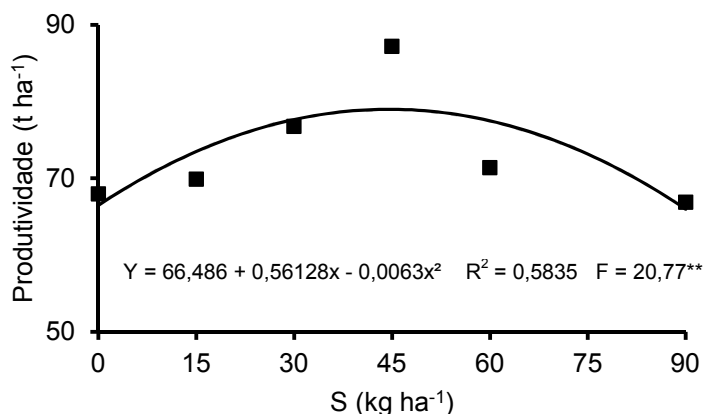


Figura 8. Produtividade de cebola 'Perfecta' em função de doses de S no solo.

Além dos compostos, o S está presente em todas as funções e processos que são importantes para a planta, inclusive controle hormonal, que além de influenciar no crescimento e na diferenciação celular, interfere de forma indireta na produtividade da cultura (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

De acordo com a Figura 9, o teor crítico de S na folha da cebola 'Perfecta' foi 4,11 g kg⁻¹. Para o intervalo de 90 a 100% de produtividade, 71,1 a 79 t ha⁻¹, se faz necessário aplicar de 9 a 45 kg ha⁻¹ de S, para situar o teor de S na folha entre 4,11 e 5,65 g kg⁻¹ de matéria seca e no solo entre 5,41 e 7,13 mg dm⁻³ de S, os quais podem formar as faixas adequadas para a cebola no solo e na folha aos 90 dias após a semeadura. Teores maiores do que 5,7 g kg⁻¹ de matéria seca foliar e de 7,13 mg dm⁻³ de S no solo, obtido com doses superiores a 45 kg ha⁻¹ de S causaram redução de produtividade e podem ser considerados tóxicos à planta cebola.

Para a porcentagem de bulbos nas classes 3+4 não se observou efeito significativo de doses de S (Tabela 7), mas observa-se pela análise de regressão polinomial ajuste significativo de efeito quadrático (Tabela 9). Em condições de baixo teor de enxofre no solo, a porcentagem de bulbos nas classes 3+4, a qual possui melhor valor comercial, aumentou com o fornecimento de S até a dose de 47,5 kg ha⁻¹, reduzindo-se com as doses superiores (Figura 10). Segundo a literatura,

plantas adequadamente nutridas com S produzem bulbos de maior tamanho (PAULA et al., 2002; KURTZ; ERNANI, 2010).

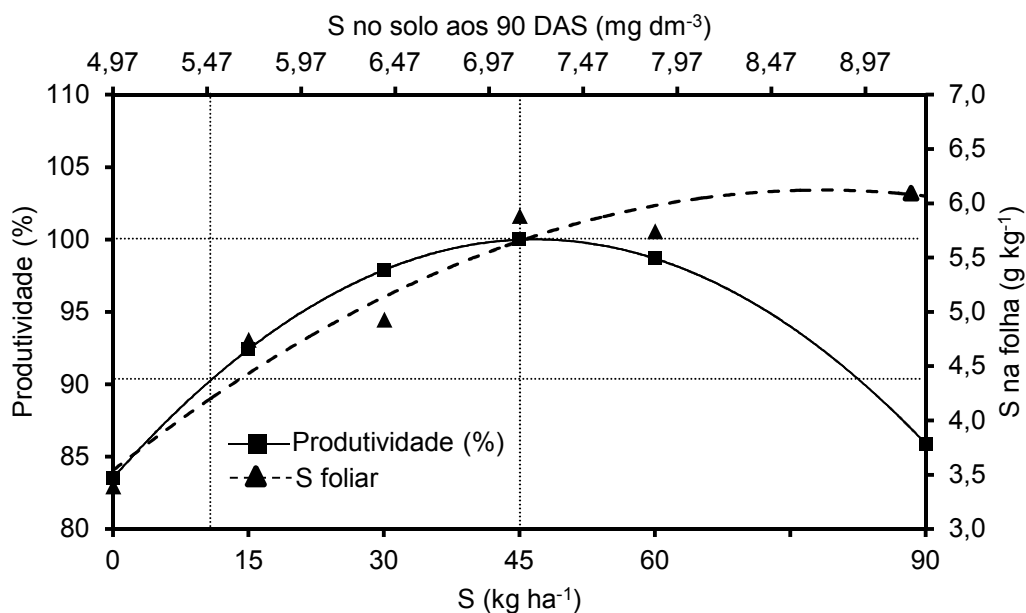


Figura 9. Relações entre teor de S no solo e na folha e produtividade da cebola 'Perfecta' em função de doses de S.

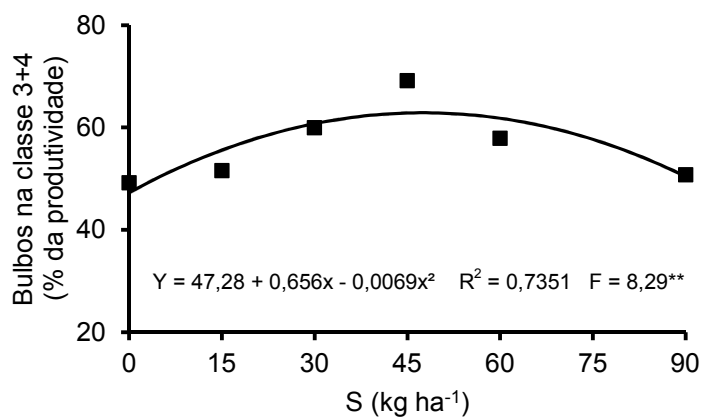


Figura 10. Percentagem de bulbos de cebola 'Perfecta' nas classes 3+4 em relação à produtividade total em função de doses de S no solo.

A pungência do bulbo não foi influenciada pelas doses de S (Tabela 7), mas pela análise de regressão houve ajuste significativo de efeito quadrático (Tabela 9), a qual se observa a máxima pungência na dose de 70 kg ha⁻¹ de S (Figura 11). O resultado diverge dos obtidos por Hamilton et al. (1998) e Paula et al. (2002), que não observaram aumento na pungência de cebola com o incremento na doses de S. De acordo com Randle e Bussard (1993), Randle et al. (1997) e McCallum et al. (2001), a intensidade da pungência é governada por fatores genéticos e ambientais, neste caso com destaque para o teor de S no solo, temperatura e disponibilidade de água. Segundo os autores, o fornecimento de S para a cultura implica no aumento da pungência até o limite controlado geneticamente, com diferença entre cultivares, acima do qual não tem incremento mediante aumento na dose de S. Sun Yoo et al. (2006) e Grangeiro et al. (2008) afirmam que cerca de 80% da variação no teor de pungência da cebola é explicada pelo fator genético.

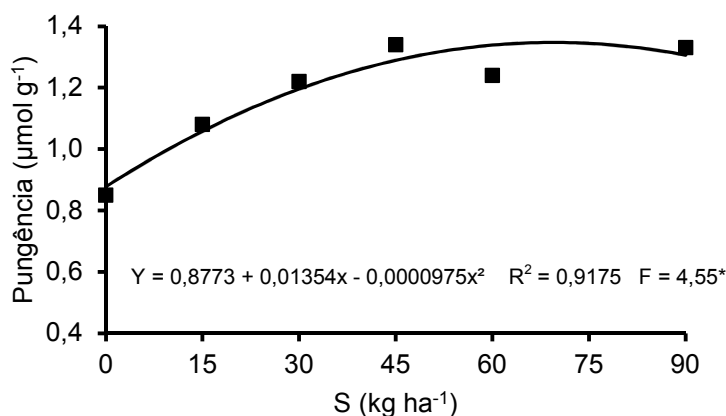


Figura 11. Pungência do bulbo da cebola 'Perfecta' em função de doses de S no solo.

Levando em consideração a classificação da pungência proposta por Miguel (2005), em função da atividade da aliinase, a pungência variou de 0,9 e 1,4 µmol g⁻¹ de ácido pirúvico, sendo classificadas como muito suave (0 - 2,9 µmol.g⁻¹) e de sabor extra doce.

5 CONCLUSÕES

O fornecimento de S-elementar no solo, no início, causa pequeno incremento no pH do solo que, com o passar do tempo, tende a diminuir.

A disponibilidade de S-SO₄²⁻ no solo aumenta com o incremento na dose de S-elementar.

O fornecimento de 45 kg ha⁻¹ de S, em Latossolo com baixo teor do nutriente, proporciona máxima produtividade de cebola 'Perfecta'.

A pungência do bulbo aumenta com o fornecimento de enxofre no solo.

A cultivar Perfecta, em Latossolo com baixo teor de enxofre e fertilizada com até 90 kg ha⁻¹ de S, produz bulbos de pungência “muito suave” e sabor “extra doce”.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, T. A. S.; MILLAR, A. A.; CHOUDHURY, E. N.; CHOUDHURY, M. M. Análise da produção de cebola sob diferentes regimes de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.15, n.2, p.233-236, 1980.

AGRIANUAL 2012: Anuário da Agricultura Brasileira. **Cebola**. São Paulo, p.248-252, 2012.

ALVAREZ, J. W. R. **Disponibilidade e resposta de culturas ao enxofre em solos do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 2004. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria.

BAIER, J. E.; RESENDE, J. T. V.; GALVÃO, A. G.; BATTISTELLI, G. M.; MACHADO, M. M.; FARIA, M. V. Produtividade e rendimento comercial de bulbos de cebola em função da densidade de cultivo. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 496-501, 2009.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; GALL, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: IAC, 1983. 48 p.

BREWSTER, J. L. **Onions and other vegetable Alliums**. Wallingford: UK.CAB International. 1994. 236p.

CALDWELL, J. O'N.; SUMNER, M. E.; VAVRINA, C. S. Development and testing of preliminary foliar DRIS norms for onions. **HortScience**, v.29, n.12, p.1501-1504,1994.

COMPANHIA DE ENTREPÓSITOS E ARMAZÉNS GERAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO. CEAGESP. **Programa Brasileiro para a melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros**. São Paulo, 2001.

DENG, S.; DICK, R.P. Sulfur oxidation and rhodanese activity in soils. **Soil Science**, Baltimore, v.150, n.2, p. 552-560, 1990.

DUKE, S. H.; REISENAUER, H. M. Roles and requirements of sulfur in plant nutrition. In: **SULFUR in agriculture**. Madison: ASA: CSSA: CSSA, 1986. p. 123-168.

GERMIDA, J. J.; JANZEN, H. H. Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. **Fertilizer research**, Wageningen, Netherlands, v. 35, p.101-114, 1993.

GOLDMAN, I. L.; HAVEY, M. J.; SCHROECK, G. History of public onion breeding programs and pedigree of public onion germplasm releases in the United States. **Plant Breeding Reviews**, v. 20, p. 67-103, 2000.

GRANGEIRO, L. C.; SOUZA, J. O.; AROUCHA, E. M. M.; NUNES, G. H. S.; SANTOS, G. M. Características qualitativas de genótipos de cebola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.4, p.1087-1091, 2008.

HAMILTON, B. K.; YOO, K. S.; PIKE, L. M. Changes in pungency of onions by soil type, sulphur nutrition and bulb maturity. **Scientia Horticulturae**, v.74, p.249-256, 1998.

HOROWITZ, N. **Oxidação e eficiência agronômica do enxofre elementar em solos do Brasil**. 2003. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.822-828, 2006.

IBGE. **Censo Agropecuário**: Número de informantes por extratos de áreas. 2006. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 02 de maio de 2013.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal: Culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro, v.38, 2011. 97 p.

JANZEN, H. H.; BETTANY, J. R. Measurement of sulfur oxidation in soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 143, n. 6, p. 444-452, 1987.

JONES JUNIOR, J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide**. Athens, v.1, 1991. 213p.

KUNZ, V. L.; SIRTOLI, L. F.; FURLAN, L.; POLETTI, L.; PRIMO, M. A.; RODRIGUES, J. D. Produtividade de cebola sob diferentes fontes e modos de aplicação de adubos nitrogenados em cobertura. **Revista Biodiversidade**, Rondonópolis, v.8, n.1, p. 32-37, 2009.

KURTZ, C.; ERNANI, P. R. Produtividade de cebola influenciada pela aplicação de micronutrientes. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.34, n.1, p. 133-142, 2010.

LANCASTER, J. E.; FARRANT, J.; SHAW, M. L. Sulfur Nutrition Affects Cellular Sulfur, Dry Weight Distribution, and Bulb Quality in Onion. **Journal American Society Horticultural Science**, Alexandria, v.126, n.2, p.164-168, 2001.

LAWRENCE, J. R.; GERMIDA, J. J. Relationship between microbial biomass and elemental sulfur oxidation in agricultural soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, n.3, p.672-677, 1988.

LUENGO, R. F. A; CALBO, A. G.; LANA, M. M.; MORETTI, C. L.; HENZ, G. P. **Classificação de hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças. p.27-33. 1999.

MAGALHÃES, J. R. Nutrição e adubação da cebola. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. (Ed.) **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: Potafos. p. 381-393, 1993.

MALAVOLTA, E; MORAES, MF. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALA, S. R. S.; VITTI, G. C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba, 2007. 722p.

MARSCHNER, H. Sulfur. In: **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2nd ed. Academic Press, London, p. 255-265, 1995.

MAY, A.; FILHO, A. B. C.; PORTO, D. R. Q.; VARGAS, P. F.; BARBOSA, J. C. Acúmulo de macronutrientes por cultivares de cebola. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.507-512, 2008.

McCALLUM, J.A., LEITE, D., PITHER-JOYCE, M., AND HAVEY, M.J. Expressed sequence markers for genetic analysis of bulb onion (*Allium cepa* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.103, p.979-991, 2001.

MIGUEL, A. C. A. **Efeito do período de armazenamento refrigerado na qualidade de cebolas e do seu produto minimamente processado**. 2005. 80 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

MINAMI, K. **Cultura da cebola**. ESALQ - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba – SP. 1988. 38p.

NASREEN, S.; HUQ, S. M. I. Effect of sulphur fertilization on yield, sulphur content and uptake by onion. **Indian Journal of Agricultural Research**, Bangladesh, v.39, n.2, p.122-127, 2005.

NOR, Y. M.; TABATABAI, M. A. Oxidation of elemental sulfur in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, p. 736-741, 1977.

OSORIO FILHO, B. D. **Dinâmica de enxofre no sistema solo e resposta das culturas à adubação sulfatada**. 2006. 75 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

PAULA, M. B.; PÁDUA, J. G.; FONTES, P. C. R.; BERTONI, J. C. Produtividade, qualidade de bulbos de cebola e teores de nutrientes na planta e no solo influenciados por fontes de potássio e doses de gesso. **Ceres: the FAO Review on Agriculture and Development**, Viçosa, v. 43, n.283, p. 231-244, 2002.

PÔRTO, D. R. Q.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MAY, A.; BARBOSA, J. C. Acúmulo de macronutrientes pela cultivar de cebola "Optima" estabelecida por semeadura direta. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.24, n.4, p.470-475, 2006.

PÔRTO, D. R. Q.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MAY, A.; VARGAS, P. F. Acúmulo de macronutrientes pela cultivar de cebola "Superex" estabelecida por semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.4, p.949-955, 2007.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas - Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RANDLE, W. M. Onion flavor chemistry and factors influencing flavor intensity. **ACS symposium series**, v.660, p.41-42, 1997.

RANDLE, W. M.; BUSSARD, M. L. Pungency and sugars of short-day onions as affected by sulfur nutrition. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. Alexandria, v.118, p.766-770, 1993.

RANDLE, W. M.; LANCASTER, J.E.; SHAW, M.L.; SUTTON, K.H.; BUSSARD, M.L. S fertility affects flavor precursors and precursor intermediates in onion. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. Alexandria, v.120, p.1075-1081, 1995.

RESENDE, G. M.; CHAGAS, S. J. R.; PEREIRA, L.V. Características produtivas de cultivares de cebola no Sul de Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n.4, p. 722-725, 2003.

RESURRECCION, A. P.; MAKINO, A.; BENNETT, I.; MAE, T. Effects of sulfur nutrition on the growth and photosynthesis of rice. **Soil Science and Plant Nutrition**, Kyoto, v. 47, p. 611-620, 2001.

REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. **Plant Analysis: an interpretation manual**. Melbourne, Inkata Press, 1988. 218p.

SAIK, R. D. The evolution of a sulphur bentonite fertilizer: one company's perspective. **Sulphur in agriculture**, Washington, v. 19, p. 74-77, 1995.

SCHUNEMANN, A. P.; TREPTOW, R.; LEITE, D. L.; VENDRUSCOLO, J. L. Pungência e características químicas em bulbos de genótipos de cebola (*Allium cepa* L.) cultivados no Alto Vale do Itajaí, SC, Brasil. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, n.1, p.77-80, 2006.

SCHWIMMER, S.; WESTON, W. J. Enzymatic development of pyruvic acid in onion as a measure of pungency. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Essex, v.9, n.4, p. 301-304, 1961.

SLATON, N. A.; NORMAN, R. J.; GILMOUR, J. T. Oxidation rates of commercial elemental sulfur products applied to an alkaline silt loam from Arkansas. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p: 239-243, 2001.

SUMANTRA, K.; TIWARI, R. S.; KAR, S. Effect of sulfur on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) cv. Pusa Red. **Recent Horticulture**, Bangladesh, v.4, p.138-139, 1998.

SUN YOO, K.; PIKE, L.; CROSBY, K.; JONES, R.; LESKOVAR, D. Differences in onion pungency due to cultivars, growth environment, and bulb sizes. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.110, p.144-149, 2006.

VIANA, J. G. A.; BARCHET, I.; ZEN, B.; SOUZA, R. S. Tendência histórica de preços pagos ao produtor de hortifrutigranjeiros do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.7, p.1643-1650, 2010.

VILELA, N. J.; MAKISHIMA, N.; OLIVEIRA, V. R.; COSTA, N. D.; MADAIL, J. C. M.; CAMARGO FILHO, W.; BOEING, G.; MELO, P. C. T. Desafios e oportunidades para o agronegócio de cebola no Brasil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 1029-1033, 2005.

WATKINSON, J.H. Measurement of the oxidation rate of elemental sulfur in soil. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.27, n.2, p.365-375, 1989.

WEN, G.; SCHOENAU, J. J.; MOOLEKI, S. P.; INAGA, S.; YAMAMOTO, T.; HAMAMURA, K.; INOUE, M.; AN, P. Effectiveness of an elemental sulfur fertilizer in an oilseed-cereal-legume rotation on the Canadian prairies. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v.166, p.54-60, 2003.