

**DOSES, FONTES E MODOS DE APLICAÇÃO DE ZINCO NA
CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

Ilha Solteira – SP

Março/2011



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

“Doses, fontes e modos de aplicação de zinco na cultura da
cana-de-açúcar”

MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

Orientador: Prof. Dr. Salatiér Buzetti

Tese apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP – Campus de Ilha
Solteira, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Ilha Solteira – SP
Março/2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

T266d Teixeira Filho, Marcelo Carvalho Minhoto.
Doses, fontes e modos de aplicação de zinco na cultura da cana-de-açúcar
/ Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2011.
153 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de produção, 2011

Orientador: Salatiér Buzetti
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar. 2. Adubação com zinco. 3. Micronutrientes. 4. Solos
arenosos. 5. Plantas – Nutrição. 6. Cana-de-açúcar – Qualidade.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: DOSES, FONTES E MODOS DE APLICAÇÃO DE ZINCO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

AUTOR: MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

ORIENTADOR: Prof. Dr. SALATIER BUZETTI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA ,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. SALATIER BUZETTI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. WILLIAM NATALE

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

Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO

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

Data da realização: 18 de março de 2011.

Dedico

Aos meus pais Marcelo Carvalho Minhoto

Teixeira e Vera Lúcia Macri Gonçalves Teixeira,

pelo incentivo e apoio em todos os momentos difíceis

da minha vida, pela educação, confiança, dedicação, paciência

e acima de tudo pelo amor que vocês me deram, a quem devo tudo

que sou hoje. Obrigado, amo vocês.

Ofereço

A minha namorada Cássia Maria de Paula Garcia,

ao meu irmão Eduardo Gonçalves Minhoto Teixeira,

aos meus avós, aos meus tios, aos meus primos e aos

meus amigos que sempre me apoiaram e quiseram ver esta conquista.

Agradecimentos

Ao professor Dr. Salatiér Buzetti pela valiosa orientação acadêmica dedicada nos últimos anos que trabalhamos juntos, autêntica demonstração de profissionalismo, humildade, confiança e companheirismo à minha pessoa, a quem considero não só como um amigo, mas como um exemplo de vida.

A Deus, pela vida e oportunidades que tem me proporcionado.

A Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" Campus de Ilha Solteira-SP e a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia "Sistema de Produção", pela oportunidade concedida para realização deste curso de Pós-Graduação.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pela bolsa de estudos (Processo N.º 2007/07063-7) e apoio financeiro.

À Usina Vale do Paraná S/A Alcool e Açúcar pelo fornecimento da área e equipamentos necessários para a realização deste trabalho e aos seus funcionários pelo apoio nas avaliações.

Aos Departamentos de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-economia e o Departamento de Biologia e Zootecnia, pelo apoio.

Ao professor Dr. Marcelo Andreotti pelas sugestões, atenção, auxílio prestado, amizade e confiança dedicados a minha pessoa nesses meses.

Aos professores Dr. Edson Lazarini e Dr. Luiz Malcolm Mano de Mello pela participação na qualificação deste trabalho, contribuindo amplamente para torná-lo mais completo, através de suas sugestões e críticas.

Aos professores Drs. Francisco Maximino Fernandes, Marco Eustáquio de Sá, Maria Aparecida Anselmo Tarsitano, Marlene Cristina Alves, Morel de Passos e Carvalho, Orivaldo Arf, Antonio César Bolonhezi e demais professores pela amizade, dedicação e contribuição a minha formação acadêmica.

Aos Técnicos, Marcelo Rinaldi da Silva (técnico do laboratório de nutrição de plantas), Selma Maria Bozzite de Moraes (técnica do laboratório de análise genética de populações e silvicultura), João Batista Mariano de Carvalho e Carlos Araújo da Silva (técnicos do laboratório de fertilidade do solo), Alexandre Marques da Silva (laboratório de fertilidade de solos e nutrição de plantas) e Sidival Antunes de Carvalho (técnico do laboratório de bromatologia) pelos valiosos auxílios nas análises laboratoriais e principalmente pela amizade.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Campus de Ilha Solteira-SP.

Aos funcionários da seção de Pós-Graduação e do DEFFERS pela atenção concedidas.

Aos bibliotecários pela dedicação e atenção concedidas.

À minha namorada Cássia Maria de Paula Garcia que muito ajudou e contribuiu para a realização deste trabalho.

Aos amigos de Doutorado, Mestrado e Graduação: Cleiton Gredson Sabin Benett (Cleitão), Katiane Santiago Silva, Thiago de Souza Celestrino, Paulo Ricardo Maestrello (Xernobil), Mateus Augusto de Carvalho Rodrigues (Benê), Nídia Raquel Costa, Alexandra Sanae Maeda (Tiazinha), Ronaldo Cintra Lima (Ronaldão), Danila Comélis Bertolin (Marvada), Marcelo Valentin Arf, Ana Carolina Marostica Lino, Rodolfo Gazolla, Hernandez Queiroz de Andrade (Lango), Marcelo Denadai, Júlio César dos Reis Pereira (Tuiuiu), Samuel Ferrari (Xuxa), Cleiton Herrera Rover, Eduardo Quimelo Theago, Cristiano Magalhães Pariz (Mala), Danilo Marcelo Aires dos Santos (Piqui) pela companhia, respeito, pela contribuição que ofereceram ao meu crescimento como ser humano e prazer das vivências divididas nesse período.

Enfim, agradeço a todos que nestes 3 anos me ajudaram a ser hoje uma pessoa melhor em todos os aspectos e aqueles que neste momento imerecidamente não foram lembrados, porém jamais esquecidos.

TEIXEIRA FILHO, M.C.M. **Doses, fontes e modos de aplicação de zinco na cultura da cana-de-açúcar**. 2011. 153 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia, Unesp – Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2011.

Autor: Eng^o. Agr^o. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Orientador: Prof. Dr. Salatiér Buzetti

RESUMO

A produtividade e a longevidade dos canaviais podem estar sendo prejudicadas pela expansão da cultura para áreas de baixa fertilidade, nas quais pode ocorrer deficiência de micronutrientes, uma vez que as quantidades extraídas e exportadas pela cultura são significativas. Neste contexto, o zinco é importante, pois sua deficiência na cana-de-açúcar pode ocasionar redução do perfilhamento, internódios mais curtos e colmos mais finos. Assim que estabelecida a necessidade de aplicação de zinco, é importante determinar qual fonte deste micronutriente seria mais eficiente e qual o seu melhor modo de aplicação. Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de doses e fontes de zinco aplicadas no sulco de plantio, além da aplicação foliar em dose fixa de duas fontes solúveis deste nutriente, em dois cortes (cana-planta e 1ª cana-soca), nas características produtivas, estado nutricional e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada num solo de textura arenosa, com baixo teor de zinco. O experimento foi realizado num Argissolo Vermelho eutrófico de textura arenosa, em uma área agrícola administrada pela Usina Vale do Paraná Açúcar e Álcool, em Suzanápolis – SP. A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB867515. O delineamento estatístico utilizado tanto em cana-planta como na 1ª cana-soca foi o de blocos ao acaso, em um esquema fatorial (5x3+2), com cinco doses de zinco (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 kg ha⁻¹) e três fontes de zinco (FTE (silicato de Zn em pó) com 15% de Zn e 3,9% de S, quelato de Zn (Zn quelatizado com EDTA) com 7% de Zn e sulfato de Zn com 21% de Zn e 11% de S) aplicadas no sulco de plantio da cana-de-açúcar, mais dois tratamentos adicionais com pulverização foliar em dose fixa (0,3 kg ha⁻¹ de Zn), aplicadas na cana-planta e 1ª cana-soca, usando as duas fontes solúveis (sulfato e quelato de Zn), com quatro repetições. As fontes de zinco tiveram efeito semelhante na maioria das características produtivas e na produtividade de colmos da cana-planta e da 1ª cana-soca. A aplicação das doses de zinco não influenciou o perfilhamento da cana, índice de clorofila foliar, diâmetro do colmo, número de internódios por metro de colmo, altura de colmo, número de colmos por metro e consequentemente, a produtividade e massa da matéria seca de colmos da cana-planta e da 1ª cana-soca, cultivada em um solo arenoso com baixo teor de zinco. Os

tratamentos com Zn aplicados via solo e via foliar proporcionaram resultados semelhantes para todas as características produtivas da cana-de-açúcar, em ambos os cultivos. O incremento das doses de zinco proporcionou aumento linear dos teores de Zn foliar e de Zn no colmo da cana-planta e da 1ª cana-soca, independente da fonte de Zn utilizada. O teor de Zn na palhada também aumentou linearmente, porém apenas com efeito residual na 1ª cana-soca. Não houve diferença entre os modos de aplicação de Zn para os teores e acúmulos de nutrientes no colmo e palhada da cana-de-açúcar. As quantidades acumuladas de N, B, Fe e Zn nos colmos da cana-planta foram influenciadas positivamente pelas doses de Zn. Enquanto que, na 1ª cana-soca aumentou apenas o acúmulo de P e Zn nos colmos. A qualidade tecnológica da 1ª cana-soca da variedade RB867515 foi mais afetada pela adubação com zinco, em relação a cana-planta. Na 1ª cana-soca, houveram incrementos nas porcentagens de POL da cana, POL do caldo e pureza do caldo quando do uso do quelato e sulfato de Zn, e maior porcentagem de AR do caldo para o FTE e sulfato de Zn. O incremento das doses de Zn resultou para 1ª cana-soca em aumento da POL da cana, POL do caldo, brix da cana e ATR da cana em média até a dose de 4,25 kg ha⁻¹ de Zn, independente da fonte deste nutriente. Baseado nos indicadores de qualidade tecnológica da 1ª cana-soca, seria interessante a aplicação via solo de 4,0 a 5,0 kg ha⁻¹ de Zn, na forma de quelato ou sulfato de Zn.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., adubação com zinco, micronutriente, solo de textura arenosa, estado nutricional da planta e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

TEIXEIRA FILHO, M.C.M. **Doses, sources and way of zinc application in the sugarcane crop.** 2011. 153 p. Thesis (Doctor Science) - Faculdade de Engenharia, Unesp – Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2011.

Author: Eng^o. Agr^o. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Adviser: Prof. Dr. Salatiér Buzetti

ABSTRACT

The productivity and longevity of the sugarcane crop can be being prejudiced by expansion of the crop to areas of low fertility where micronutrients can be in lack, once the extracted and exported amounts by the crop are significant. In this context, the zinc is important, considering that its deficiency in sugarcane can result in reduction of tillering, shorter internodes and thinner stem. As soon as it was established the need of zinc application, it is important to determine which source of this micronutrient would be more efficient and also the best application way. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of doses and sources of zinc applied in the planting furrow, besides the leaf spray with the same dose of two soluble sources of this nutrient, in two cuts (cane-plant and first cane-ratton), in the productive characteristics, nutritional state and technological quality of the sugarcane cultivated in a sandy texture soil, with low zinc content. The experiment was accomplished in an eutrophic Alfisol, in an agricultural area administered by Usina Vale do Paraná Sugar and Alcohol, in Suzanápolis – SP, Brazil. The sugarcane variety used was RB867515. A randomized complete blocks design, with 4 repetitions, disposed in a factorial scheme 5x3+2, being: five doses of Zn (0; 2.5; 5.0; 7.5 e 10.0 kg ha⁻¹), three sources of Zn (FTE (Zn silicate in powder) with 15% of Zn and 3.9% of S, Zn chelate (Zn chelated with EDTA) with 7% of Zn and Zn sulfate with 21% of Zn and 11% of S), applied at the sugar-cane planting furrow, more two additional treatments with leaf spray with the same dose (0.3 kg ha⁻¹ of Zn), applied in the cane-plant and first cane-ratton, using the two soluble sources (sulfate and chelate of Zn), was used. The zinc sources, as well as the treatments with Zn applied in the soil and by leaf spray had similar effect in most of the productive characteristics and in the productivity of stems of the cane-plant and first cane-ratton. The application of zinc doses did not influence the tillering of the cane, leaf chlorophyll index, diameter of the stem, internodes number for meter of stem, stem height, number of stems for meter and consequently, the productivity and dry mass of stem of the cane-plant and first cane-ratton, cultivated in a sandy soil with low zinc content. The increment of zinc doses provided linear increase of the leaf and stem Zn contents of the cane-plant and first cane-ratton,

independently of the Zn source. The straw Zn content also increased linearly, however only for the first cane-ratton. There was not difference between the application way of Zn for the contents and accumulation of nutrients in the stem and straw of the sugarcane. The accumulated amounts of N, B, Fe and Zn in the stems of the cane-plant were positively influenced by the Zn doses. However, in the first cane-ratton increased only the P and Zn accumulation in the stems. The technological quality of the first cane-ratton was more affected by zinc fertilization, in relation to cane-plant. In the first cane-ratton, there were larger percentages of sucrose concentration (pol cane and pol juice) and juice purity for the chelate and sulfate of Zn, and larger percentage of juice reducing sugars for the FTE and sulfate of Zn. The increment of zinc doses resulted for the first cane-ratton in increased of the sucrose concentration (pol cane and pol juice), brix cane and total recoverable sugar (ATR cane) up to the dose of 4.25 kg ha⁻¹ of Zn, independent of the Zn source. Based on the indicators of technological quality of the first cane-ratton, would be interesting the application between 4.0 and 5.0 kg ha⁻¹ of Zn in the soil, in the form of chelate or sulfate of Zn.

Key-words: *Saccharum* spp., zinc fertilization, micronutrient, sandy texture soil, plant nutritional state and sugarcane technological quality.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação pluvial (mm) mensal, umidade relativa do ar (%) mensal, temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) máxima, média e mínima mensais durante a condução do experimento com cana-planta (A) na safra 2008/2009 e com cana-soca (B) na safra 2009/2010, em Suzanópolis – SP..... 43
- Figura 2.** Efeito da interação épocas de avaliação (DAP) dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao número de perfilhos por metro da cultura da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanópolis – SP, 2008/2009..... 55
- Figura 3.** Efeito da interação épocas de avaliação (DAC) dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao número de perfilhos por metro da cultura da cana-de-açúcar (1ª cana-soca). Suzanópolis – SP, 2009/2010..... 55
- Figura 4.** Efeito da interação épocas de avaliação (DAP) dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao índice de clorofila foliar da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanópolis – SP, 2008/2009..... 58
- Figura 5.** Efeito da interação épocas de avaliação (DAC) dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao índice de clorofila foliar da cana-de-açúcar (1ª cana-soca). Suzanópolis – SP, 2009/2010..... 58
- Figura 6.** Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente a massa da matéria seca de palhada da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanópolis – SP, 2008/2009..... 66
- Figura 7.** Equação de regressão referente a massa da matéria seca de palhada da cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2009/2010..... 66
- Figura 8.** Equação de regressão referente ao teor de Ca foliar da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009..... 71
- Figura 9.** Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de Mg foliar da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanópolis – SP, 2008/2009..... 71
- Figura 10.** Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de S foliar da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanópolis – SP, 2008/2009..... 72
- Figura 11.** Equações de regressão referentes ao teor de Zn foliar da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010..... 77

Figura 12.	Equação de regressão referente ao teor de N no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	81
Figura 13.	Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de S no colmo da cana-de-açúcar (1ª cana-soca). Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	81
Figura 14.	Equação de regressão referente ao teor de B no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	85
Figura 15.	Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de B no colmo da cana-de-açúcar (1ª cana-soca). Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	85
Figura 16.	Equações de regressão referentes ao teor de Zn no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª Cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	86
Figura 17.	Equação de regressão referente ao teor de N na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	89
Figura 18.	Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de N na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (1ª cana-soca). Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	89
Figura 19.	Equação de regressão referente ao teor de P na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	90
Figura 20.	Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de P na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (1ª cana-soca). Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	90
Figura 21.	Equação de regressão referente ao teor de K na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	91
Figura 22.	Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de K na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (1ª cana-soca). Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	91
Figura 23.	Equação de regressão referente ao teor de Ca na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	92
Figura 24.	Equação de regressão referente ao teor de S na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	92

Figura 25.	Equação de regressão referente ao teor de Mg na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	93
Figura 26.	Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de B na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (1ª cana-soca). Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	97
Figura 27.	Equação de regressão referente ao teor de Mn na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	97
Figura 28.	Equação de regressão referente ao teor de Zn na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	98
Figura 29.	Equação de regressão referente a quantidade de N acumulado no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	102
Figura 30.	Equação de regressão referente a quantidade de P acumulado no colmo da cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	102
Figura 31.	Equação de regressão referente a quantidade de B acumulado no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	106
Figura 32.	Equação de regressão referente a quantidade de Fe acumulado no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	106
Figura 33.	Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente a quantidade de Mn acumulado no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	107
Figura 34.	Equações de regressão referentes a quantidade de Zn acumulado no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	107
Figura 35.	Equação de regressão referente a quantidade de P acumulado na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	112
Figura 36.	Equação de regressão referente a quantidade de K acumulado na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	112

Figura 37.	Equação de regressão referente a quantidade de Ca acumulado na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	113
Figura 38.	Equação de regressão referente a quantidade de S acumulado na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	113
Figura 39.	Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente a quantidade de Mn acumulado na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	118
Figura 40.	Equação de regressão referente a quantidade de Mn acumulado na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	118
Figura 41.	Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente a quantidade de Zn acumulado na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	119
Figura 42.	Equação de regressão referente a POL da cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	124
Figura 43.	Equação de regressão referente a POL do caldo da cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	124
Figura 44.	Equação de regressão referente ao Brix da cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	125
Figura 45.	Equação de regressão referente ao ATR da cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Resultados da análise química do solo da área experimental. Suzanópolis-SP, 2007.....	41
Tabela 2.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as contagens de perfilhos por metro e de leituras do índice de clorofila foliar da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	52
Tabela 3.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as contagens de perfilhos por metro de linha da cultura da cana-de-açúcar (cana-planta), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	53
Tabela 4.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as contagens de perfilhos por metro de linha da cultura da cana-de-açúcar (1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	54
Tabela 5.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as leituras do índice de clorofila foliar na cultura da cana-de-açúcar (cana-planta), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009.....	56
Tabela 6.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as leituras do índice de clorofila foliar na cultura da cana-de-açúcar (1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2009/2010.....	57
Tabela 7.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes à altura de colmo, número de colmos industrializáveis por metro, diâmetro de colmo e número de internódios por metro de colmo de cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	60
Tabela 8.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes à altura de colmo, número de colmos industrializáveis por metro, diâmetro de colmo e número de internódios por metro de colmo de cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	61
Tabela 9.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes à produtividade de colmos, massa da matéria seca de colmo e massa seca de palhada (ponteiro + folhas) de cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	65

Tabela 10.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes à produtividade de colmos, massa da matéria seca de colmo e massa seca de palhada (ponteiro + folhas) de cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	68
Tabela 11.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	70
Tabela 12.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	73
Tabela 13.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) nas folhas da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	76
Tabela 14.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) nas folhas da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	78
Tabela 15.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	80
Tabela 16.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	82
Tabela 17.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	84
Tabela 18.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	87
Tabela 19.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	88

Tabela 20.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	94
Tabela 21.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	96
Tabela 22.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	99
Tabela 23.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	101
Tabela 24.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	103
Tabela 25.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	105
Tabela 26.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	108
Tabela 27.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	111
Tabela 28.	Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	114

Tabela 29. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	117
Tabela 30. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	120
Tabela 31. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes a pureza do caldo, POL da cana, POL do caldo, fibra e brix da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	123
Tabela 32. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes a pureza do caldo, POL da cana, POL do caldo, fibra e brix da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	126
Tabela 33. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes ao AR do caldo, ATR da cana, ATR por hectare e produtividade agroindustrial da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	129
Tabela 34. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes ao AR do caldo, ATR da cana, ATR por hectare e produtividade agroindustrial da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.....	131

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 Cultura da cana-de-açúcar.....	21
2.2. Micronutrientes.....	23
2.3. Fontes de Zn.....	26
2.4. Zinco no solo.....	29
2.5. Zinco na planta.....	34
2.6. Modos de aplicação e efeito residual da adubação com zinco.....	36
2.7. Efeito da adubação com zinco na cultura da cana-de-açúcar.....	38
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.1. Localização e características do local.....	41
3.2. Delineamento experimental e tratamentos utilizados.....	44
3.3. Características da variedade de cana-de-açúcar	44
3.4. Instalação e condução do experimento.....	45
3.5. Avaliações realizadas em cana-planta e cana-soca.....	46
3.5.1. Características biométricas.....	46
3.5.2. Teores de nutrientes foliar, no colmo e na palhada (ponteiro + folhas).....	47
3.5.3. Acúmulo de nutrientes nos colmos e palhada (ponteiro + folhas).....	48
3.5.4. Indicadores de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.....	48
3.6. Análise estatística.....	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1. Características biométricas.....	50
4.2. Avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar.....	69
4.2.1. Teores de nutrientes foliar.....	69
4.2.2. Teores de nutrientes no colmo.....	79
4.2.3. Teores de nutrientes na palhada (ponteiro + folhas).....	88
4.3. Acúmulo de nutrientes na cana-de-açúcar.....	100
4.3.1. Acúmulo de nutrientes nos colmos.....	100
4.3.2. Acúmulo de nutrientes na palhada (ponteiro + folhas).....	109
4.4. Indicadores de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.....	121
5 CONCLUSÕES.....	132
REFERÊNCIAS.....	134

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das principais culturas para a economia agrícola do país, que se destaca como o maior produtor mundial, com uma produção na safra de 2009/10 de aproximadamente 604 milhões de toneladas. As regiões Centro-Sul respondem por aproximadamente 543 milhões de toneladas. O Estado de São Paulo é o maior produtor brasileiro com cerca de 4 milhões de hectares de cana-de-açúcar, sendo sua produção destinada principalmente à fabricação de açúcar e de álcool, revelando-se na maior agroindústria do Estado e responsável por 363 milhões de toneladas. A produtividade brasileira de cana-de-açúcar considerando os 5 primeiros cortes foi em média 82 t ha^{-1} (CONAB, 2010).

Historicamente no setor sucroalcooleiro pouca atenção foi dada à resposta da cultura da cana-de-açúcar a aplicação de micronutrientes. Por isso, esta é uma prática pouco difundida entre as companhias agrícolas produtoras de cana-de-açúcar (FRANCO et al., 2009). Entretanto, a deficiência de micronutrientes pode causar sérios problemas ao desenvolvimento das culturas e queda de produtividade, visto que estes desempenham funções vitais no seu metabolismo. Dentre os micronutrientes, o zinco (Zn) é importante pois potencializa a produção do hormônio de crescimento auxina, sintetase do triptofano e metabolismo de triptamina. Este elemento, também é constituinte do álcool desidrogenase, desidrogenase glutâmica, anidrase carbônica, entre outros compostos. O Zn se concentra nas zonas de crescimento devido à maior concentração auxínica (TAIZ et al., 2004), portanto, seu principal efeito é no desenvolvimento e alongamento das partes jovens destas plantas. A deficiência deste nutriente na cana-de-açúcar pode ocasionar redução do perfilhamento, internódios mais curtos e colmos mais finos. De acordo com Malavolta et al. (1997), a exigência em Zn da cana-de-açúcar é em média de $0,72 \text{ kg ha}^{-1}$, com exportação relativa aos colmos de $0,50 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn e acúmulo de $0,22 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn nas folhas.

Na cana-de-açúcar, quando cultivada no estado de São Paulo, não é comum a visualização das deficiências de micronutrientes. Contudo, Orlando Filho et al. (2001) alertam para o fato de que a cana-de-açúcar poderia apresentar, com frequência, a chamada “fome oculta”, situação em que não aparecem os sintomas de deficiência visuais mas, os níveis presentes são insuficientes a ponto de levarem a redução da produtividade da cultura. Além disso, tal situação pode estar sendo agravada, com a expansão da cultura para regiões com ambientes de produção (solo e clima) menos favoráveis, onde o zinco é geralmente o

micronutriente mais carente devido ao pobre material de origem destes solos, além da falta de tradição de aplicação de fertilizantes contendo zinco nas culturas dessas regiões, que são predominantemente pastagens para pecuária.

Korndörfer et al. (1999) indicam a aplicação de zinco em cana-de-açúcar nas áreas deficientes do nutriente, especialmente em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica, caso comum nas áreas de expansão da cultura no Noroeste do Estado de São Paulo. Dessa forma, a adubação com zinco em canaviais cultivados em solos com baixo teor deste nutriente pode ser importante para manter níveis adequados de zinco para a cultura, podendo assim, proporcionar maior crescimento dos internódios, aumentar o crescimento do topo da cana-de-açúcar e, conseqüentemente, aumentar o comprimento e produtividade de colmos.

Assim estabelecida a necessidade de aplicação de zinco, é necessário determinar qual (is) o(s) método (s) de aplicação que seria (m) mais recomendável (is) para cada caso. Esse é um problema dos mais complexos, pois a eficiência dos diversos métodos de aplicação está intimamente relacionada com diversos fatores, com destaque para: fontes, tipo de solo, pH, solubilidade, efeito residual, mobilidade do nutriente e cultura, dentre outros (LOPES, 1999). Segundo Lopes (1991) e Volkweiss (1991), os principais métodos de aplicação de micronutrientes são, a adubação via solo e foliar. Outro aspecto importante é determinar qual fonte deste micronutriente seria mais eficiente, tanto em cana-planta quanto em cana-soca. Visto que, a solubilidade e forma física (pó ou grânulo) das diversas fontes de micronutriente, bem como as condições de solo podem interagir de modo a resultar em maior ou menor efeito da adubação na correção de deficiências nutricionais (MORAES et al., 2004).

Ressalta-se ainda que a maioria das pesquisas de adubação com zinco na cultura da cana-de-açúcar são antigas e foram realizadas apenas com o sulfato de zinco. Portanto, há necessidade de mais estudos sobre o tema, visto que, sempre estão surgindo novas variedades de cana-de-açúcar, as quais podem ser mais responsivas a esta adubação.

Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de doses e fontes de zinco aplicadas no sulco de plantio, além da aplicação foliar em dose fixa de duas fontes solúveis deste nutriente, em dois cortes (cana-planta e 1ª cana-soca), nas características produtivas, estado nutricional e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada num solo de textura arenosa com baixo teor de zinco, na Região Noroeste paulista.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é originária provavelmente do país africano Nova Guiné, e é cultivada no Brasil desde o século XVI, estabelecendo-se definitivamente nas regiões Centro sul e Nordeste (PROCÓPIO et al., 2004).

A cana-de-açúcar pertencente à família Poaceae (Gramíneas) (CRONQUIST, 1981), é uma planta que se desenvolve em forma de touceira e sua parte aérea é formada por colmos, folhas e inflorescências e a subterrânea por raízes e rizomas (MOZAMBANI et al., 2006). As raízes são fasciculadas, sendo que 85% delas encontram-se nos primeiros 50 cm do solo e aproximadamente 60% entre os primeiros 20-30 cm de profundidade, havendo pequenas variações nessa porcentagem dependendo, sobretudo das variedades (MOZAMBANI et al., 2006). Cada entrenó da planta produz uma nova folha em cerca de dez dias, e uma folha mais velha morre, deixando um número constante de oito a nove folhas por colmo. A maior porção de luz incidente é interceptada pelas seis folhas mais apicais. A gradativa queda de temperatura e redução das precipitações são determinantes para a ocorrência do processo de maturação da planta, dessa forma, na região Sudeste do Brasil, o processo tem ocorrência natural a partir de abril/maio, com clímax em setembro (RUDORFF, 1995).

A cana-planta é a denominação utilizada para cana-de-açúcar até a sua primeira colheita ou corte, tendo um período de crescimento em torno de 12 ou 18 meses, dependendo da época de plantio. Se for plantada de setembro a outubro geralmente é colhida com cerca de 12 meses, é denominada cana de ano. Se for plantada de janeiro a março, ela será colhida por volta de 18 meses e, portanto, é denominada cana de ano e meio. Após a primeira colheita a cana sofre uma rebrota que é chamada de soca. As demais colheitas ocorrem anualmente por volta do mesmo período (mês), sendo chamadas de ressocas (RUDORFF, 1995) As rebrotas da cana são utilizadas por 4 a 5 cortes em média, ou mais dependendo do nível de produtividade da cultura.

As condições climáticas são importantes no estudo da cultura, uma vez que envolvem os limites e as possibilidades desta atividade agrária. As principais fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar são: brotação, perfilhamento, crescimento e maturação. Para cada uma destas fases a cana apresenta diferentes exigências climáticas, sendo que algumas são mais exigentes

que as outras. Por exemplo, após a fase de crescimento, para haver boa produção de sacarose nos colmos, a cana necessita passar por um período de baixa temperatura ou de deficiência hídrica, para que cesse o crescimento vegetativo e comece a fase de maturação (BRAY, 1980).

A cana-de-açúcar é uma planta C4 e se adapta às condições de alta intensidade luminosa, altas temperaturas (25 a 30° C) e relativa escassez de água. Cerca de 30% da massa desta planta é representada pela matéria seca e 70% pela água, contudo esta proporção pode variar dependendo do estágio fenológico da cana-de-açúcar (SEGATO et al., 2006a).

O ambiente de produção de cana-de-açúcar é definido em função das condições físicas, hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas dos solos sob manejo adequado da camada arável em relação ao preparo, calagem, adubação, adição de vinhaça, torta de filtro, palha no plantio direto, do controle de plantas daninhas e pragas, mas sempre associadas às propriedades da subsuperfície dos solos e, principalmente, ao clima regional (precipitação pluvial, temperatura, radiação solar, evaporação). Portanto, ambiente de produção é a soma das interações dos atributos de superfície e principalmente de subsuperfície, considerando-se, ainda, o grau de declividade onde os solos ocorrem na paisagem, associadas com as condições climáticas (PRADO, 2005).

Os componentes do ambiente de produção são representados pela profundidade, a qual tem direta relação com a disponibilidade de água e com o volume de solo explorado pelas raízes; pela fertilidade, como fonte de nutrientes para as plantas; pela textura, relacionada com os níveis de matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e disponibilidade hídrica; e pela água, como parte da solução do solo, que é vital para a sobrevivência das plantas. Sendo assim, a definição de Ambiente de Produção é baseada em um conjunto de fatores relacionados à produção, a exemplo do clima e manejo, mas o solo merece destaque por ser a base de sustentação da produção agrícola. Os Ambientes de Produção visam separar as áreas em diferentes potenciais de produção de cana de açúcar, na seguinte ordem decrescente: A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D2, E1 e E2, ou seja, do ambiente mais favorável (A1) para o menos favorável (E2) à cultura da cana-de-açúcar (PRADO, 2005).

A produtividade e longevidade do canavial são reguladas por diversos fatores, dentre os quais destacam-se: variedade escolhida, fertilidade do solo e adubação, condições climáticas, práticas culturais, controle de plantas daninhas, pragas e doenças e método de colheita.

Dentre os fatores que influenciam a composição química e tecnológica da cana-de-açúcar, destacam-se variedades, ambientes de produção e manejo adotado (SEGATO et al., 2006a). De acordo com Marques et al. (2001), a cana-de-açúcar apresenta em sua composição de 8-18% de fibra (celulose, lignina e pentosanas) e 86-92% de caldo. O caldo contém de 75-82%

de água e de 18-25% de sólidos solúveis. Os sólidos solúveis apresentam de 15,5-27% de açúcares e de 1-2,5% de não-açúcares (impurezas), sendo este último dividido em inorgânicos (0,2-0,7%) e orgânicos (0,8-1,8%) que são compostos por aminoácidos, ácidos, ceras, corantes e gorduras. Os açúcares contêm cerca de 12-18% de sacarose, de 0,2-1% de glicose e de 0-0,5% de frutose. Para as indústrias, quanto mais elavados os teores de sacarose melhor para os processos de produção de açúcar e álcool.

A cultura da cana-de-açúcar representa grande fonte de divisas para o Brasil, seja pela produção de açúcar quanto pela produção de álcool etílico. Esta cultura vem apresentando significativa expansão em sua área cultivada, assim como tem revelado aumento em sua produtividade. Neste contexto, destaca-se o Estado de São Paulo que é maior produtor brasileiro (362,66 milhões de toneladas) com 4,13 milhões de hectares de cana-de-açúcar (CONAB, 2010). A Regional de Andradina (EDR), localizada no Noroeste do Estado de São Paulo, abrange o município de Suzanópolis, local onde foi realizado o experimento em questão, tradicionalmente apresenta áreas de pecuária de corte. Entretanto, apresentou um crescimento da cultura cana-de-açúcar de 122% de 2005 a 2009, com crescimento da produção de 158% e elevação de 10% na produtividade média da cultura, no período em questão (ARAÚJO, 2010).

2.2. Micronutrientes

A agricultura brasileira atravessa uma fase em que a produtividade, a eficiência, a lucratividade e a sustentabilidade dos processos produtivos são aspectos da maior relevância. Nesse contexto, os micronutrientes, cuja importância é conhecida há décadas, apenas mais recentemente passaram a ser utilizados de modo mais rotineiro nas adubações em várias regiões e para as mais diversas condições de solo, clima e culturas no Brasil (LOPES, 1999). Este autor cita ainda que os principais motivos que despertaram o maior interesse pela utilização de fertilizantes contendo micronutrientes no Brasil foi o início da ocupação da região dos cerrados, formada por solos deficientes em micronutrientes, por natureza; o aumento da produtividade de inúmeras culturas com maior remoção e exportação de todos os nutrientes; a incorporação inadequada de calcário ou a utilização de doses elevadas acelerando o aparecimento de deficiências induzidas; o aumento na produtividade e o uso de fertilizantes com alta concentração em NPK, reduzindo o conteúdo de micronutrientes nesses produtos e; o aprimoramento da análise de solos e análise foliar como instrumentos de diagnose de deficiências de micronutrientes.

O consumo de micronutrientes no Brasil tem aumentado nos últimos anos, sendo que no início da década de 90, o consumo de produtos contendo micronutrientes situou-se em torno de 30.000 toneladas e no ano de 2003, o Brasil consumiu cerca de 400.000 toneladas, sendo que destes, 12% foram utilizados na cultura da cana-de-açúcar (ANDA, 2004). Porém, nos últimos anos, com o aumento nos preços dos fertilizantes houve redução no consumo de fertilizantes contendo micronutrientes, sendo que no ano de 2008, foram consumidos cerca de 215.000 toneladas (ANDA, 2009).

Fageria et al. (2002) mencionam que a deficiência de micronutrientes está muito generalizada (por todo o mundo) devido: 1) aumento na demanda de micronutrientes por práticas intensivas de manejo e adaptação de variedades altamente produtivas, que podem ter maior exigência de micronutrientes; 2) aumento na produção de culturas em solos marginais com baixos níveis de nutrientes; 3) maior uso de fertilizantes concentrados com menor quantidade de contaminação por micronutrientes; 4) uso de solos com baixa reserva nativa de micronutrientes.

Casarin et al. (2001) também relatam que em solos de baixa fertilidade ou que são explorados durante muitos anos, a ocorrência de deficiência de micronutrientes torna-se ainda mais agravada. Segundo Vitti et al. (2006), quanto ao material de origem e à textura, fatores não controlados pelo homem, tem-se que solos originários de arenito e solos de textura grosseira apresentam maiores probabilidades de resposta a micronutrientes, em relação, por exemplo, a solos originários de basalto e solos de textura mais fina (maior poder tampão). Para Vitti e Martins (2001), uma das hipóteses da não resposta aos micronutrientes é provavelmente a sua ocorrência nos calcários, principalmente os de origem sedimentar.

Em solos altamente intemperizados, a pobreza química dos constituintes do solo e a alta afinidade dos micronutrientes catiônicos (Zn, Cu, Fe e Mn) pelos colóides do solo levam, geralmente, à baixa concentração desses na solução do solo. Nesta condição, o fluxo difusivo é o principal mecanismo de transporte de Zn, Cu, Fe e Mn no solo (BARBER, 1995).

Nos solos ácidos, a obtenção de altas produtividades de culturas exigentes passa, necessariamente, pelo emprego da calagem. No entanto, ao elevar o pH do solo, a calagem reduz a disponibilidade de micronutrientes catiônicos, tais como: Zn e Mn (SANDERS, 1983). Muitos outros trabalhos relacionam o aumento do pH decorrente da calagem com a deficiência de micronutrientes metálicos, por diminuir sua solubilidade na solução do solo, tornando-os menos disponíveis para as plantas (RHOTON, 2000). Caires e Fonseca (2000), ao avaliarem a absorção de nutrientes pela soja, em experimento com doses de calcário em superfície no sistema de semeadura direta, verificaram redução de Zn e Mn absorvidos pela cultura.

Caires et al. (2003) também verificaram redução nos teores foliares de Zn na soja, após três cultivos sucessivos, em decorrência do aumento do pH do solo proporcionado pela adição de calcário na superfície em sistema de semeadura direta e na absorção de Mn, sobretudo quando se incorporou calcário ao solo. Em condição de pH mais elevado, a concentração de micronutrientes catiônicos na solução do solo é reduzida com a formação de compostos de baixa solubilidade, levando ao decréscimo do seu fluxo difusivo (BARBER, 1995). Evidência para tal vem de trabalho em que o aumento do pH do solo foi um fator de grande importância no controle do fluxo difusivo de Zn na forma catiônica, chegando a reduzi-lo até 26 vezes, estando o decréscimo diretamente associado à menor concentração desses micronutrientes na solução do solo (OLIVEIRA et al., 1999).

A maior disponibilidade de resíduos vegetais, decorrente da adoção de sistemas conservacionistas, pode aumentar o teor de matéria orgânica do solo (SÁ et al., 2001; BAYER et al., 2004), como no caso da colheita mecanizada da cana crua que proporciona grande quantidade de palhada (folhas + ponteiros da cana-de-açúcar). Com isso, pode ocorrer mudança na disponibilidade de micronutrientes pelo aumento da formação de complexos solúveis com a matéria orgânica do solo e seus produtos de decomposição (JONES et al., 2003) e compostos hidrossolúveis lixiviados dos resíduos vegetais em processo de decomposição (FRANCHINI et al., 1999). Dentre esses compostos, estão os ácidos orgânicos de baixa massa molecular (AOBMM) (FRANCHINI et al., 2003) que são capazes de complexar os micronutrientes catiônicos do solo (JONES, 1998; PEGORARO, 2003). De acordo com Vulkan et al. (2002) e Jones et al. (2003) os compostos orgânicos estão envolvidos no transporte de micronutrientes catiônicos.

A disponibilidade de micronutrientes para as plantas depende, entre outros fatores, da textura, matéria orgânica e principalmente, do pH do solo. O aumento do pH do solo reduz a disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco (MARSCHNER, 1995). Já para Vittori e Trevisan (2000), a disponibilidade de micronutrientes para as plantas (presença deste nutriente na solução do solo) depende de vários fatores, como: material de origem do solo; reação do solo (pH); textura do solo; aeração do solo (nos casos do Fe, do Mn e do Cu); práticas culturais (Calagem, adubação fosfatada, plantio direto); características genéticas da planta; desbalanceamento entre cátions metálicos (Fe, Cu, Mn e Zn); altas produtividades (Lei do Mínimo). Para Harter (1991), as reações de adsorção-dessorção tendem a ser mais rápidas que os processos de precipitação-dissolução, de modo que a adsorção, na interface sólido-solução pode ser o fator dominante para regular a concentração de micronutrientes em solução.

Segundo Rosolem e Franco (2000), as características químicas (pH, CTC, teor de matéria orgânica, cátions e ânions solúveis) e mineralógicas (tipo e teor de argila e de óxidos e hidróxidos de Al e Fe) dos solos influenciam as reações de adsorção dos nutrientes, podendo estar precipitados ou indisponíveis para as plantas na solução do solo. Considerando tais problemas, mais a dificuldade de distribuição de pequenas quantidades de micronutrientes no campo, tem-se buscado métodos alternativos para aplicação de macro e micronutrientes como a adubação foliar.

Ressalta-se também que os resíduos da agroindústria canavieira, cinzas de caldeira, torta de filtro e vinhaça, apresentam micronutrientes em sua constituição, portanto a aplicação destes resíduos da agroindústria canavieira são fontes alternativas de micronutrientes, principalmente para áreas próximas das Usinas de álcool e açúcar. Outra fonte de nutrientes que merece atenção e mais pesquisas, é a palhada remanescente da colheita mecanizada da cana crua.

A análise de solo na prática é a ferramenta mais importante para diagnóstico da deficiência de micronutrientes. Entretanto, Galvão (2002) mencionou que a recomendação de micronutrientes com base na análise química do solo está ainda muito limitada devido aos poucos estudos de calibração para esses nutrientes. Além disso, conhecer as exigências minerais da cana-de-açúcar, assim como as quantidades de nutrientes removidos pela cultura, são conhecimentos fundamentais para o estudo da adubação, indicando as quantidades a serem fornecidas (COLETI et al., 2006).

Na literatura são encontrados poucos trabalhos com micronutrientes em cana-de-açúcar e não se tem clareza das condições de resposta a micronutrientes. Daí a importância da realização de mais pesquisas sobre este assunto.

2.3. Fontes de micronutrientes

Segundo Volkweiss (1991), com a aplicação de micronutrientes, via solo, busca-se aumentar sua concentração na solução, que é onde as raízes os absorvem, e assim, proporcionar maior eficiência de utilização pelas plantas. É, portanto, necessário que as fontes de micronutrientes utilizadas se solubilizem no solo no mínimo em velocidade compatível com a absorção pelas raízes e que sejam aplicadas em posição possível de ser por elas atingidas, uma vez que os micronutrientes são geralmente pouco móveis no solo.

Assim como as raízes, as folhas das plantas têm capacidade de absorver os nutrientes depositados na forma de solução em sua superfície. Essa capacidade originou a prática da

adubação foliar, em que soluções de um ou mais nutrientes são aspergidas sobre a parte aérea das plantas, atingindo principalmente as folhas (VOLKWEISS, 1991).

Vitti et al. (2005) verificaram que as fontes de micronutrientes podem ser classificadas quanto à solubilidade e quanto à sua origem. No que diz respeito à solubilidade destas fontes, pode-se classificá-las em: a) menor solubilidade: fritas, óxidos, óxi-sulfatos e fontes boratadas (ulexita e colemanita) e b) de maior solubilidade: sulfatos, fontes quelatizadas, fontes de boro (ácido bórico, solubor, bórax) e fontes de molibdênio (molibdatos de sódio e de amônio). Os óxidos são as fontes de menor solubilidade dos micronutrientes metálicos. Por isso, geralmente custam menos do que os sulfatos por unidade de micronutriente. Os óxidos não são solúveis em água e, conseqüentemente, não são eficientes para as culturas principalmente se aplicados na forma granular, uma vez que a superfície específica é bastante reduzida neste caso. Alguns óxidos, como o CuO_2 , podem ser utilizados na forma como foram extraídos pelo processo de mineração, mas a disponibilidade para as plantas de outros óxidos, como a do MnO_2 , é tão baixa, que seu uso não é recomendado diretamente na agricultura (LOPES, 1991).

Ainda segundo Vitti et al. (2005), os sulfatos são as fontes mais comuns de sais metálicos contendo micronutrientes e apresentam propriedades físicas que os tornam adequados para misturas com outros fertilizantes. Os sulfatos de cobre, ferro, manganês e zinco são amplamente utilizados para aplicações via solo ou foliar, apesar do sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) não ser recomendado para aplicações via solo. Segundo os mesmos autores, são geralmente utilizados em adubação foliar e podem também ser empregados na formulação de adubos fluidos, sendo nestes casos, importante o estudo da sua compatibilidade com as outras fontes utilizadas. Os oxi-sulfatos são produzidos por acidulação parcial com ácido sulfúrico dos óxidos, de tal forma que o produto final contém micronutrientes, especialmente zinco e manganês, nas formas de óxido e sulfato. Os oxi-sulfatos são comercializados principalmente sob a forma granulada. A eficiência dos oxi-sulfatos granulados relaciona-se com o nível de micronutrientes solúveis em água que o produto contém. Segundo Mortvedt (2001), para o oxisulfato de zinco na forma granulada proporciona eficiência imediata às culturas, deve apresentar cerca de 35 a 50% do Zn solúvel em água.

Os óxi-sulfatos são bastante utilizados visando o fornecimento de micronutrientes via solo, uma vez que apresenta solubilidade intermediária entre os óxidos (via semente) e os sulfatos (foliar) (VITTI et al., 2005). São comercializados atualmente pelas indústrias produtoras pela sigla FTE, também chamadas “elementos traços fritados”, tradução literal do inglês “fritted trace elements”, daí a sigla FTE. Para sua obtenção, os micronutrientes são fundidos juntamente com sílica e boratos a 1.300°C . Ao sair do forno, o material é resfriado rapidamente em água

dando cristais que em seguida são moídos muito finamente. Por sua solubilidade liberam gradualmente os micronutrientes no solo de modo semelhante ao de alguns óxidos, sais e fosfatos, o que representa vantagem, porque reduz o perigo de toxidez (MALAVOLTA, 1986). Segundo Mortvedt (2001), são produtos mais apropriados para programas de manutenção do que para correção de deficiências severas e apresentam maior eficiência em solos arenosos, em regiões com maior índice pluvial.

Os quelatos sintéticos ou naturais, os complexos orgânicos naturais e as várias combinações constituem-se nas fontes orgânicas de micronutrientes. Os quelatos são formados pela combinação de um agente quelatizante com um metal através de ligações coordenadas. Podem ser sintéticos (manufaturados) ou naturais (de açúcar e outros produtos naturais). A estabilidade da ligação quelato-metal determina, geralmente, a disponibilidade do nutriente aplicado para as plantas (VITTI et al., 2005). Um quelato eficiente é aquele no qual a taxa de substituição do micronutriente quelatizado por cátions do solo é baixa, mantendo, conseqüentemente, o nutriente aplicado nesta forma de quelato por tempo suficiente para ser absorvido pelas raízes das plantas (LOPES, 1991).

A função básica da quelatização é proteger os nutrientes catiônicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+}) para que estes fiquem menos sujeitos as reações de precipitação ou de insolubilização e mantenham assim sua disponibilidade às plantas podendo ser absorvidos e translocados de forma eficiente pelas folhas ou pelas raízes das plantas. De acordo com esses mesmos autores, como os quelatos são solúveis, os nutrientes quando quelatizados formam complexos também solúveis e continuam disponíveis para as plantas. O metal e o agente quelatizante são absorvidos juntos pelas folhas das plantas sendo transportados até os demais órgãos, ficando o primeiro protegido de reações secundárias de fixação ou precipitação nos vasos condutores. Atualmente, os quelatos mais comumente utilizados são o EDTA (ácido etileno diamino tetracético), DTPA (ácido dietileno triamino pentaacético), lignossulfonados, ácido cítrico, ácido tartárico, aminoácidos, polihexoses (açúcares) e poliflavonóides. Agronomicamente um bom quelato é aquele que é solúvel em água, não é fitotóxico, é compatível com outros produtos (adubos foliares e defensivos agrícolas), que forma ligação quelato-cátion estável em relação às reações nas soluções de pulverização, e que tem o poder de acidificar a solução (VITTI et al., 2005).

A solubilidade e forma física (pó ou grânulo) das diversas fontes de micronutrientes e as condições de solo podem interagir de modo a resultar em maior ou menor efeito da adubação na correção de deficiências nutricionais. A eficiência agrônômica de uma fonte pode ser definida como sua capacidade de corrigir deficiências ou aumentar a absorção dos nutrientes pelas plantas

(MORAES et al., 2004). A capacidade de uma fonte considerada padrão depende não só da própria fonte, mas também do método de aplicação e, quando aplicada no solo, de certas características do solo, como pH e textura por exemplo (VOLKWEISS, 1991).

2.4. Zinco no solo

Segundo Vitti e Serrano (2006), a extração estimada de zinco no País, pelas 16 principais culturas é de 14.717 toneladas. A necessidade de uso de zinco na adubação é de 59.046 toneladas, considerando-se eficiência de 25% no ano da aplicação. O consumo de zinco em 2005 foi de 21.600 toneladas, portanto há um balanço negativo de 37.446 toneladas, ou seja, potencial a ser utilizado na forma de adubação mineral.

A essencialidade do zinco para as plantas foi estabelecida cientificamente por Sommer e Lipman em 1926. Em certas partes do mundo, a existência da deficiência de zinco foi reconhecida há apenas 30 anos. A deficiência de zinco tem ocorrido em uma ampla variedade de solos, agravando-se com o cultivo intensivo ao longo do tempo, em países como Austrália, Brasil, China, Colômbia, Estados Unidos da América, Índia, Peru e vários Países do Continente Asiático. No Brasil, a deficiência de zinco é a mais comum entre os micronutrientes, principalmente em solos sob cerrado e solos arenosos.

Segundo Rajj (2001), deficiências sérias de Zn têm se mostrado constantes em estados do Nordeste. De acordo com Yamada (2004), entre os micronutrientes, a deficiência de zinco é a que provoca a maior redução na produção (- 17%), e essa redução ainda é maior com a omissão de todos os micronutrientes (- 34%).

A carência deste micronutriente acarreta sérios distúrbios ao metabolismo vegetal, os quais se refletem na redução da produtividade de culturas temporárias e perenes. O zinco age como ativador de várias enzimas e componente estrutural de outras, assim como de estruturas celulares. Participa da fotossíntese nas plantas C₄, através da enzima carboxilase pirúvica. É necessário para a produção de triptofano, aminoácido precursor do AIA (ácido indolacético), hormônio vegetal promotor de crescimento e, também, está envolvido no metabolismo do nitrogênio (MARSCHNER, 1986; MENGEL; KIRKBY, 1987; FERREIRA; CRUZ, 1991). A ação fisiológica desse micronutriente é observada na síntese do triptofano, promoção da síntese do citocromo c, metabolismo de auxinas, estabilização dos ribossomos, metabolismo de fenóis, síntese de proteínas e permeabilidade da membrana (EPSTEIN, 1975). Para Borkert (1986), o zinco é considerado um elemento de grande importância na nutrição da planta, pois participa

como componente de um grande número de enzimas relacionadas ao metabolismo de carboidratos, proteínas e fosfatos, e na formação de estruturas das auxinas, RNA e ribossomos.

O Zn é considerado elemento não tóxico a aves e mamíferos, que exibem tolerância à presença de altos teores do elemento em sua dieta (MATTIAZZO-PREZOTTO, 1994). Entretanto, nos micronutrientes, como o zinco, por exemplo, a transição entre a região de deficiência e a de toxicidade é muito abrupta, ou seja, pode ocorrer toxidez nas plantas quando ocorrer excesso deste elemento. Fageria (2000) relatou excesso tóxico de zinco na parte aérea das culturas de feijão, soja e trigo, com teores de Zn maiores que 100 mg kg^{-1} de matéria seca.

A princípio quando se compara quantidade de N requerida pela planta para produzir 1t de grãos e a quantidade de Zn requerida pela mesma planta para produzir essa mesma tonelada de grãos, percebe-se que a diferença é enorme, porém se o solo não for capaz de fornecer a quantidade de zinco exigida pela cultura de pouco ou nada adiantará fornecer a planta a quantidade de nitrogênio exigido (MALAVOLTA, 1980).

O zinco é absorvido pela planta predominantemente como Zn^{2+} e tende a se acumular nas raízes, principalmente quando absorvido em grandes quantidades. A translocação para a parte aérea é pequena. A absorção de zinco é um processo ativo, posto que é consideravelmente reduzida em baixa temperatura (menos que 15°C) e por inibidores metabólicos em raiz de cevada, cana-de-açúcar e arroz (GIORDANO et al., 1974).

A absorção de zinco pelas raízes da planta pode ser prejudicada por diversos fatores, entre eles a ação adsorptiva exercida pelas argilas, principalmente em solos argilosos e intemperizados (REDDY; PERKINS, 1974).

A quantidade de zinco no solo varia entre 40 e 58 mg dm^{-3} , mas apenas uma pequena fração dessa quantidade é encontrada na solução dos solos tropicais (LAUN, 1975), devido a baixa fertilidade natural, alto grau de intemperização, elevada acidez, baixa capacidade de troca catiônica e alta saturação de alumínio (MARUBAYASHI, 1989).

De acordo com Camargo (1991) e Marschner (1995), o conhecimento dos fatores que influenciam sua movimentação, disponibilidade para as plantas, mecanismos de reação do zinco no solo e a interrelação com íons acompanhantes tornam-se necessários para a compreensão de sua dinâmica no solo e, assim, poder fazer recomendações de adubação mais adequadas para as culturas.

A adsorção de Zn varia entre solos e pode ser influenciada por diversas propriedades, tais como: pH, teor de matéria orgânica, composição mineralógica e textura (SHUMAN, 1975; McBRIDE; BLASIAK, 1979; MARTÍNEZ; MOTTO, 2000) ou pela competição entre íons pelas superfícies adsorventes (BIBAK, 1997; MESQUITA, 1998; ECHEVERRÍA et al., 1998).

Shuman (1975) e Machado e Pavan (1987) encontraram maiores valores de adsorção Zn para solos mais argilosos, independentemente dos teores de matéria orgânica.

Segundo Alloway (1990), as interações de Zn no solo dependem de parâmetros como: concentração do Zn^{+2} e outros íons na solução do solo, espécie e quantidade de sítios de adsorção associados com a fase sólida do solo, concentração de todos os ligantes capazes de formarem complexos orgânicos de Zn, pH e potencial redox do solo. A mudança de um ou mais desses parâmetros resultará em alteração do equilíbrio global e ocorrerá a transferência de Zn de uma forma para outra, até que novo equilíbrio seja atingido (OLIVEIRA, 2002).

A concentração de Zn na solução do solo é muito baixa quando comparada ao conteúdo médio total de Zn nos solos ($\sim 50 \text{ mg dm}^{-3}$). Kabata-Pendias e Pendias (2000) mencionaram que os teores de Zn na solução do solo estão normalmente entre 4 e $270 \mu\text{g L}^{-1}$, dependendo do solo e da técnica usada para a obtenção da solução. Contudo, em solos muito ácidos ($\text{pH} < 4$) foram encontradas concentrações de Zn na solução do solo de $7137 \mu\text{g L}^{-1}$ (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2000).

O Zn não mostra valência variável, ou seja, apresenta apenas o estado de oxidação II (LEE, 1991). Assim, como o Cd e Hg, o Zn tem grande afinidade por ligantes contendo S (GREENWOOD; EARNSHAW, 1989).

A solubilidade do Zn no solo é altamente dependente do pH, decrescendo cem vezes para cada aumento de uma unidade no pH (LINDSAY; NORVELL, 1978). O pH tem forte influência na adsorção do Zn, já que, junto com potencial redox, determina o equilíbrio entre as formas iônicas hidrolisadas dos metais (LINDSAY, 1979). Alloway (1990), calculando a atividade das diferentes espécies de Zn^{+2} como função do pH, observou que em $\text{pH} < 8$, o Zn^{+2} é a espécie predominante, enquanto que em valores acima desse pH prevalece o $ZnOH^+$. Em solução com valores de $\text{pH} > 9$, as espécies neutras $Zn(OH)_2^0$ predominam e as espécies $Zn(OH)_3^-$ e $Zn(OH)_4^{2-}$ nunca são as principais espécies solúveis na faixa de pH normal dos solos. Além disso, pode ser calculado que, em pH 5, a atividade de Zn^{+2} nas soluções está ao redor de $10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ ($6,5 \text{ mg L}^{-1}$), enquanto que em pH 8 esta decresce para cerca de $10^{-10} \text{ mol L}^{-1}$ ($0,007 \mu\text{g L}^{-1}$). Com a elevação do pH ocorre a diminuição das formas livres de Zn^{2+} pela complexação do Zn com o OH^- (SHUMAN, 1986). Admitindo-se que a espécie livre Zn^{2+} é a forma predominantemente absorvida, sua diminuição explica a menor absorção de Zn pelas plantas (MACHADO; PAVAN, 1987).

Hue (1995), após ampla revisão bibliográfica, verificou que o Zn, entre os metais pesados, é o que apresenta maior potencial de lixiviação. Welch e Lund (1989) e Amaral Sobrinho et al. (1998) também verificaram a movimentação do Zn em profundidade. Os

primeiros autores observaram, em colunas de solo tratadas com lodo de esgoto, que a lixiviação do metal aumentou em função do aumento da acidez do meio. Em colunas de um Podzólico Vermelho Amarelo tratadas com resíduo siderúrgico ácido, Amaral Sobrinho et al. (1998) detectaram perdas de até 52% do Zn total adicionado à camada de incorporação (0,2 m). Os autores verificaram que do total lixiviado, 50% estava na forma trocável e 25% ligado a óxidos de Fe e Mn. Segundo Horowitz e Dantas (1976), ao longo do perfil, a adsorção do Zn é função do teor e qualidade da argila. Estes autores também citam que o Zn permanece vários anos na superfície e que o movimento lateral é bastante reduzido.

A verificação de acréscimos nos teores de Zn em profundidade contrariou alguns trabalhos constantes na literatura (CHINO et al., 1992; BERTONCINI; MATTIAZZO, 1999) uma vez que, em condições de pouca ou nenhuma acidez e elevados teores de matéria orgânica, a presença do Zn em solução e outras formas facilmente lixiviáveis é bastante reduzida (WILLIAMS et al., 1987). Nestas condições, o metal pode ser facilmente coprecipitado junto aos óxidos de Fe e Al (ROSS, 1994), formar complexos pouco solúveis com a matéria orgânica (ADRIANO, 1986) ou serem fortemente retidos por processos de adsorção específica (KALBASI et al., 1978; CUNHA et al., 1994a).

O Zn pode formar complexos com cloretos, fosfatos, nitratos e sulfatos. Os complexos com os ânions $(SO_4)^{-2}$ e $(HPO_4)^{-2}$ são os mais abundantes e podem contribuir significativamente para o Zn total na solução (KIEKENS, 1990). Conforme López Gorostiaga (1972) e Malavolta (1980), na presença de $H_2PO_4^-$, pode ocorrer inibição não competitiva (antagonismo) com o Zn^{2+} , fazendo com que o aumento na concentração de um, diminua a absorção do outro. Segundo Olsen (1972), nesta situação, a deficiência do Zn decorre em razão de uma ou mais das seguintes situações: a) combinação do Zn com os íons fosfato ($H_2PO_4^-$), diminuindo a sua disponibilidade; b) redução da disponibilidade do Zn por combinação com o fosfato; c) precipitação de fosfato de Zn na superfície das raízes; d) redução na translocação do Zn das raízes para a parte aérea por causa do alto nível de fosfato nos tecidos condutores; e e) diminuição no teor de Zn da parte aérea por efeito diluição, devido ao maior crescimento em resposta à adubação fosfatada.

Com a grande utilização de fertilizantes fosfatados e sua frequência de aplicação, sem, na maioria das vezes, considerar seu efeito residual no solo. A ação depressiva de altos níveis de P no solo sobre o teor foliar de Zn em várias culturas é bastante conhecida (HALDAR; MANDAL, 1981; VIDIGAL FILHO, 1994; OLIVEIRA et al., 1999), existindo evidências claras de que aplicações excessivas de P no solo podem induzir a deficiência de Zn nos tecidos das plantas.

Conforme Oliveira (2002), o Zn também pode estar presente na solução do solo como espécies orgânicas. O Zn solúvel total apresenta, deste modo, frações de Zn orgânico e

inorgânico. De acordo com Hodgson et al. (1966), o Zn na fração inorgânica pode ser estimado pela extração do solo, na presença ou ausência de carvão, o qual absorve complexos orgânicos de Zn.

Para Shuman (1975), solos com elevados conteúdos de matéria orgânica e argila possuem maior capacidade de adsorção e maior energia de ligação para adsorção de Zn, que os arenosos com pouca matéria orgânica e argila. Além disso, solos com teores elevados de argila e matéria orgânica, por apresentarem maior CTC, possuem maior capacidade de retenção de metais catiônicos que solos mais arenosos e com teores menores de matéria orgânica (SHUMAN, 1985; CUNHA et al., 1994b; MATOS et al., 1996; AMARAL et al., 1996). A matéria orgânica, embora represente, em geral, menos de 5% dos componentes sólidos, é responsável por, aproximadamente, 30% a 65% da CTC dos solos minerais e mais de 50% da CTC dos solos arenosos e orgânicos, daí sua importância na retenção de metais no solo.

A adsorção de Zn pelos solos e seus constituintes tem sido extensivamente estudada. Argilas e matéria orgânica podem adsorver Zn fortemente e, aparentemente, dois mecanismos de adsorção de Zn ocorrem: um, em condições ácidas, relacionado a sítios de troca catiônica e outro, em condições alcalinas, que é considerado quimiossorção, sendo esta altamente afetada pelos ligantes orgânicos (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2000).

As substâncias húmicas contêm um número relativamente grande de grupos funcionais -OH, -COOH, -SH e -CO, havendo grande afinidade para íons metálicos, como o Zn^{2+} . Muitos autores, estudando as interações entre substâncias húmicas e Zn, revelaram que os ácidos fúlvicos apresentam seletividade junto ao íon metálico, o que pode ser comprovado pelas constantes de estabilidade dos complexos e quelatos de ácido fúlvico e metal. Em solos extremamente lixiviados, os ácidos húmicos podem peptizar o Zn e moverem-se para cima ou para baixo no perfil dependendo do regime hídrico prevalecente (OLIVEIRA, 2002).

Ainda segundo Oliveira (2002), compostos orgânicos simples, como aminoácidos, são efetivos complexantes ou agentes quelantes para Zn, o que aumenta a solubilidade e mobilidade desse metal nos solos. Este autor não tem dúvida, de que a matéria orgânica do solo é um importante fator que afeta o comportamento do Zn nos solos. A fração ácido fúlvico e ácidos orgânicos de baixo peso molecular formam, principalmente, complexos solúveis e quelatos com Zn, aumentando sua mobilidade. Devido à sua natureza coloidal, os humatos de Zn podem ser considerados como um “reservatório” orgânico de armazenamento para o Zn (OLIVEIRA, 2002), por isso é importante conhecer os acúmulos deste nutriente na palhada e torta de filtro.

Por outro lado, Pulford (1986), Cunha et al. (1994a) e Nascimento et al. (2002), verificaram que as baixas correlações obtidas entre os parâmetros de adsorção de Zn com a CTC

evidenciam a limitada importância da troca iônica na retenção de Zn nos solos estudados. E que, em geral, as correlações obtidas entre os parâmetros de adsorção de Zn indicam que os teores de argila dos solos estudados é o fator determinante mais importante para o Zn.

Segundo Kabata-Pendias e Pendias (2000), a faixa comum de Zn nos solos é 10–300 mg kg⁻¹, sendo o valor médio 50 mg kg⁻¹. Entretanto, estima-se que o conteúdo normal varie, sendo os menores teores os apresentados por solos derivados de granitos e gnaisses e os maiores os apresentados por solos derivados de rochas sedimentares (KIEKENS, 1990).

2.5. Zinco na planta

A absorção de micronutrientes pela cana-de-açúcar é influenciada por diversos fatores, destacando-se a idade da planta, o tipo de solo e a variedade considerada. As curvas de absorção de micronutrientes permitem a definição das épocas em que as demandas são maiores. De maneira geral, em termos de exportação pelos colmos tem-se que: Fe > Mn > Zn > Cu > B > Mo (ORLANDO FILHO et al., 2001). Contudo, são quantidades relativamente baixas quando comparadas à extração de macronutrientes, mas de fundamental importância ao desenvolvimento da cultura (ORLANDO FILHO, 1993).

De modo geral, pode-se verificar que o conteúdo de Zn em plantas é considerado deficiente quando for <10–20 mg kg⁻¹. Teores normais ocorrem entre 25–150 mg kg⁻¹ e níveis tóxicos ocorrem quando a concentração é >400 mg Zn kg⁻¹ (MATTIAZZO-PREZOTTO, 1994). Para cultura da cana-de-açúcar são considerados adequados teores foliares de 10 a 50 mg kg⁻¹ de Zn de massa seca (RAIJ et al., 1997). Em relação aos teores críticos de zinco nos tecidos foliares da cana-de-açúcar, e em função do país produtor, parte da planta analisada e épocas de amostragem, os mesmos variam de 10-18 mg kg⁻¹ (ORLANDO FILHO, 2002).

De acordo com Epstein (1975) o zinco é exigido para a manutenção desta auxina em um estado ativo e não para sua síntese, sendo seu principal efeito no crescimento vegetal. Por sua vez, Dechen et al. (1991) relataram que a maior absorção de Zn no início da cultura do milho deve-se a esse elemento fazer parte de sistemas enzimáticos, regulando o metabolismo de carboidratos, fosfatos e proteínas além da formação de auxinas, RNA e ribossomos, fatores essenciais na regulação do crescimento da planta.

Devido a pouca mobilidade, os sintomas de deficiência de Zn nas plantas se manifestam nas folhas e outras partes mais novas das plantas (FAQUIN, 1997). Além da diminuição em Zn,

as plantas deficientes mostram menores teores de N e S (ROSOLEM; FERRARI, 1998), devido a participação do Zn na redução do nitrato e na síntese protéica (RNA).

Em cana-de-açúcar, as mudas provenientes e plantadas em solos deficientes em zinco, ao brotarem dão origem a plantas com pequeno alongamento do palmito, com tendência das folhas saírem todas do vértice foliar na mesma altura, formando o sintoma de “leque”. Nos casos graves, as plantas deficientes são visivelmente menores do que aquelas sem deficiência, e as folhas mais velhas apresentam manchas vermelhas na parte inferior e podem mostrar início de clorose internerval em associação com essas manchas vermelhas (TOKESHI, 1991).

Em plantas de cana-de-açúcar com mais de seis meses de idade observa-se ligeiro encurtamento nos entrenós, clorose internerval e amarelecimento mais acentuado da margem para a nervura central, quando junto a ela normalmente a lâmina se mantém verde. Nos níveis de deficiência “oculta” é freqüente o aparecimento de um ataque elevado da doença estria parda, causado pelo fungo *Helminthosporium stenospilum*. Pode-se observar redução do crescimento dos internódios e paralisação do crescimento do topo. Formam-se estrias cloróticas na lâmina foliar, convalescendo e formando uma faixa larga de tecido clorótico de cada lado da nervura central, mas não se estendendo à margem da folha, exceto em casos severos de deficiência (TOKESHI, 1991).

Sintomas de deficiência de Zn e de Cu têm sido relatados em diversas culturas, em várias regiões do Brasil (MACHADO; PAVAN, 1987; LOPES; ABREU, 2000). Em Latossolos, essas deficiências podem ser atribuídas à pequena reserva natural desses micronutrientes e às suas baixas disponibilidades, os quais se encontram, predominantemente, nas formas oxídicas e residuais, não-disponíveis às plantas (NASCIMENTO, 2001).

No Brasil, a deficiência de Zn em cana-de-açúcar aparece com freqüência em solos de “Tabuleiros” na região Nordeste, assim como nas regiões de vegetação de cerrado (ORLANDO FILHO, et al., 2001). Ainda segundo estes autores, na região Centro-sul do país, com a expansão da cultura para solos de menor fertilidade tem sido observada resposta da cana-de-açúcar à adição de Zn.

A toxicidade de Zn manifesta-se pela diminuição da área foliar, seguida de clorose, podendo aparecer na planta toda um pigmento pardo-avermelhado, talvez um fenol. Além disso faz diminuir absorção de K (PRADO, 2008). No xilema de algumas plantas intoxicadas por Zn acumulam-se tampões “plugs”, contendo o elemento, os quais dificultam a ascensão da seiva bruta (MALAVOLTA et al., 1997). Entretanto, é importante destacar que não é comum encontrar toxicidade de Zn na cana-de-açúcar nas principais regiões canavieiras.

A cultura de cana-de-açúcar é grande extratora de nutrientes do solo. Considerando-se colmo + folhas + palmito, a quantidade de nutrientes extraída por uma tonelada de cana é de: 1,20 kg de N; 0,36 kg de P_2O_5 ; 1,48 kg de K_2O ; 1,12 kg de CaO; 0,68 kg de MgO e 0,36 kg de S (MALAVOLTA et al., 1997). Desta forma, as exigências minerais da cana-de-açúcar, assim como as quantidades de nutrientes removidas pela cultura são conhecimentos fundamentais para o estudo da adubação, indicando as quantidades de nutrientes a serem fornecidas (COLETI et al., 2006). Contudo, ressalta-se que podem existir variações nos teores foliares e na extração de nutrientes, de acordo com a variedade de cana-de-açúcar, se cana-planta ou cana-soca, idade de corte, categoria de corte, a parte da folha coletada, época de amostragem, etc.

2.6. Modos de aplicação e efeito residual da adubação com zinco

A aplicação de zinco via solo é a mais utilizada e vem sendo adotada pela maioria dos agricultores em áreas deficientes deste micronutriente. No entanto, a aplicação de zinco via foliar é uma alternativa ainda pouco estudada para cultura da cana-de-açúcar.

Tendo em vista que as doses de zinco requeridas pelas culturas são pequenas (FURLANI; FURLANI, 1996), existem dificuldades em se distribuir uniformemente os adubos na aplicação via solo (RIBEIRO; SANTOS, 1996), e assim, tem-se como alternativa a aplicação foliar, entretanto, as pulverizações têm a desvantagem da baixa mobilidade do zinco no floema (LONGNECKER; ROBSON, 1993).

De acordo com Swietlik (2002), um pré-requisito essencial para respostas das plantas à aplicação foliar de zinco parece ser a presença de sintomas de deficiência como observado pelo autor em macieiras, citrus e videiras. Contudo em folhas de laranjeiras, Boaretto et al. (2003) observaram que a translocação do zinco é nula até cinco dias após aplicação e aos 30 dias 84% permaneciam nas folhas que receberam a aplicação, enquanto que, 8% foi translocado para as partes novas.

A aplicação de zinco via foliar aumentou a altura de plantas de milho. Isso ocorreu porque o zinco atua na formação de triptofano, que é precursor do ácido indolacético, fitohormônio promotor do crescimento (MALAVOLTA et al., 1997; FERREIRA et al., 2001; EPSTEIN; BLOOM, 2006). Em outro trabalho, com a aplicação de zinco via foliar, verificou-se que o diâmetro do colmo de plantas de milho foi aumentado significativamente, isso pode ter ocorrido porque em plantas carentes em zinco a divisão celular é prejudicada em função da diminuição da síntese protéica (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Kurtz et al. (2007), avaliando o efeito da adição de Zn aplicado no solo ou por meio de pulverizações foliares, no rendimento e na qualidade de bulbos de cebola, com doses variando de 0 a 4 kg ha⁻¹ de Zn aplicadas no solo, além da pulverização foliar com sulfato de zinco 0,5%, verificaram que a adição de Zn ao solo aumentou o rendimento de bulbos, porém o mesmo não ocorreu com as pulverizações foliares desse nutriente, e que a máxima produtividade foi obtida com a aplicação de 2 kg ha⁻¹ de Zn, a qual aumentou o rendimento de 19,5 t ha⁻¹, na testemunha, para 22,4 t ha⁻¹, representando um incremento de 14,5%. Entretanto, Quaggio et al. (2003), avaliando a eficiência da aplicação complementar de B e Zn no solo em comparação com a aplicação via foliar e visando estabelecer curvas de calibração de análises de solo e de folhas com a produtividade da laranjeira Pêra, verificaram que a aplicação via foliar de Zn na laranjeira Pêra é mais eficiente do que a aplicação no solo.

Romualdo et al. (2007), avaliando os efeitos dos métodos de aplicação de zinco (no solo incorporado e, localizado; foliar; e nas sementes, além da testemunha) no estado nutricional e no crescimento inicial da cultura do milho, verificaram que a aplicação de zinco promoveu incremento na altura e na produção de matéria seca do milho; e que a aplicação de zinco via solo (incorporado e localizado), foliar e semente foram semelhantes no desenvolvimento inicial da cultura, entretanto, a via foliar promoveu maior absorção do nutriente pela planta. Também Furlani e Furlani (2005) observaram efeito significativo do Zn nas variáveis de crescimento altura e matéria seca da planta de milho. Assim, este efeito da aplicação de Zn no solo no incremento da produção de matéria seca do milho têm sido amplamente relatado na literatura (GALRÃO; MESQUITA FILHO, 1981; COUTINHO et al., 1992).

Estudando os efeitos residuais de doses de zinco em solos do cerrado, Ritchey et al. (1986) observaram que 3 kg ha⁻¹ de Zn foram suficientes para manter a produção de milho próxima da máxima por, pelo menos, quatro safras consecutivas. Em um segundo experimento com doses de Zn e calcário, eles observaram que o aumento no pH diminuiu a produção de milho. Enquanto que Galrão (1994) constatou que o modo de aplicação de Zn incorporado ao solo (a lanço) teve efeito superior no primeiro cultivo; no segundo cultivo as aplicações tanto no solo, como nas folhas ou sementes proporcionaram os mesmos efeitos na produção da cultura. Sakal et al. (1983) verificaram que aplicações foliares de zinco foram semelhantes às aplicações no solo, seja a lanço ou localizado no sulco de semeadura.

O principal problema prático de aplicação de micronutrientes está na dificuldade para distribuição uniforme de pequenas quantidades, geralmente de poucos kg ha⁻¹, quando usadas fontes simples, fritas e quelatos. Na aplicação em linha, não é recomendável usar fontes em pó e as pequenas doses de sais ou quelatos são de difícil distribuição pela dificuldade de regulação

das distribuidoras de fertilizantes. Assim, pode-se deduzir que para aplicação no solo é mais prático o uso de fórmulas NPK contendo micronutrientes, facilitando a aplicação uniforme na lavoura (BISSANI; GIANELLO, 2003).

2.7. Efeito da adubação com zinco na cultura da cana-de-açúcar

Historicamente no setor sucroalcooleiro pouca atenção foi dada à resposta da cultura da cana-de-açúcar a aplicação de micronutrientes. Por isso, esta é uma prática recente e pouco difundida entre as companhias agrícolas produtoras de cana-de-açúcar (FRANCO et al., 2009). Portanto há necessidade de mais pesquisas sobre o assunto, a fim de elucidar a resposta desta cultura aos micronutrientes.

Além disso, a alta necessidade em nutrientes da cultura da cana-de-açúcar, decorrente da elevada produção de biomassa por área e da remoção de grande parte dessa massa vegetal no processo da colheita, tem levado a uma revisão periódica das adubações, principalmente à medida que se reduz a fertilidade natural dos solos ou que se impõe a necessidade do aproveitamento de áreas de baixa fertilidade natural. É neste contexto que se insere a adubação com zinco na cultura da cana-de-açúcar.

Alvarez et al. (1979), avaliando em vinte e três experimentos instalados nas mais diversas condições de clima e solo do Estado de São Paulo, não verificaram efeito do zinco na produção da cana-de-açúcar. Resultados semelhantes foram obtidos em trabalhos mais antigos, como o de Alvarez e Wutke (1963) e de Casagrande (1971), que não constataram incrementos na produtividade da cana-de-açúcar em função da aplicação de Zn. Entretanto, Cambria et al. (1989), trabalhando em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média com baixos teores iniciais de Zn no solo (0,4 e 0,3 mg dm⁻³, respectivamente, nas profundidades de 0-0,25 e 0,25-0,50 m), usando doses de 0, 5, 10, 20 e 25 kg ha⁻¹ de Zn, com aplicação via solo e sob a forma de sulfato de zinco, verificaram que houve um aumento na produção de colmos até a dose de 10 kg ha⁻¹ de Zn e que o perfilhamento da cana-planta foi influenciado negativamente quando as doses foram superiores a 15 kg ha⁻¹ de Zn. Por sua vez, Costa Filho e Prado (2008) avaliando a aplicação via solo de doses de zinco (0, 5, 10 e 15 kg ha⁻¹), na forma de sulfato de zinco, na 3ª soca de cana-de-açúcar cultivada num Latossolo Vermelho-Amarelo, não constataram efeito significativo na altura e produtividade de colmos da cultura, porém constataram incrementos nos teores foliares de zinco.

Franco et al. (2009), trabalhando com doses de Zn (0, 3 e 6 kg ha⁻¹) aplicadas ao solo cerca de 20 cm das plantas, na forma de sulfato de zinco dissolvido em água (200 L ha⁻¹) e 90 dias após o plantio da cultura, também não observaram aumento na produção de fitomassa e produtividade de colmos de cana-de-açúcar variedade SP813250, mas verificaram aumento significativo nas porcentagens de Brix e POL da cana e na quantidade de ATR da cana-planta, em relação a testemunha, resultando em maior rendimento de açúcar por área, com margem de contribuição da ordem de R\$ 500,00 por hectare com a aplicação de 3 kg ha⁻¹ de Zn.

Aumentos significativos na produtividade de colmos de cana-de-açúcar em resposta adubação com Zn foram encontrados por Juang et al. (1979) e por Rahman et al. (1992), sendo que estes últimos pesquisadores observaram aumentos de 8,7% na produtividade de colmos da cultura, devido a aplicação com Zn em experimento desenvolvido em solo de origem calcária (pH = 7,3) em Bangladesh, país situado no sul do continente asiático. Marinho e Albuquerque (1981) também verificaram efeito significativo da aplicação de Zn na produtividade da cana-de-açúcar, POL da cana e pureza do caldo, em sete experimentos conduzidos em solos de tabuleiro em Alagoas, quando os teores deste micronutriente no solo estavam inferiores a 5 mg dm⁻³.

Wang et al. (2005), averiguando a resposta da cana-de-açúcar (cana-planta) à aplicação de sulfato de zinco no solo (0; 4,4; 8,9; 17,9 e 33,8 kg ha⁻¹ de Zn) e de uma aplicação foliar (1,3 kg ha⁻¹ de Zn), no estado da Lousiana, Estados Unidos da América, constataram incremento nas produtividades de açúcar e da cana-de-açúcar da variedade LCP85384, com aumento médio de 23% em relação a testemunha, em um solo ácido e outro de origem calcária, com baixos teores de Zn. Com relação a adubação foliar com sulfato de zinco, estes autores encontraram resposta positiva na produtividade de colmos da cultura apenas no solo de origem calcária.

Azeredo e Bolsanello (1981), pesquisando a aplicação de sulfato de zinco (8,75 ha⁻¹ de Zn) no sulco de plantio da cana-de-açúcar ou via foliar (1% de Zn em solução, aplicados ao 90 dias após o plantio), em oito experimentos desenvolvidos em quatro locais e cultivados na presença e ausência de calagem, não constataram nenhuma resposta pela cana-planta (variedade CB453) a adição de Zn tanto na produtividade de colmos como nos parâmetros tecnológicos. Andrade et al. (1995), trabalhando com a aplicação de fritas e de fontes solúveis de boro, cobre e zinco (sulfato de Zn), via solo, no sulco de plantio da variedade SP701143, cultivado em Latossolo Vermelho distrófico de textura média com baixo teor de Zn (0,3 mg dm⁻³), verificaram que tanto a aplicação conjunta (fritas) como a aplicação isolada de micronutrientes, não resultou em aumento dos teores foliares de Zn, nos parâmetros tecnológicos e na produtividade de colmos. Além disso, também não foi constatado efeito residual desta adubação na 1ª cana-soca.

Entretanto, Korndörfer et al. (1995), estudando o efeito das doses 0, 30, 50 e 70 kg ha⁻¹ de fritas contendo B, Cu, Fe, Mn e Zn, na produção e qualidade tecnológica da cana-planta e cana-soca de 3 variedades de cana-de-açúcar, cultivadas em um Neossolo Quartzarenico de baixa fertilidade, verificaram efeito positivo do uso de micronutrientes sobre a produção de cana-de-açúcar em duas das três variedades testadas, com excelente retorno econômico. Porém, a qualidade tecnológica da cana (pureza do caldo, brix da cana, POL da cana e sacarose) não foi afetada pela aplicação de micronutrientes no solo.

Farias et al. (2008) avaliando a eficiência do uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e doses de zinco (0, 1, 2, 3 e 4 kg ha⁻¹), em um solo com baixo teor de Zn do litoral paraibano, observaram aumento quadrático da produtividade de colmos, estimando-se em 2,38 kg ha⁻¹ a dose de Zn que maximizou a eficiência do uso da água pela cultura.

Com base no exposto, verifica-se que a maioria das pesquisas de adubação com zinco na cultura da cana-de-açúcar são antigas e foram realizadas apenas com o sulfato de zinco. Portanto, há necessidade de mais estudos sobre o tema, visto que, sempre estão surgindo novas variedades de cana-de-açúcar, as quais podem ser mais responsivas a esta adubação. Além disso, há necessidade de se averiguar qual fonte de Zn seria a mais eficiente nesta adubação, além do método de aplicação mais eficaz, tanto em cana-planta quanto em cana-soca.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e características do local

O experimento foi implantado no dia 17 de março de 2008, no sítio Fujimoto, área agrícola administrado pela Usina Vale do Paraná Açúcar e Álcool, localizado no município de Suzanápolis situado no Noroeste do estado de São Paulo, com coordenadas geográficas de 50° 58' de longitude Oeste e 20° 32' de latitude Sul e altitude de 345 m.

O solo foi classificado como Argissolo Vermelho eutrófico de textura arenosa, de acordo com a classificação da Embrapa (2006), com valores de granulometria na profundidade de 0,0-0,20 m de 820, 56 e 124 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente. Na profundidade de 0,20-0,40 m, os valores granulométricos foram 813, 54 e 133 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente.

Os resultados da análise química do solo da área experimental foram determinados antes da instalação do experimento, segundo metodologia proposta por Raij et al. (2001) e encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados da análise química do solo da área experimental. Suzanápolis-SP, 2007.

Profundidade (m)	P (resina)	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	-----mmolc dm ⁻³ -----						%
0,0-0,25	3	24	4,9	3,0	10,0	8,0	20,0	21,4	41,4	52
0,25-0,50	2	12	4,6	0,3	9,0	4,0	21,0	13,3	34,3	39
Profundidade (m)	Cu*	Fe*	Mn*	Zn*	B**					
	-----mg dm ⁻³ -----									
0,0-0,25	0,8	39,0	4,8	0,4	0,61					
0,25-0,50	0,9	12,0	2,5	0,1	0,50					

*Determinado em DTPA; **Água quente. Análise química realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo UNESP/FE.

A classificação climática da região de acordo com Köppen é Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Os valores de precipitação pluvial

(mm), umidade relativa do ar (%) e temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) máxima, média e mínima da área de cultivo durante a condução do experimento com cana-planta (safra 2008/2009) e com cana-soca (safra 2009/2010) constam na Figura 1. Verifica-se que houve maior precipitação pluvial durante o ciclo da 1ª cana-soca de julho de 2009 a janeiro de 2010 (Figura 1B), quando comparado ao mesmo período do ciclo da cana-planta (Figura 1A). Ressalta-se também que na fase inicial de desenvolvimento da 1ª cana-soca (agosto e setembro de 2009) foram registradas precipitações pluviais acima da média para a Região Noroeste paulista (Figura 1B).

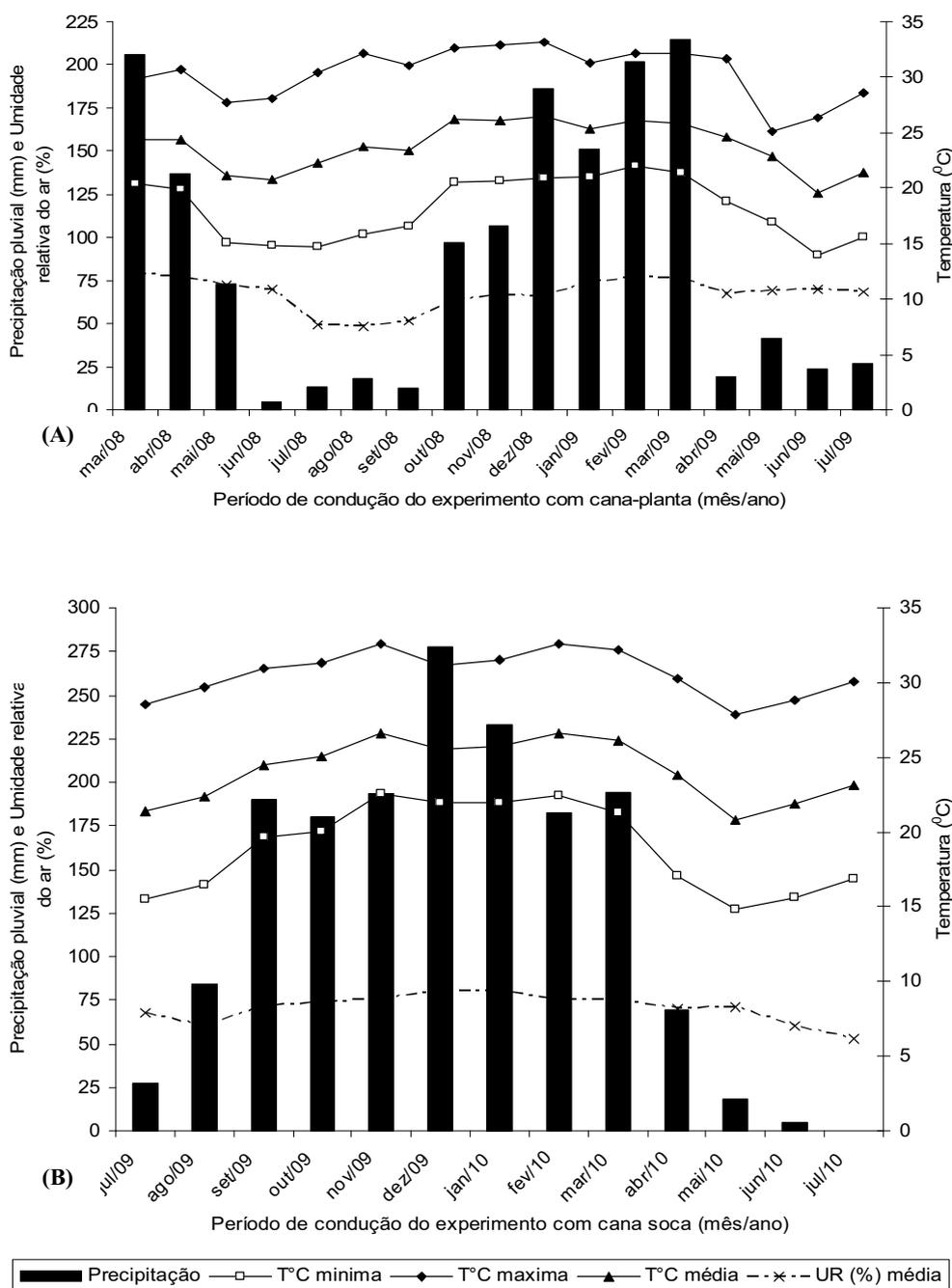


Figura 1. Precipitação pluvial (mm) mensal, umidade relativa do ar (%) mensal, temperaturas ($^{\circ}$ C) máxima, média e mínima mensais durante a condução do experimento com cana-planta (A) na safra 2008/2009 e com cana-soca (B) na safra 2009/2010, em Suzanápolis – SP.

*Valores médios obtidos das estações agrometeorológicas de Ilha Solteira-SP e Marinópolis-SP, ambas estações da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Ilha Solteira-SP.

3.2. Delineamento experimental e tratamentos utilizados

O delineamento estatístico utilizado tanto em cana-planta como na 1ª cana-soca foi o de blocos ao acaso, em um esquema fatorial ($5 \times 3 + 2$), com cinco doses de zinco (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 kg ha⁻¹) e três fontes de zinco (FTE (silicato de Zn em pó) com 15% de Zn e 3,9% de S, quelato (Zn quelatizado EDTA) com 7% de Zn e sulfato com 21% de Zn e 11% de S) aplicadas via solo no sulco de plantio da cana-de-açúcar, mais dois tratamentos adicionais com pulverização foliar em dose fixa (0,3 kg ha⁻¹ de Zn), aplicadas na cana-planta e 1ª cana-soca, usando as duas fontes solúveis (sulfato e quelato de Zn), com quatro repetições. Os tratamentos foram estabelecidos considerando a indicação de 5 kg ha⁻¹ de Zn (SPIRONELLO et al., 1997).

As parcelas foram constituídas por 4 linhas de 5 m de comprimento e espaçadas por 1,5 m, sendo as avaliações da cultura realizadas nas 2 linhas centrais da parcela.

A aplicação das doses e fontes de zinco via solo e foliar foram realizadas, respectivamente, no dia do plantio antes da colocação dos toletes de cana-de-açúcar e aos 60 dias após o plantio. Na adubação foliar aplicou-se uma dose fixa (0,3 kg ha⁻¹ de Zn) para as fontes de zinco solúveis quelato (7 % de Zn) e sulfato (21% de Zn), com auxílio de uma bomba costal. Utilizou-se também na calda de pulverização 0,2% do espalhante adesivo nonilfenol.

No cultivo da cana-soca, quando as plantas estavam em fase de desenvolvimento vegetativo (114 dias após a colheita da cana-planta) foram aplicados novamente os dois tratamentos adicionais (quelato e sulfato de zinco) com pulverização foliar em dose fixa (0,3 kg ha⁻¹ de Zn), conforme foi aplicado em cana-planta. Vale destacar que não houve precipitação pluvial após a adubação foliar com Zn, em ambos os cultivos.

3.3. Características da variedade de cana-de-açúcar

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB867515, que apresenta ciclo tardio e é uma das variedades mais plantada no Estado de São Paulo. Esta variedade destaca-se por ser tolerante à seca, apresentar boa brotação de soqueira, mesmo colhida crua; porte alto, crescimento rápido com alta produtividade e alto teor de sacarose (HOFFMANN, 2008). Além disso, a RB867515 tem perfilhamento médio, florescimento eventual e pouco chochamento, médio teor de fibra e maturação média/tardia. Apresenta resistência ao mosaico, escaldadura-das-folhas, carvão, ferrugem, podridão vermelha e broca, reação intermediária de estrias vermelhas e falsas estrias vermelhas (PROGRAMA, 2008).

Recomenda-se o plantio desta variedade de cana-de-açúcar em solos de média/baixa fertilidade. Além disso, ressalta-se que a RB867515 tem se adaptado muito bem aos solos arenosos do estado de São Paulo e Paraná, onde favorece sua maturação e reduz os problemas oriundos do florescimento e chochamento que ocorrem em menor intensidade (UDOP, 2009).

3.4. Instalação e condução do experimento

Os tratamentos foram instalados em local onde antes havia pastagem de capim-braquiária, há pelo menos uma década. Primeiramente foi realizada a dessecação da pastagem com glifosate ($1,44 \text{ kg do i.a. ha}^{-1}$). O preparo do solo foi realizado com uma aração profunda, seguida de gradagem intermediária para incorporação do calcário ($0,20 \text{ m}$ de profundidade) e de gradagem leve com aplicação do herbicida trifluralina (2 L ha^{-1}). Posteriormente, foi efetuada a sulcação do solo a $0,40 \text{ m}$ de profundidade e a aplicação do inseticida fipronil ($200 \text{ g do i.a. ha}^{-1}$) no sulco de plantio. O sistema de plantio adotado foi manual (convencional), em que os colmos foram distribuídos e seccionados dentro dos sulcos de plantio, sendo colocados seis toletes com três gemas cada por metro de sulco.

O solo da área experimental recebeu 30 dias antes do plantio da cultura, a aplicação de 2 t ha^{-1} de calcário ($302,3 \text{ g CaO kg}^{-1}$, $108,4 \text{ g MgO kg}^{-1}$ e 75% de PRNT) visando obter 60% de saturação por bases, conforme recomendado por Raij et al. (1997) para cultura da cana-de-açúcar. Na adubação de plantio aplicou-se 30 kg ha^{-1} de N (uréia), 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 (super fosfato simples) e 120 kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio), igualmente para todos os tratamentos, baseada na análise do solo, e conforme a adubação utilizada pela própria usina. No dia 16 de outubro de 2009, foi realizada a adubação da 1ª soca da cana-de-açúcar nas entre linhas da cultura, sendo aplicados e incorporados ao solo 80 kg ha^{-1} de N (uréia) e 60 kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio), conforme a adubação utilizada pela própria usina na mesma área arrendada.

O controle de plantas daninhas foi realizado em ambos cultivos com a aplicação dos herbicidas diuron + hexazinone ($702 + 264 \text{ g do i.a. ha}^{-1}$), em pós-emergência da cultura, sendo realizado 45 dias após o plantio da cana-planta e aos 55 dias após a colheita da cana-planta. Entretanto, ressalta-se que não houve a necessidade do controle de doenças e pragas da cultura.

A coleta das folhas +1 da cana-de-açúcar para análise do teor de nutrientes foliar foi efetuada em 15 plantas por parcela, nos períodos da manhã do dia 01 de dezembro de 2008 para cana-planta (259 dias após o plantio da cana-de-açúcar) e 21 de janeiro de 2010 (197 dias após o

colheita da cana-planta) para 1ª cana-soca, na fase de maior desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, em ambos os cortes.

No experimento não foi constatado florescimento da cana-de-açúcar, em ambos os cultivos. A colheita da cana-planta (488 dias de ciclo) e da 1ª cana-soca (363 dias de ciclo) foi realizada manualmente e individualmente por unidade experimental, nos dias 08 de julho de 2009 e 07 de julho de 2010, respectivamente. Em seguida, o canavial foi colhido mecanicamente sem a queima prévia da cultura.

3.5. Avaliações realizadas em cana-planta e cana-soca

3.5.1. Características biométricas

Foram realizadas as seguintes avaliações:

a) número de perfilhos por metro, o qual foi obtido contando-se a quantidade de perfilhos em 5 m de sulco. Ao longo do ciclo da cana-planta foram feitas 6 contagens de perfilhos por metro (aos 64, 131, 208, 275, 327 e 388 dias após o plantio da cana-de-açúcar). Enquanto, ao longo do ciclo da 1ª cana-soca realizaram-se 5 contagens de perfilhos por metro (aos 80, 150, 212 e 262 dias após o corte da cana-planta);

b) índice de clorofila foliar, determinado indiretamente no terço médio da folha +1, entre a nervura central e a borda do limbo foliar, em cinco plantas por parcela por meio de leituras realizadas com auxílio de um clorofilômetro digital CFL 1030 Falker (Falker Automação Agrícola, Porto Alegre, Brasil), no período da manhã. Ao longo do ciclo da cana-planta foram feitas 6 leituras de clorofila foliar (aos 64, 131, 208, 275, 327 e 388 dias após o plantio da cana-de-açúcar). Já, ao longo do ciclo da 1ª cana-soca realizou-se 4 leituras de clorofila foliar (80, 150, 212 e 262 dias após o corte da cana-planta);

c) altura de colmo, foi medida em 5 colmos por parcela na ocasião da colheita, com o auxílio de régua graduada do nível do solo até a primeiro colarinho visível, classificada como folha +1;

d) número de colmos industrializáveis por metro, obtida por meio da contagem dos colmos industrializáveis para usina, em 5 m de linha da cultura por parcela;

e) diâmetro do colmo, determinado por meio de um paquímetro através da média dos diâmetros da base, meio e ponta de 3 colmos industrializáveis;

f) número de internódios por metro de colmo, foi avaliado em 3 colmos industrializáveis, pela contagem do número de internódios presentes em um metro do terço médio do colmo;

g) produtividade de colmos (TCH), obtida após a colheita de 10 colmos representativos por parcela, sendo colhidos 5 colmos consecutivos em cada uma das duas linhas centrais, excluindo-se 1 m das extremidades da linha. Esta avaliação foi efetuada com base na massa média dos 10 colmos e no número de colmos industrializáveis por parcela, após quantificados, os dados foram transformados em $t\ ha^{-1}$.

h) massa da matéria seca de colmo, obtida com base na massa verde de 7 colmos industrializáveis, os quais foram triturados, sendo em seguida retirada uma amostra de cerca de 400 g que foi levada para secar em estufa com circulação de ar forçada, com temperatura de 65 °C, por cerca de 72 horas, após quantificados, os dados foram transformados em $t\ ha^{-1}$, com base no número de colmos industrializáveis por hectare.

i) massa da matéria seca de palhada (ponteiro + folhas), determinada com base nas folhas verdes, secas e ponteiro presentes em 7 colmos industrializáveis que foram acondicionados em saco de papel e levados para secar em estufa com circulação de ar forçada, com temperatura de 65 °C, por cerca de 72 horas, após quantificados, os dados foram transformados em $t\ ha^{-1}$, com base no número de colmos industrializáveis por hectare.

3.5.2. Teores de nutrientes foliar, no colmo e na palhada (ponteiro + folhas)

Foram coletadas na fase de maior desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em 15 plantas por parcela o terço médio de 15 folhas +1 (folha mais alta com colarinho visível -“TVP”), excluindo-se a nervura central, segundo a metodologia descrita por Raij et al. (1997), da área útil de cada parcela e posteriormente foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificadas e levadas ao laboratório, onde foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura média de 65°C, por cerca de 72 horas. Após a secagem, as folhas coletadas foram moídas em moinho tipo Wiley, em seguida foram efetuadas as digestões das amostras (sulfúrica para N; nitroperclórica para P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn; e incineração para B), para determinação dos teores de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) foliar, conforme descrito em Malavolta et al. (1997).

Na ocasião da colheita da cana-de-açúcar foram colhidas 7 plantas representativas por parcela, sendo em seguida, separado o colmo da palhada (ponteiro + folhas), após a identificação a palhada foi acondicionada em saco de papel e levada para secar em estufa com circulação de ar

forçada, com temperatura média de 65°C, por cerca de 72 horas. O mesmo ocorreu com os colmos após serem triturados. Em seguida, após a secagem destes materiais amostrados foi feita a moagem em moinho tipo Wiley, para realização das digestões das amostras (sulfúrica para N; nitroperclórica para P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn; e incineração para B), e posterior determinação dos teores de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no colmo e palhada da cultura, conforme descrito em Malavolta et al. (1997).

3.5.3. Acúmulo de nutrientes nos colmos e palhada (ponteiro + folhas)

Os resultados destas avaliações foram determinados com base no número de colmos industrializáveis por hectare de cada tratamento e após a determinação dos teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) no colmo e na palhada (folhas + ponteiro) da cana-de-açúcar, conforme descrito em Malavolta et al. (1997). Após os cálculos, as quantidades de nutrientes acumulados no colmo e na palhada foram expressos em kg ha⁻¹.

3.5.4. Indicadores de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

No momento da colheita da cultura foram separados 3 colmos industrializáveis por parcela, em seguida, estas amostras foram devidamente identificadas e posteriormente, levadas ao laboratório da Destilaria Vale do Paraná Açúcar e Álcool para a realização das análises de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, conforme o Conselho dos Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (CONSECANA-SP, 2006).

As análises realizadas na cana-planta e 1ª cana-soca foram: pureza do caldo da cana (%), POL da cana (%), POL do caldo (%), fibra da cana (%), brix da cana (%), açúcares redutores (AR) do caldo (%) e açúcar total recuperável (ATR) da cana (kg de açúcar t⁻¹ de cana). Com base nestes resultados foram calculados a quantidade de ATR por hectare (t de açúcar ha⁻¹) e a produtividade agroindustrial da cana-de-açúcar (t ha⁻¹ de POL), sendo esta última avaliação, obtida através da multiplicação da produtividade de colmos com a porcentagem de POL da cana.

3.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para fontes e modos de aplicação de Zn, e ajustadas a equações de regressão para o efeito das doses de Zn. O efeito das épocas de avaliação de perfilhamento e do índice de clorofila foliar da cana-de-açúcar também foram ajustados a equações de regressão para fontes de Zn. As análises estatísticas foram processadas utilizando-se o programa de análise estatística SISVAR (FERREIRA, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características biométricas

Não houve interação significativa entre fontes e doses de Zn para nenhuma das avaliações da Tabela 2. Verifica-se que não houve efeito significativo de fontes e doses de Zn aplicadas no sulco de plantio para os valores médios de 6 contagens de perfilhos por metro e de 6 leituras do índice de clorofila foliar realizadas ao longo do ciclo da cana-planta. Tal resultado também foi constatado para os valores médios de 5 contagens de perfilhos por metro e de 4 leituras do índice de clorofila foliar realizados ao longo do ciclo da 1ª cana-soca. Entretanto, Cambria et al. (1989), trabalhando em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média também com baixos teores iniciais de Zn no solo, usando doses de 0, 5, 10, 20 e 25 kg ha⁻¹ de Zn, com aplicação via solo e sob a forma de sulfato de zinco, verificaram que o perfilhamento da cana-planta foi afetado negativamente quando as doses foram superiores a 15 kg ha⁻¹ de Zn. Contudo, ressalta-se que a dose máxima avaliada no presente estudo foi de 10 kg ha⁻¹ de Zn, talvez por isso não foi constatado efeito tóxico deste nutriente no perfilhamento da cultura.

Na Tabela 2, independentemente da fonte ou dose de Zn, observa-se que em média o número de perfilhos da cultura foi baixo, quando comparado com outras tradicionais regiões canavieiras do Estado de São Paulo, como por exemplo a região de Ribeirão Preto. Isto pode ser decorrente das altas temperaturas registradas na região (Figura 1), e/ou devido a distribuição irregular das precipitações pluviais, além das variedades mais adaptadas aquele ambiente de produção que apresenta solos mais férteis. De acordo com Landell e Silva (2004), o perfilhamento é um importante componente para a formação do potencial agrícola da cana-de-açúcar. Segundo Bacchi (1983), o perfilhamento da cana-de-açúcar é influenciado por fatores como água, luz, temperatura, nutrição, épocas de plantio, pragas, doenças, espaçamentos e profundidades de plantio. Sendo assim, há necessidade da utilização de variedades de cana-de-açúcar mais adaptadas ao clima e solos da região Noroeste paulista, a fim de que, o perfilhamento e conseqüentemente a produtividade de colmos da cultura aumentem.

Com relação ao índice de clorofila foliar da cana-de-açúcar (Tabela 2), não foram encontrados trabalhos na literatura com adubação com Zn para discussão desta avaliação. Sabe-se que a concentração de clorofila está diretamente correlacionada com a concentração de

nitrogênio nas folhas e, por conseguinte, com a nutrição e a produção vegetal. Segundo Malavolta (2006), o Zn ativa enzimas importantes como a ribulose 1,5-difosfato carboxilase (presente nos cloroplastos) e, portanto afeta significativamente a taxa fotossintética das plantas. Além disso, de acordo com Prado (2008), o Zn pode ter alguma participação na formação da clorofila, afetando novamente a fotossíntese. Contudo, não foi observado incrementos no índice de clorofila foliar da cana-de-açúcar em função da aplicação de doses de Zn. Provavelmente, isto ocorreu porque todos teores foliares de zinco encontrados na cana-planta e 1ª cana-soca (Tabela 13), independente da dose aplicada, estavam dentro da faixa considerada adequada (10 a 50 mg de Zn kg⁻¹ de matéria seca) para a cultura da cana-de-açúcar, conforme descrito em Raij et al. (1997).

Tabela 2. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as contagens de perfilhos por metro e de leituras do índice de clorofila foliar da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	Número de perfilhos por metro	Índice de clorofila foliar
Cana-planta*		
Fontes de Zn		
FTE	11,06 a	39,68 a
Quelato de Zn	9,90 a	39,62 a
Sulfato de Zn	10,75 a	39,29 a
D.M.S. (5%)	1,20	1,31
Doses de Zn (kg ha⁻¹)		
0	11,00 ^{ns}	39,40 ^{ns}
2,5	9,75	39,05
5,0	10,34	39,12
7,5	10,77	39,71
10,0	10,97	39,88
Média geral	10,57	39,43
C.V. (%)	14,79	4,33
1ª Cana-soca**		
Fontes de Zn		
FTE	11,00 a	36,86 a
Quelato de Zn	11,00 a	37,00 a
Sulfato de Zn	11,08 a	37,52 a
D.M.S. (5%)	0,84	1,32
Doses de Zn (kg ha⁻¹)		
0	11,16 ^{ns}	37,11 ^{ns}
2,5	10,93	37,93
5,0	11,18	37,50
7,5	10,76	36,68
10,0	11,09	36,40
Média geral	11,03	37,12
C.V. (%)	9,93	3,93

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão. *Valores médios de 6 avaliações ao longo do ciclo da cultura. **Valores médios de 5 avaliações de perfilhos por metro e de 4 avaliações do índice de clorofila foliar ao longo do ciclo da cultura.

Com relação aos modos de aplicação dos tratamentos com Zn via solo ou foliar, também não houve diferença significativa para o número de perfilhos por metro em todas as épocas de avaliação, tanto em cana-planta (Tabela 3) como na 1ª cana-soca (Tabela 4). Isto evidencia que o zinco não teve influência positiva sobre o perfilhamento da cana-de-açúcar variedade RB867515. Entretanto, de acordo com Prado (2008), o perfilhamento reduzido da cana-de-açúcar é um sintoma de deficiência de Zn. Contudo, é importante destacar que os teores foliares de zinco

encontrados na cana-planta e 1ª cana-soca (Tabela 13), independente da dose aplicada, encontram-se dentro da faixa considerada adequada (10 a 50 mg de Zn kg⁻¹ de matéria seca) para a cultura da cana-de-açúcar, conforme descrito em Raij et al. (1997). Portanto, verifica-se que até mesmo os tratamentos que não receberam aplicação de Zn, não estavam deficientes neste nutriente. Talvez, por isso a adubação com Zn não tenha influenciado o perfilhamento da cultura.

Tabela 3. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as contagens de perfilhos por metro de linha da cultura da cana-de-açúcar (cana-planta), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009.

Tratamentos	Número de Perfilhos por metro					
	1 ^a *	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,75 a	13,80 a	10,00 a	9,45 a	9,15 a	9,50 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,20 a	10,85 a	8,85 a	9,45 a	9,15 a	9,25 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	12,30 a	14,35 a	10,95 a	9,80 a	10,05 a	10,15 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	14,70 a	16,05 a	13,25 a	10,60 a	10,25 a	10,20 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	13,65 a	14,85 a	11,60 a	9,20 a	9,60 a	9,70 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,75 a	14,30 a	11,20 a	9,90 a	10,65 a	10,15 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,30 a	11,50 a	10,25 a	9,25 a	9,45 a	9,70 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,50 a	10,45 a	9,85 a	9,20 a	9,40 a	9,25 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	9,55 a	10,00 a	9,50 a	8,95 a	9,20 a	8,90 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	9,95 a	10,75 a	8,55 a	8,40 a	8,30 a	8,75 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	12,05 a	14,65 a	11,75 a	9,75 a	10,30 a	9,95 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,05 a	11,15 a	9,05 a	9,35 a	9,05 a	8,55 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,75 a	11,00 a	10,30 a	9,55 a	9,00 a	9,25 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,40 a	13,55 a	9,55 a	10,25 a	9,70 a	9,30 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	13,95 a	16,30 a	13,55 a	10,20 a	10,60 a	10,50 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,55 a	13,40 a	9,80 a	9,30 a	9,10 a	8,55 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	9,50 a	11,20 a	10,30 a	8,35 a	8,65 a	10,20 a
D.M.S. (5%)	32,27	25,47	23,53	19,31	15,73	16,90
C.V. (%)	22,39	27,33	17,40	15,81	12,83	13,76

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. *1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª e 6ª contagens de perfilho por metro referem-se, respectivamente, a 64, 131, 208, 275, 327 e 388 dias após o plantio da cana-de-açúcar.

Tabela 4. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as contagens de perfilhos por metro de linha da cultura da cana-de-açúcar (1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanápolis – SP, 2009/2010.

Tratamentos	Número de Perfilhos por metro				
	1 ^a *	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	12,95 a	11,60 a	10,45 a	10,50 a	8,40 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	12,95 a	12,40 a	10,60 a	9,95 a	9,50 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	13,85 a	11,75 a	10,80 a	10,30 a	8,70 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	12,55 a	11,95 a	11,00 a	10,65 a	8,45 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	12,85 a	12,10 a	11,10 a	10,90 a	8,65 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	13,95 a	12,25 a	10,90 a	10,65 a	9,05 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	12,15 a	12,25 a	10,65 a	10,05 a	9,15 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	13,95 a	12,35 a	10,30 a	10,65 a	9,10 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	11,15 a	11,60 a	10,25 a	9,20 a	9,10 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	13,95 a	12,75 a	10,90 a	9,60 a	8,95 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	13,55 a	12,30 a	10,90 a	10,95 a	8,85 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	13,35 a	12,10 a	10,65 a	9,70 a	8,50 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	14,50 a	12,30 a	10,80 a	9,65 a	8,85 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	14,70 a	12,55 a	10,10 a	9,75 a	8,25 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	12,60 a	12,20 a	11,05 a	9,64 a	8,95 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	11,40 a	12,55 a	11,40 a	10,60 a	9,55 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	12,80 a	11,90 a	10,60 a	9,35 a	9,35 a
D.M.S. (5%)	5,11	4,05	3,27	2,91	3,07
C.V. (%)	15,09	12,90	11,81	11,17	13,38

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. *1^a, 2^a, 3^a, 4^a e 5^a contagens de perfilho por metro referem-se, respectivamente, a 80, 150, 212 e 262 dias após o corte da cana-planta.

Na Figura 2, observa-se no desdobramento da interação épocas de avaliação (DAP) dentro de fonte de Zn, referente ao número de perfilhos por metro da cana-planta que o FTE, quelato e sulfato de Zn se ajustaram a funções lineares decrescentes, ou seja, o perfilhamento diminuiu do início da brotação até a maturação da cana-de-açúcar. Semelhantemente, para o perfilhamento da 1ª cana-soca, também houve ajuste a funções lineares decrescentes para as três fontes de Zn (Figura 3). Estes resultados permitem constatar que o perfilhamento ao longo do ciclo da cultura não foi influenciado pelas fontes de Zn. Segundo Silva et al. (2007), a redução do número de perfilhos por metro é uma característica fisiológica da cultura da cana-de-açúcar. Os resultados obtidos nos dois cultivos da cana-de-açúcar confirmam esta observação (Figuras 2 e 3), que se deve a competição existente entre os perfilhos na linha da cultura, por água, luz e nutrientes. Sendo assim, permanecem na linha da cultura apenas os perfilhos mais vigorosos.

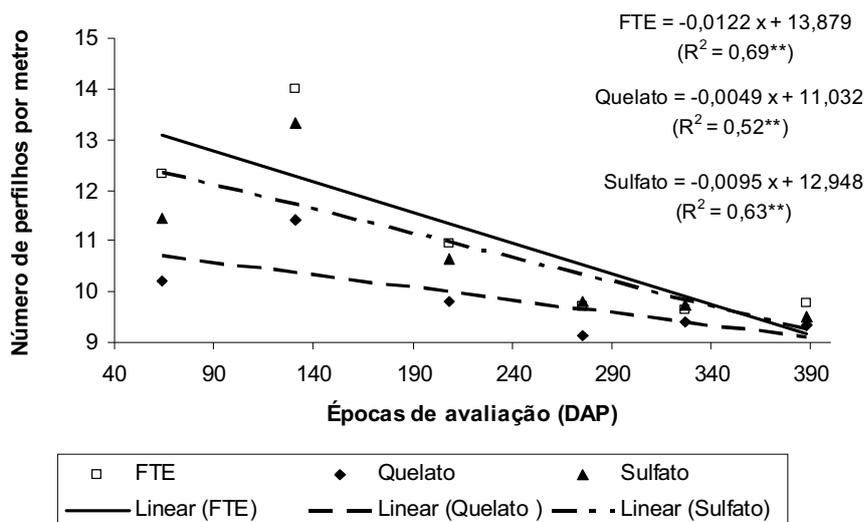


Figura 2. Efeito da interação épocas de avaliação (DAP) dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao número de perfilhos por metro da cultura da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanápolis – SP, 2008/2009.

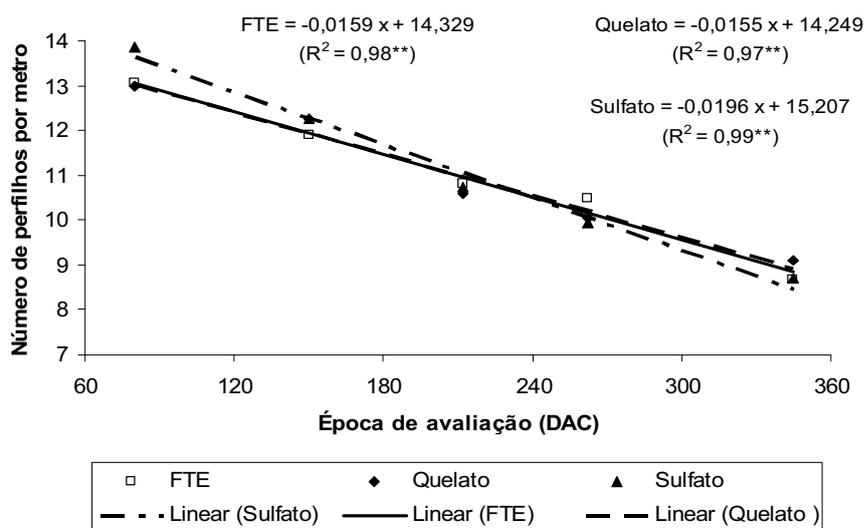


Figura 3. Efeito da interação épocas de avaliação (DAC) dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao número de perfilhos por metro da cultura da cana-de-açúcar (1ª cana-soca). Suzanápolis – SP, 2009/2010.

Na Tabela 5, observa-se que houve diferença significativa entre os modos de aplicação dos tratamentos com Zn, apenas para o índice de clorofila foliar da quarta época de avaliação da cana-planta, tendo se destacado positivamente os tratamentos com quelato aplicado via solo nas doses de 5,0 e 10,0 kg ha⁻¹ de Zn, apesar destes não diferirem significativamente dos tratamentos de quelato e sulfato aplicados via foliar. Este resultado é diferente do que ocorreu na quarta

avaliação, e provavelmente se deve ao coeficiente de variação que foi inferior aos demais nesta avaliação, proporcionando assim conseqüentemente menor D.M.S. (5%).

Na 1ª cana-soca (Tabela 6), não foi constatada diferença significativa para o índice de clorofila foliar na primeira e segunda avaliação. Contudo, houve diferença significativa entre os modos de aplicação dos tratamentos, com destaques, na terceira avaliação para o sulfato de Zn na dose de 5,0 kg ha⁻¹ de Zn, e na quarta avaliação para FTE de Zn na dose de 5,0 kg ha⁻¹ de Zn. Entretanto, ressalta-se que estes tratamentos não diferiram da maioria dos demais, inclusive dos tratamentos de quelato e sulfato aplicados via foliar.

Tabela 5. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as leituras do índice de clorofila foliar na cultura da cana-de-açúcar (cana-planta), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009.

Tratamentos	Índice de clorofila foliar					
	1 ^a *	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	46,65 a	39,48 a	30,25 a	36,63 ab	49,38 a	38,50 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	45,33 a	35,45 a	28,95 a	36,60 ab	45,85 a	39,12 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	47,28 a	40,15 a	29,70 a	35,60 ab	42,53 a	40,78 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	45,48 a	40,50 a	32,18 a	38,00 ab	45,28 a	41,08 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	48,85 a	38,63 a	32,90 a	35,80 ab	47,08 a	40,58 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	46,05 a	36,00 a	32,40 a	37,13 ab	42,85 a	39,43 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	45,33 a	39,45 a	32,80 a	36,33 ab	45,95 a	37,05 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	42,40 a	38,73 a	29,95 a	38,35 a	47,23 a	36,63 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	45,48 a	35,88 a	32,40 a	38,00 ab	48,23 a	40,93 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	44,68 a	37,08 a	28,90 a	38,18 a	46,60 a	38,13 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	45,70 a	38,35 a	33,53 a	32,15 b	43,80 a	40,53 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	42,63 a	36,60 a	31,38 a	35,08 ab	47,68 a	39,30 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	42,90 a	40,15 a	32,40 a	36,73 ab	43,40 a	40,35 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	46,88 a	37,70 a	29,40 a	36,78 ab	45,28 a	36,60 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	48,12 a	39,15 a	31,55 a	37,78 ab	43,63 a	39,68 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	47,10 a	37,69 a	32,05 a	35,13 ab	42,50 a	36,90 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	43,73 a	39,10 a	35,58 a	36,60 ab	47,75 a	39,03 a
D.M.S. (5%)	10,09	9,25	7,25	5,35	10,96	6,75
C.V. (%)	8,57	9,39	8,90	5,70	9,28	6,69

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. *1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª e 6ª leituras do índice de clorofila referem-se, respectivamente, a 64, 131, 208, 275, 327 e 388 dias após o plantio da cana-de-açúcar.

Tabela 6. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as leituras do índice de clorofila foliar na cultura da cana-de-açúcar (1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanápolis – SP, 2009/2010.

Tratamentos	Índice de clorofila foliar			
	1 ^a *	2 ^a	3 ^a	4 ^a
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	40,93 a	34,10 a	35,60 ab	34,36 ab
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	43,36 a	36,46 a	36,60 ab	38,46 ab
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	39,13 a	38,56 a	34,20 ab	39,46 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	41,23 a	34,76 a	33,36 b	35,46 ab
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	34,86 a	35,56 a	35,66 ab	35,16 ab
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	42,20 a	37,66 a	34,00 ab	37,06 ab
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	39,90 a	36,86 a	37,30 ab	35,46 ab
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	39,06 a	35,90 a	37,80 ab	35,90 ab
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	41,90 a	35,10 a	36,76 ab	30,46 b
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	40,33 a	37,56 a	33,36 b	35,30 ab
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	41,10 a	38,96 a	34,10 ab	35,26 ab
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	40,70 a	37,16 a	36,60 ab	36,30 ab
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	40,36 a	37,20 a	38,63 a	33,96 ab
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	40,13 a	37,06 a	36,53 ab	37,30 ab
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	38,60 a	38,70 a	37,00 ab	34,70 ab
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	39,63 a	39,66 a	35,90 ab	35,60 ab
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	36,63 a	37,26 a	37,30 ab	36,66 ab
D.M.S. (5%)	9,28	8,28	4,73	8,26
C.V. (%)	7,58	7,32	4,31	7,56

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. *1ª, 2ª, 3ª e 4ª leituras do índice de clorofila referem-se, respectivamente, a 80, 150, 212 e 262 dias após o corte da cana-planta.

No desdobramento da interação épocas de avaliação (DAP) dentro de fonte de Zn (Figura 4), referente ao índice de clorofila foliar da cana-planta, verificou-se que as fontes de Zn se ajustaram a funções quadráticas semelhantes, ou seja, o índice de clorofila foliar no início da brotação estava alto, decresceu e aumentou novamente na fase de maturação da cana-de-açúcar. Isto indica que assim como ocorreu para o perfilhamento da cana-de-açúcar (Figuras 2 e 3), as leituras do índice de clorofila foliar ao longo do ciclo também não foram influenciados pelas fontes de Zn. Sendo assim, este comportamento parece ter sido também dependente da característica fisiológica da cultura da cana-de-açúcar, ou mesmo da variedade RB867515.

A Figura 5, se refere a interação épocas de avaliação (DAC) dentro de fonte de zinco, referente ao índice de clorofila foliar da 1ª cana-soca. Para o quelato e sulfato de Zn houve ajuste a funções lineares decrescentes semelhantes. Por outro lado, o quelato de Zn se ajustou a função quadrática, sendo o maior índice de clorofila foliar encontrado na primeira avaliação da 1ª cana-

soca, período este, no qual ocorre alta demanda fotossintética devido ao estabelecimento dos perfilhos.

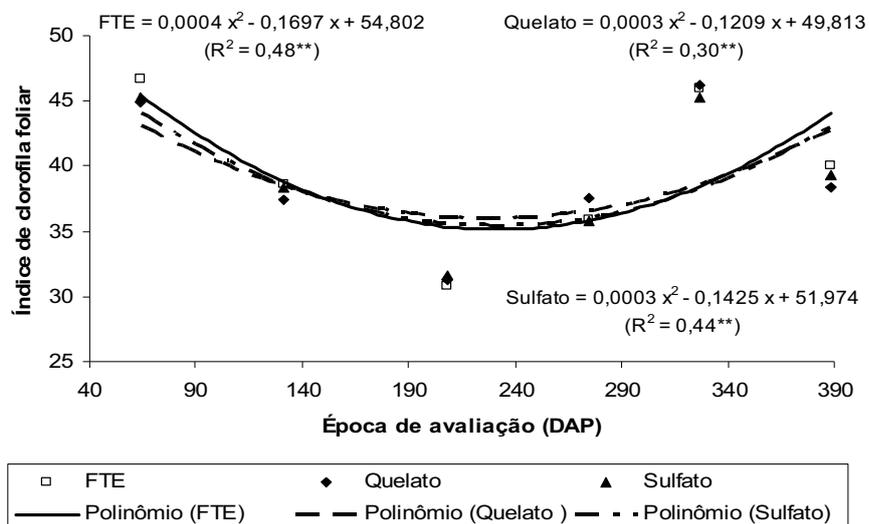


Figura 4. Efeito da interação épocas de avaliação (DAP) dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao índice de clorofila foliar da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanópolis – SP, 2008/2009.

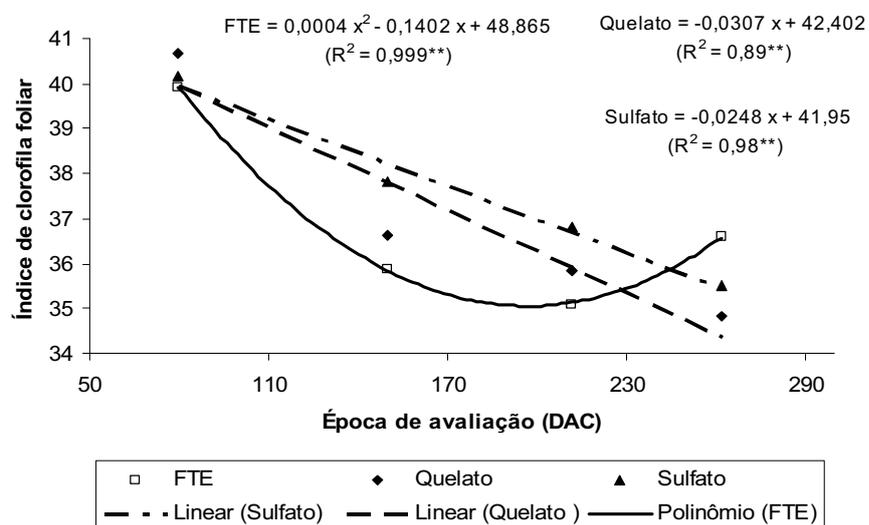


Figura 5. Efeito da interação épocas de avaliação (DAC) dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao índice de clorofila foliar da cana-de-açúcar (1ª cana-soca). Suzanópolis – SP, 2009/2010.

Verifica-se na Tabela 7, que a altura de colmo da cana-planta não foi influenciada pelas fontes de Zn. Entretanto, na 1ª cana-soca houve diferença significativa entre as fontes de Zn, tendo o sulfato de zinco propiciado a maior altura de colmo, apesar deste não diferir significativamente do FTE. Entretanto, a altura de colmo da cana-planta e da 1ª cana-soca não foram influenciados pelo aumento das doses de Zn (Tabela 7), portanto não afetaram o crescimento do colmo. Costa Filho e Prado (2008), avaliando a aplicação de zinco em 3ª soca de cana-de-açúcar, também não verificaram incrementos na altura de colmos.

Com relação ao número de colmos por metro, não foi constatada diferença entre as fontes de Zn (sulfato, FTE e Zn quelatizado) para cana-planta e 1ª cana-soca. Também não houve efeito significativo para tal avaliação em função da aplicação de doses de Zn no sulco de plantio da cana-de-açúcar, em ambos os cultivos (Tabela 7). Tal resultado indicou que o zinco não influenciou o perfilhamento da cana-de-açúcar variedade RB867515. Entretanto, Cambria et al. (1989), aplicando via solo, as doses de 0, 5, 10, 20 e 25 kg ha⁻¹ de Zn, sob a forma de sulfato de zinco, verificaram que o perfilhamento da cana-planta foi afetado negativamente quando as doses foram superiores a 15 kg ha⁻¹ de Zn, dose esta superior às utilizadas no presente trabalho. Segundo Landell e Silva (2004), o perfilhamento, a altura e o diâmetro de colmos são componentes importantes para a formação do potencial agrícola do canavial.

As fontes de Zn proporcionaram semelhantes diâmetros do colmo em cana-planta, porém houve diferença significativa para esta avaliação na 1ª cana-soca, sendo que o quelato de Zn proporcionou maior diâmetro do colmo em relação ao FTE e ao sulfato de Zn (Tabela 7). Contudo, como este tratamento proporcionou menor altura de colmo houve efeito compensatório com o aumento no diâmetro de colmo, característica comum em gramíneas.

Quanto ao número de internódios por metro de colmo não foi constatada diferença significativa entre as fontes de Zn para cana-planta e 1ª cana-soca (Tabela 7). Também não houve interação significativa entre fontes e doses de Zn para nenhuma das avaliações da Tabela 7. Em relação às doses de Zn, estas não influenciaram o diâmetro do colmo e o número de internódios por metro de colmo, tanto da cana-planta como da 1ª cana-soca. Vale destacar que um sintoma típico de deficiência de Zn em cana-de-açúcar é o encurtamento de internódios, ou seja, maior número de internódios por metro de colmo. Portanto, provavelmente não houve efeito de doses de Zn nesta avaliação, porque todos os teores foliares de zinco encontrados na cana-planta e na 1ª cana-soca (Tabela 13), independente da dose aplicada, estavam dentro da faixa considerada adequada (10 a 50 mg de Zn kg⁻¹ de matéria seca) para a cultura da cana-de-açúcar, conforme descrito em Raij et al. (1997).

Tabela 7. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes à altura de colmo, número de colmos industrializáveis por metro, diâmetro de colmo e número de internódios por metro de colmo de cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	Altura de colmo (m)	Número de colmos por metro	Diâmetro do colmo (cm)	Número de internódios por metro de colmo
Cana-planta				
Fontes de Zn				
FTE	2,90 a	8,46 a	2,62 a	9,36 a
Quelato de Zn	2,93 a	8,17 a	2,59 a	9,07 a
Sulfato de Zn	2,92 a	8,46 a	2,57 a	9,34 a
D.M.S. (5%)	0,18	0,76	0,22	0,99
Doses de Zn (kg ha⁻¹)				
0	2,91 ^{ns}	8,73 ^{ns}	2,57 ^{ns}	9,02 ^{ns}
2,5	2,85	8,37	2,51	9,29
5,0	2,91	8,58	2,64	9,27
7,5	2,96	7,78	2,55	9,38
10,0	2,95	8,35	2,71	9,33
Média geral	2,91	8,36	2,60	9,26
C.V. (%)	7,91	11,80	11,04	13,84
1ª Cana-soca				
Fontes de Zn				
FTE	2,89 ab	8,74 a	2,74 b	8,65 a
Quelato de Zn	2,85 b	9,07 a	3,01 a	8,94 a
Sulfato de Zn	2,94 a	8,68 a	2,73 b	8,55 a
D.M.S. (5%)	0,08	0,90	0,26	0,46
Doses de Zn (kg ha⁻¹)				
0	2,94 ^{ns}	8,77 ^{ns}	2,77 ^{ns}	8,76 ^{ns}
2,5	2,82	9,05	2,90	8,61
5,0	2,89	8,88	2,74	8,64
7,5	2,92	8,60	2,84	8,89
10,0	2,90	8,85	2,82	8,66
Média geral	2,89	8,83	2,83	8,71
C.V. (%)	3,79	13,19	12,12	6,88

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão.

Na Tabela 8, observa-se que os modos de aplicação dos tratamentos com Zn via solo e foliar, não apresentaram diferenças significativas em relação à altura de colmo, número de colmos industrializáveis por metro, diâmetro de colmo e número de internódios por metro de colmo de cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca).

Tabela 8. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes à altura de colmo, número de colmos industrializáveis por metro, diâmetro de colmo e número de internódios por metro de colmo de cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Tratamentos	Altura de colmo (m)	Número de colmos por metro	Diâmetro do colmo (cm)	Número de internódios por metro de colmo
Cana-planta				
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,77 a	8,70 a	2,42 a	9,74 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,84 a	8,15 a	2,52 a	9,16 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,98 a	9,05 a	2,64 a	9,16 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,98 a	7,95 a	2,51 a	9,25 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,93 a	8,45 a	3,03 a	9,58 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,98 a	8,45 a	2,60 a	8,17 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,03 a	9,10 a	2,61 a	8,97 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,87 a	8,65 a	2,59 a	9,58 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,98 a	7,40 a	2,65 a	9,24 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,76 a	7,25 a	2,51 a	9,41 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,97 a	9,05 a	2,68 a	9,16 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,68 a	7,85 a	2,40 a	9,74 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,88 a	8,05 a	2,70 a	9,16 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,92 a	8,00 a	2,50 a	9,67 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,15 a	9,35 a	2,59 a	9,00 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,07 a	8,50 a	2,60 a	9,66 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,77 a	8,20 a	2,77 a	9,32 a
D.M.S. (5%)	0,58	2,42	0,71	3,16
C.V. (%)	7,73	11,41	10,57	13,18
1ª Cana-soca				
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,85 a	8,40 a	2,71 a	9,08 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,82 a	9,50 a	2,74 a	8,41 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,92 a	8,70 a	2,69 a	8,33 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,98 a	8,45 a	2,75 a	8,67 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,87 a	8,65 a	2,80 a	8,75 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,90 a	9,05 a	2,86 a	8,78 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,82 a	9,15 a	3,25 a	8,66 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,82 a	9,10 a	3,33 a	8,91 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,82 a	9,10 a	2,79 a	9,33 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,86 a	8,95 a	2,84 a	9,00 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,06 a	8,85 a	2,73 a	8,41 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,82 a	8,50 a	2,70 a	8,75 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,91 a	8,85 a	2,71 a	8,66 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,94 a	8,25 a	2,69 a	8,66 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,97 a	8,95 a	2,84 a	8,25 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,97 a	9,55 a	2,70 a	9,11 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,02 a	9,35 a	2,74 a	8,66 a
D.M.S. (5%)	0,31	15,36	0,84	1,49
C.V. (%)	4,16	13,38	11,49	6,62

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Embora seja a cana-planta comumente mais produtiva, verificou-se maior produtividade de colmos (TCH) da 1ª cana-soca ($108,63 \text{ t ha}^{-1}$) em relação à cana-planta ($87,33 \text{ t ha}^{-1}$), independente dos tratamentos (Tabela 9). Tal resultado atípico ocorreu principalmente porque houve maior precipitação pluvial durante o período de desenvolvimento vegetativo da cana-soca, em relação ao mesmo período da cana-planta, e devido provavelmente a aplicação do cálcario pouco tempo antes do plantio da cana-de-açúcar. Sendo assim, este corretivo não teve o tempo necessário para reagir adequadamente no solo e, portanto, os efeitos benéficos da calagem foram mais expressivos na 1ª cana-soca. Contudo, ressalta-se que a produtividade de colmos (TCH) apesar de ser considerada baixa para cana-planta devido ao ambiente de produção ser desfavorável (solo arenoso), esta foi superior à produtividade média ($81,59 \text{ t ha}^{-1}$) brasileira de cana-de-açúcar que considera a média dos 5 primeiros cortes, de acordo com a Conab (2010).

Com relação a massa da matéria seca de colmo, assim como ocorreu para produtividade de colmos, constatou-se também maior massa da 1ª cana-soca ($35,38 \text{ t ha}^{-1}$) em relação à cana-planta ($26,25 \text{ t ha}^{-1}$), independente dos tratamentos (Tabela 9). Entretanto, a massa da matéria seca de palhada (ponteiro + folhas) da cana-planta ($10,08 \text{ t ha}^{-1}$) e da 1ª cana-soca ($10,73 \text{ t ha}^{-1}$) foram semelhantes. Portanto, a 1ª cana-soca foi mais eficiente em produtividade de colmos, mesmo tendo proporcionado uma fitomassa (ponteiro + folhas) parecida com a da cana-planta. Contudo, Franco et al. (2009), trabalhando com doses de Zn ($0, 3$ e 6 kg ha^{-1}) na variedade SP813250, obtiveram maiores massas de matéria seca de colmos ($37,2$ e $33,5 \text{ t ha}^{-1}$ nas doses 0 e 6 kg ha^{-1} de Zn, respectivamente). Por sua vez, Oliveira et al. (2003) constataram valor de massa da matéria seca da palhada ($18,45 \text{ t ha}^{-1}$) superior para a variedade RB867515, devido ao uso da irrigação na cultura.

As fontes de Zn aplicadas no sulco de plantio não proporcionaram diferença significativa na produtividade de colmos e nas massas da matéria seca de colmo e palhada, tanto da cana-planta como da 1ª cana-soca da variedade RB867515 (Tabela 9), embora as fontes tenham solubilidades diferenciadas, sendo o sulfato e o quelato mais solúveis quando comparadas à FTE. De acordo com Volkweiss (1991), é necessário que as fontes de micronutrientes utilizadas se solubilizem no solo no mínimo em velocidade compatível com a absorção pelas raízes e que sejam aplicadas em posição possível de ser por elas atingida, uma vez que os micronutrientes são geralmente pouco móveis no solo. Segundo Mortvedt (2001), os FTE, também chamadas “elementos traços fritos” são produtos mais apropriados para programas de manutenção do que para correção de deficiências severas e apresentam maior eficiência em solos arenosos, em

regiões com maior índice pluvial. Entretanto, apesar destas condições de solo e clima favoráveis (Figura 1), o FTE não se destacou quando comparado às demais fontes de Zn.

As doses de Zn também não influenciaram significativamente a produtividade e a massa da matéria seca de colmos da cana-de-açúcar, tanto da cana-planta como da 1ª cana-soca (Tabela 9), apesar de ter sido cultivada em um solo arenoso com baixo teor do elemento. Estes resultados também foram encontrados para os principais componentes de produção da cultura (Tabela 7), portanto, isto confirmou porque não houve aumento de produtividade da cana-de-açúcar. Franco et al. (2009), trabalhando com doses de Zn (0, 3 e 6 kg ha⁻¹) aplicadas ao solo cerca de 20 cm das plantas, na forma de sulfato de zinco dissolvido em água (200 L ha⁻¹) e 90 dias após o plantio da cultura, também não observaram aumento na produtividade de colmos da cana-planta. Costa Filho e Prado (2008), avaliando a aplicação de doses de Zn na 3ª soca de cana-de-açúcar, também não constataram efeito significativo na produtividade de colmos da cultura. Semelhantemente Alvarez et al. (1979), avaliando vinte e três experimentos instalados nas mais diversas condições de clima e solo do Estado de São Paulo, não verificaram efeito do Zn na produção da cana-de-açúcar. Resultados semelhantes foram obtidos em trabalhos mais antigos, como o de Alvarez e Wutke (1963) e de Casagrande (1971), que não constataram incrementos na produtividade da cana-de-açúcar em função da aplicação de Zn. Entretanto, Cambria et al. (1989) trabalhando em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura barro-arenosa com baixos teores iniciais de Zn no solo, usando doses de 0, 5, 10, 20 e 25 kg ha⁻¹ de Zn, com aplicação via solo de sulfato de zinco, verificaram que houve um aumento na produção de colmos até a dose de 10 kg ha⁻¹ de Zn. Por sua vez, Andrade et al. (1995) pesquisando a aplicação de fritas e de fontes solúveis de boro, cobre e zinco (sulfato de Zn), aplicadas no sulco de plantio da variedade SP701143, cultivado em Latossolo Vermelho distrófico de textura média com baixo teor de Zn (0,3 mg dm⁻³), verificaram que tanto a aplicação conjunta (fritas) como a aplicação isolada de micronutrientes, não resultou em aumento na produtividade de colmos. Além disso, estes autores também observaram efeito residual desta adubação na 1ª cana-soca. Já Farias et al. (2008), avaliando a eficiência do uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e doses de zinco (0, 1, 2, 3 e 4 kg ha⁻¹), em um solo com baixo teor de Zn do litoral paraibano, observaram aumento quadrático da produtividade de colmos, estimando-se em 2,38 kg ha⁻¹ a dose de Zn que maximiza a eficiência do uso da água pela cultura.

Aumentos significativos na produtividade de colmos de cana-de-açúcar em resposta adubação com Zn também foram verificados por Juang et al. (1979) e por Rahman et al. (1992), sendo que estes últimos pesquisadores observaram aumentos de 8,7% na produtividade de colmos da cultura, devido a aplicação com Zn em experimento desenvolvido em solo de origem

calcária (pH = 7,3). Marinho e Albuquerque (1981) também verificaram efeito significativo da aplicação de Zn na produtividade da cana-de-açúcar, em sete experimentos conduzidos em solos de tabuleiro em Alagoas, quando os teores deste micronutriente foram inferiores a 5 mg dm^{-3} . Por sua vez Becari (2010) observou que o Zn foi o micronutriente que proporcionou maiores ganhos de produtividade de colmos (em média 20 t ha^{-1}) em cana-planta, cultivada em solos de baixa fertilidade de várias unidades produtoras do Estado de São Paulo.

Uma hipótese para o não efeito da adubação com zinco na produtividade da cana-de-açúcar, apesar do cultivo em solo arenoso com baixo teor de zinco, é que o experimento com cana-planta foi conduzido em um ano atípico de precipitações pluviais, ou seja, choveu bem no período de seca. Portanto, isto pode ter favorecido um melhor desenvolvimento do sistema radicular, sendo assim este deve ter explorado um maior volume do solo e conseqüentemente, absorvido mais zinco proveniente do solo. Outra hipótese relatada por Tokeshi (1991) indica que a cana-de-açúcar tendo um sistema radicular profundo, permite a absorção do micronutriente nas camadas subsuperficiais, especialmente na época seca, embora as camadas superficiais do solo em estudo não retratem bem essa realidade da disponibilidade de micronutrientes pela cultura. Para Vitti e Martins (2001), uma das hipóteses da não resposta aos micronutrientes é provavelmente a sua ocorrência nos calcários, principalmente os de origem sedimentar.

Contudo, apesar de não ter sido encontrada resposta significativa da cana-de-açúcar variedade RB867515 à adubação com zinco, nos dois primeiros cortes da cultura, tais resultados podem ser diferentes para outras variedades de cana-de-açúcar mais exigentes neste micronutriente e/ou em cultivos subsequentes, já que estas fontes de Zn podem apresentar diferente efeito residual, apesar da baixa mobilidade do Zn no solo. Casarin et al. (2001) relatam que em solos de baixa fertilidade ou que são explorados durante muitos anos, a ocorrência de deficiência de micronutrientes em cana-de-açúcar torna-se ainda mais agravada. Ressalta-se, neste caso, que a não resposta também pode estar relacionada aos primeiros cultivos com a cultura, já que antes da implantação da cultura na área havia pastagem de capim-braquiária. Além disso, os toletes de cana-de-açúcar utilizados no plantio da cultura pode ter fornecido significativa quantidade de Zn para o desenvolvimento inicial da cana-planta, diminuindo assim, o efeito da adubação com zinco na produtividade da cana-planta.

Outro aspecto que deve ser levado em conta, é que foram obtidas produtividades médias de colmos tanto em cana-planta como na 1ª cana-soca, portanto, a probabilidade de resposta à adubação com Zn é menor quando comparada a um canavial de alto potencial de produtividade.

Tabela 9. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes à produtividade de colmos, massa da matéria seca de colmo e massa da matéria seca de palhada (ponteiro + folhas) de cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	Produtividade de colmos (t ha⁻¹)	Massa da matéria seca de colmo (t ha⁻¹)	Massa da matéria seca de palhada (t ha⁻¹)
Cana-planta			
Fontes de Zn			
FTE	87,40 a	26,16 a	10,15 a
Quelato de Zn	87,90 a	26,21 a	9,74 a
Sulfato de Zn	86,70 a	26,39 a	10,34 a
D.M.S. (5%)	9,50	2,99	1,37
Doses de Zn (kg ha⁻¹)			
0	79,58 ^{ns}	23,96 ^{ns}	9,57
2,5	89,33	26,59	9,74
5,0	89,42	27,32	10,15
7,5	88,75	26,64	10,22
10,0	89,58	26,75	10,70
Média geral	87,33	26,25	10,08
C.V. (%)	14,15	14,80	17,67
1ª Cana-soca			
Fontes de Zn			
FTE	106,46 a	34,78 a	10,47 a
Quelato de Zn	114,37 a	37,41 a	10,47 a
Sulfato de Zn	105,06 a	33,94 a	10,24 a
D.M.S. (5%)	14,61	4,69	1,52
Doses de Zn (kg ha⁻¹)			
0	109,26 ^{ns}	35,82 ^{ns}	9,28
2,5	106,72	35,36	11,23
5,0	108,22	35,42	11,35
7,5	103,77	32,87	11,17
10,0	115,19	37,43	10,63
Média geral	108,63	35,38	10,73
C.V. (%)	17,50	17,25	18,44

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão.

A massa da matéria seca de palhada da cana-de-açúcar foi influenciada pelas doses de Zn (Tabela 9). Para cana-planta houve interação entre fontes e doses de Zn, sendo constatada resposta apenas para o sulfato de Zn que se ajustou a função linear crescente (Figura 6). Enquanto para 1ª cana-soca, as doses de Zn influenciaram tal avaliação de forma quadrática, com a máxima massa da matéria seca de palhada sendo alcançada, com a estimativa de aplicação de 5,88 kg ha⁻¹ de Zn, independentemente da fonte de Zn (Figura 7). Por outro lado, Franco et al. (2009), trabalhando com doses de Zn (0, 3 e 6 kg ha⁻¹) aplicadas ao solo, na forma de sulfato de

zinco dissolvido em água (200 L ha^{-1}) e 90 dias após o plantio da cultura, não observaram aumento na produção de fitomassa da cana-de-açúcar (cana-planta).

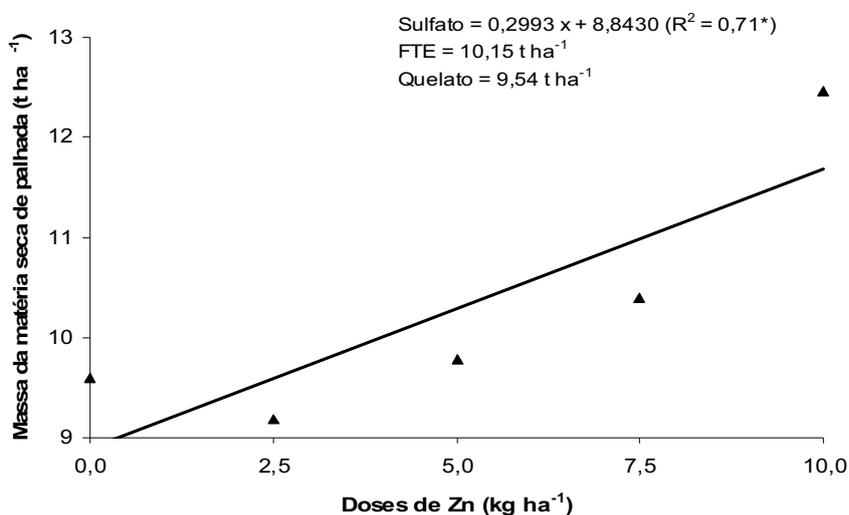


Figura 6. Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente a massa da matéria seca de palhada da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanópolis – SP, 2008/2009.

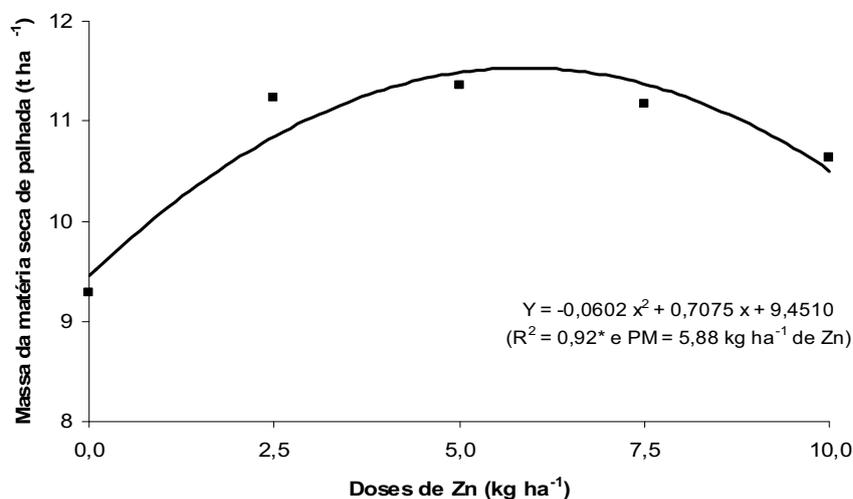


Figura 7. Equação de regressão referente a massa da matéria seca de palhada da cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2009/2010.

Com relação aos modos de aplicação dos tratamentos com Zn via solo ou foliar (Tabela 10), estes não apresentaram diferenças significativas em relação à produtividade de colmos, e as massas da matéria seca de colmo e de palhada (ponteiro + folhas) de cana-de-açúcar, nos dois

primeiros ciclos da cultura. Estes resultados também foram constatados para os principais componentes de produção da cultura (Tabela 8), portanto isto confirmou porque não houve aumento de produtividade e massa seca de colmos da cana-de-açúcar. Entretanto, Wang et al. (2005), averiguando a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de sulfato de zinco no solo (0; 4,4; 8,9; 17,9 e 33,8 kg ha⁻¹ de Zn) e de uma aplicação foliar (1,3 kg ha⁻¹ de Zn), no estado da Lousiana, Estados Unidos da América, observaram incremento na produtividade da cana-de-açúcar da variedade LCP 85384, com aumento médio de 23% em relação a testemunha, em um solo ácido e outro de origem calcária, com baixos teores de Zn. Com relação a adubação foliar com sulfato de zinco, estes autores encontraram resposta positiva na produtividade de colmos da cultura apenas no solo de origem calcária (solo este bem diferente, do solo da área experimental do presente estudo). Portanto, no solo ácido, estes autores também não constataram efeito significativo da adubação foliar com Zn. Resultados semelhantes foram obtidos por Azeredo e Bolsanello (1981), pesquisando a aplicação de sulfato de zinco (8,75 ha⁻¹ de Zn) no sulco de plantio da cana-de-açúcar ou via foliar (1% de Zn em solução, aplicados ao 90 dias após o plantio), em oito experimentos desenvolvidos em quatro locais e cultivados na presença e ausência de calagem, não constataram nenhuma resposta pela cana-planta (variedade CB453) a adição de Zn na produtividade de colmos.

Tabela 10. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes à produtividade de colmos, massa da matéria seca de colmo e massa da matéria seca de palhada (ponteiro + folhas) de cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Tratamentos	Produtividade de colmos (t ha ⁻¹)	Massa da matéria seca de colmo (t ha ⁻¹)	Massa da matéria seca de palhada (t ha ⁻¹)
Cana-planta			
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	79,75 a	24,25 a	9,01 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,25 a	26,35 a	10,63 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	90,25 a	26,59 a	10,25 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	88,25 a	26,90 a	10,44 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,50 a	26,72 a	10,42 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	79,00 a	23,43 a	10,09 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	90,50 a	26,95 a	9,42 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,00 a	26,64 a	10,43 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	90,25 a	26,99 a	9,82 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	90,75 a	27,04 a	8,95 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	80,00 a	24,19 a	9,60 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	88,25 a	26,49 a	9,18 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,00 a	28,74 a	9,78 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	87,75 a	26,03 a	10,40 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	88,50 a	26,50 a	12,74 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	93,50 a	27,32 a	11,26 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	92,25 a	27,38 a	9,01 a
D.M.S. (5%)	28,81	10,04	4,50
C.V. (%)	14,00	14,75	17,30
1ª Cana-soca			
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	101,93 a	32,82 a	8,94 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	107,50 a	36,49 a	12,00 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	109,78 a	35,67 a	10,95 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	102,67 a	32,87 a	11,06 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	110,42 a	36,07 a	9,41 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	118,03 a	38,29 a	10,38 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	116,63 a	38,98 a	10,98 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	109,51 a	36,06 a	12,16 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	110,85 a	34,40 a	12,67 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	116,84 a	39,34 a	11,18 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	107,82 a	36,35 a	8,53 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	96,02 a	30,61 a	10,70 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	105,38 a	34,52 a	10,93 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	97,79 a	31,36 a	9,78 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	118,29 a	36,88 a	11,29 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	113,18 a	36,74 a	12,09 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	104,17 a	34,03 a	12,49 a
D.M.S. (5%)	49,23	16,03	5,32
C.V. (%)	17,56	17,55	18,89

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

4.2. Avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar

4.2.1. Teores de nutrientes foliar

Os teores foliares médios dos macronutrientes da cana-planta (Tabela 11), fósforo, cálcio e magnésio estão dentro da faixa considerada adequada (1,5 a 3,0 g de P, 2,0 a 8,0 g de Ca e 1,0 a 3,0 g de Mg kg⁻¹ de matéria seca) para a cultura da cana-de-açúcar, em relação ao descrito por Raij et al. (1997). Entretanto, os teores foliares de nitrogênio, potássio e enxofre estão abaixo da faixa considerada adequada (18 a 25 g de N, 10 a 16 g de K e 1,5 a 3,0 g de S kg⁻¹ de matéria seca) para esta cultura, em relação ao descrito por Raij et al. (1997), dessa forma, o desenvolvimento e a produtividade da cultura podem ter sido prejudicados. Estas deficiências nutricionais, provavelmente ocorreram porque o solo da área experimental é de textura arenosa, sendo assim a perda por lixiviação destes nutrientes é favorecida.

Com relação a 1ª cana-soca (Tabela 11), constatou-se que os teores foliares médios de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio estão dentro da faixa considerada adequada (18 a 25 g de N, 1,5 a 3,0 g de P, 10 a 16 g de K, 2,0 a 8,0 g de Ca e 1,0 a 3,0 g de Mg kg⁻¹ de matéria seca) para a cultura da cana-de-açúcar, em relação ao descrito por Raij et al. (1997). Entretanto, o teor foliar de enxofre ficou novamente abaixo da faixa considerada adequada (1,5 a 3,0 g de S kg⁻¹ de matéria seca) para esta cultura, em relação ao descrito por Raij et al. (1997). Reis Junior e Monnerat (2003), avaliando a relação entre os índices DRIS e os teores foliares de nutrientes na cana-de-açúcar, verificaram que os teores foliares adequados de macronutrientes foram: 13,4 g ha⁻¹ de N; 1,91 g ha⁻¹ de P; 12,2 g ha⁻¹ de K; 2,99 g ha⁻¹ de Ca; 2,15 g ha⁻¹ de Mg e 1,61 g ha⁻¹ de S.

As fontes de zinco aplicadas via solo proporcionaram diferença significativa apenas para os teores foliares de magnésio e enxofre da cana-planta (Tabela 11). A fonte quelato de Zn proporcionou teor de magnésio foliar inferior às demais fontes de Zn. Já, o sulfato de zinco proporcionou maior teor de enxofre, isto pode ter ocorrido porque o sulfato é a fonte de Zn que contém mais S (11%). Na 1ª cana-soca, constatou-se diferença significativa entre as fontes de Zn apenas para o teor de potássio, tendo o sulfato de Zn proporcionado o menor teor deste nutriente, apesar de não diferir significativamente do FTE de Zn.

Com relação às doses de Zn, não se constatou efeito significativo nos teores foliares de N, P e K da cana-planta e para nenhum dos teores de macronutrientes na folha da 1ª cana-soca (Tabela 11).

Tabela 11. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g kg ⁻¹ de MS) -----						
Cana-planta						
Fontes de Zn						
FTE	15,35 a	1,89 a	8,53 a	4,34 a	2,42 a	1,10 b
Quelato de Zn	14,95 a	2,00 a	8,77 a	4,25 a	2,27 b	1,13 b
Sulfato de Zn	14,98 a	1,98 a	8,73 a	4,47 a	2,53 a	1,22 a
D.M.S. (5%)	1,02	0,75	0,47	0,26	0,15	0,07
Doses de Zn (kg ha⁻¹)						
0	14,98 ^{ns}	1,91 ^{ns}	8,61 ^{ns}	4,22	2,38	1,13
2,5	15,30	1,97	8,44	4,44	2,33	1,16
5,0	15,47	1,97	8,88	4,66	2,50	1,13
7,5	15,29	1,99	8,78	4,30	2,35	1,19
10,0	14,41	1,96	8,66	4,14	2,47	1,14
Média geral	15,09	1,96	8,68	4,35	2,41	1,15
C.V. (%)	8,75	8,75	7,03	7,63	7,89	8,29
1ª Cana-soca						
Fontes de Zn						
FTE	18,34 a	2,05 a	12,83 ab	4,30 a	2,08 a	1,29 a
Quelato de Zn	18,58 a	1,98 a	12,90 a	4,09 a	2,29 a	1,29 a
Sulfato de Zn	18,56 a	2,00 a	12,27 b	4,27 a	2,26 a	1,27 a
D.M.S. (5%)	1,29	0,12	0,62	0,46	0,23	0,06
Doses de Zn (kg ha⁻¹)						
0	18,21 ^{ns}	2,03 ^{ns}	12,44 ^{ns}	3,88 ^{ns}	2,16 ^{ns}	1,28 ^{ns}
2,5	18,00	2,02	12,83	4,33	2,27	1,27
5,0	18,97	1,99	13,06	4,51	2,24	1,28
7,5	18,42	2,03	12,56	4,12	2,13	1,30
10,0	18,86	1,98	12,44	4,27	2,22	1,29
Média geral	18,50	2,01	12,67	4,22	2,20	1,28
C.V. (%)	7,74	6,47	5,45	12,05	11,79	5,45

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão.

As doses de Zn influenciaram o teor de Ca foliar da cana-planta de forma quadrática, com o máximo teor deste nutriente sendo alcançado, com a estimativa de aplicação de 4,67 kg ha⁻¹ de Zn, independentemente da fonte de Zn (Figura 8). Como antes da implantação do experimento os teores de Ca⁺² no solo estavam altos (Tabela 1), esperava-se que houvesse inibição competitiva deste nutriente com o Zn⁺² pelo mesmo sítio do carregador na planta, diminuindo assim a absorção do nutriente que estivesse em menor concentração no solo, no caso o Zn, entretanto, os

teores de Ca e Zn foliar estiveram dentro da faixa considerada adequada para a cultura (Tabelas 11 e 13), conforme descrito por Raji et al. (1997).

Nas Figuras 9 e 10 constam, respectivamente, o desdobramento da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco para o teor de Mg e de S foliar da cana-planta, sendo constatada resposta apenas para o sulfato de Zn que se ajustou a função linear crescente para ambos os macronutrientes. Com relação ao aumento linear no teor de S nas folhas, este ocorreu porque o sulfato de Zn apresenta 11% de S em sua constituição, assim, o incremento das doses de Zn deste fertilizante aumentou o fornecimento de S para a planta.

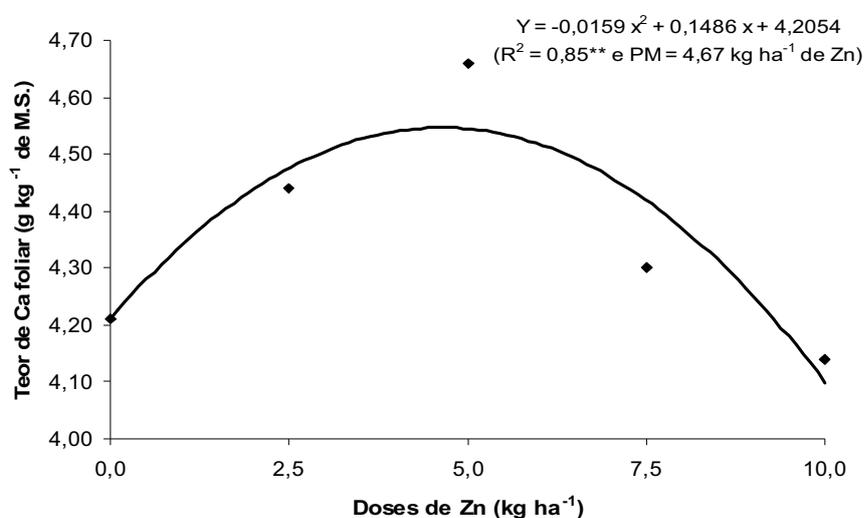


Figura 8. Equação de regressão referente ao teor de Ca foliar da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

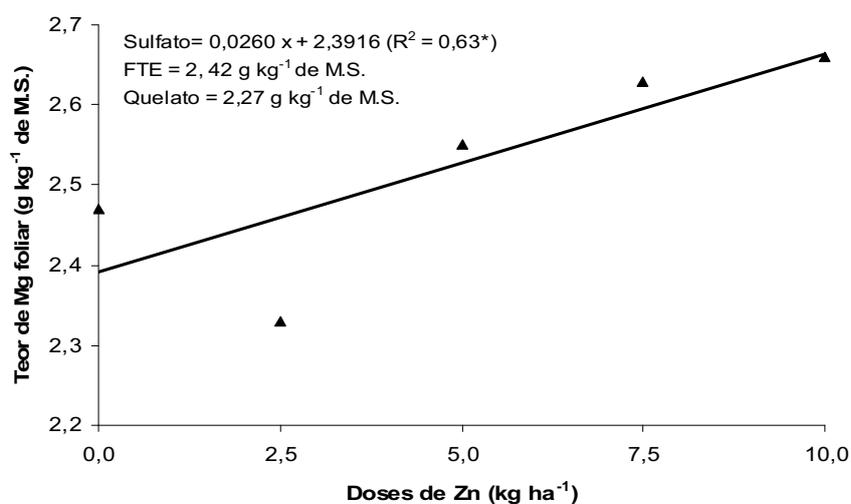


Figura 9. Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de Mg foliar da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanápolis – SP, 2008/2009.

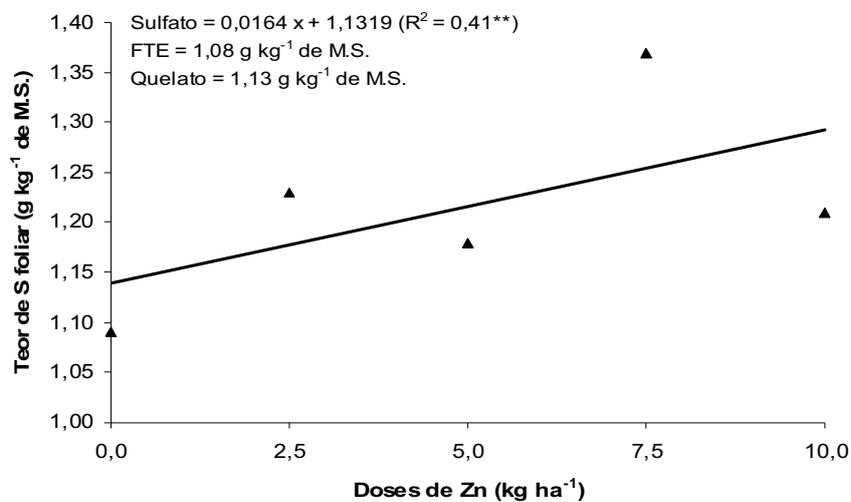


Figura 10. Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de S foliar da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanápolis – SP, 2008/2009.

Os tratamentos com zinco aplicados via solo no plantio da cana-de-açúcar não diferiram significativamente nos teores foliares de N, P, K, Mg e S da cana-planta, em relação aos tratamentos no qual o zinco foi aplicado via foliar (Tabela 12). Entretanto, o teor de Ca foliar foi significativamente superior para a adubação com zinco no solo, em relação à aplicação foliar do quelato e sulfato de zinco, independentemente da fonte e dose de Zn utilizada. Quanto aos teores dos macronutrientes da 1ª cana-soca, não houve diferença significativa entre os modos de aplicação dos tratamentos com Zn via solo ou foliar.

Tabela 12. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Cana-planta						
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	15,03 a	1,99 ab	8,66 a	4,40 ab	2,37 abc	1,21 ab
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	15,59 a	1,95 ab	7,83 a	4,48 ab	2,57 abc	1,13 b
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	15,92 a	1,71 b	8,62 a	4,43 ab	2,41 abc	1,03 b
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	14,75 a	1,82 ab	8,66 a	4,24 ab	2,36 abc	1,07 b
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	15,45 a	1,98 ab	8,83 a	4,11 ab	2,36 abc	1,06 b
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	14,61 a	1,81 ab	8,50 a	4,22 ab	2,28 abc	1,08 b
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	14,64 a	1,89 ab	8,67 a	4,50 ab	2,09 bc	1,11 b
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	15,40 a	2,21 a	9,33 a	4,49 ab	2,53 abc	1,18 ab
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	15,62 a	2,03 ab	8,67 a	4,01 bc	2,06 c	1,13 b
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	14,44 a	2,06 ab	8,67 a	4,01 bc	2,39 abc	1,14 ab
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	15,28 a	1,91 ab	8,67 a	4,02 bc	2,46 abc	1,09 b
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	15,65 a	2,07 ab	8,83 a	4,33 ab	2,33 abc	1,23 ab
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	15,09 a	1,97 ab	8,67 a	5,06 a	2,55 abc	1,18 ab
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	15,49 a	2,10 ab	9,00 a	4,63 ab	2,63 ab	1,37 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	13,34 a	1,82 ab	8,50 a	4,29 ab	2,65 a	1,21 ab
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	14,28 a	1,87 ab	8,87 a	2,24 d	2,37 abc	1,16 ab
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	14,21 a	1,78 ab	8,37 a	3,05 cd	2,64 ab	1,24 ab
D.M.S. (5%)	3,29	0,46	1,15	0,99	0,55	0,23
C.V. (%)	8,51	9,12	7,34	9,25	8,97	7,89
1ª Cana-soca						
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	16,65 a	2,14 a	12,33 a	3,96 a	2,04 a	1,22 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	18,50 a	2,08 a	12,83 a	4,38 a	2,05 a	1,29 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	18,99 a	2,01 a	13,67 a	4,85 a	2,19 a	1,30 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	18,25 a	2,04 a	12,82 a	4,01 a	1,93 a	1,29 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	18,69 a	2,00 a	12,50 a	2,28 a	2,11 a	1,32 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	18,64 a	2,08 a	12,83 a	3,81 a	2,16 a	1,35 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	18,50 a	2,04 a	13,33 a	4,53 a	2,52 a	1,26 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	18,55 a	1,92 a	13,33 a	4,09 a	2,19 a	1,27 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	18,55 a	1,95 a	12,67 a	3,75 a	2,16 a	1,30 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	18,55 a	1,95 a	12,33 a	4,28 a	2,29 a	1,30 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	18,27 a	1,89 a	12,17 a	3,83 a	2,19 a	1,21 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	17,34 a	1,91 a	12,33 a	4,06 a	2,18 a	1,27 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	19,37 a	2,05 a	12,17 a	4,53 a	2,28 a	1,28 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	18,46 a	2,08 a	12,17 a	4,61 a	2,28 a	1,28 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	19,27 a	2,00 a	12,50 a	4,25 a	2,21 a	1,26 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	18,67 a	1,97 a	13,17 a	4,23 a	2,10 a	1,29 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	18,25 a	1,92 a	13,33 a	3,69 a	1,83 a	1,27 a
D.M.S. (5%)	4,77	0,39	2,04	1,65	0,96	0,19
C.V. (%)	8,46	6,43	5,24	12,90	14,47	4,77

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 13, constata-se que os teores foliares médios de manganês, ferro e cobre da cana-planta e 1ª cana-soca, encontram-se dentro da faixa considerada adequada (25 a 250 mg de Mn, 40 a 250 mg de Fe e 6 a 15 mg de Cu kg⁻¹ de matéria seca) e que o teor foliar médio de boro da cana-planta esta acima da faixa considerada adequada (10 a 30 mg de B kg⁻¹ de matéria seca) para a cultura da cana-de-açúcar, em relação ao descrito por Raij et al. (1997). Já para 1ª cana-soca, verificou-se que o teor foliar médio de boro estava abaixo desta faixa considerada adequada. Vale et al. (2008) avaliaram os teores foliares de B, Cu, Fe, Mn e Zn da cana-de-açúcar, em 890 áreas canavieiras nas regiões de Catanduva e Ribeirão Preto, duas importantes regiões produtoras do Estado de São Paulo, e constataram que a maioria das amostras analisadas estavam com teores foliares de B, Cu e Zn abaixo do nível crítico. Vitti e Mazza (2002) também encontraram teores de micronutrientes nas folhas abaixo dos adequados, principalmente de B e Zn, nas regiões de Araçatuba e Piracicaba. Já Píperas et al. (2009), estabelecendo normas DRIS para a cultura da cana-de-açúcar em diferentes níveis de produtividade em Paraguaçu Paulista - SP, verificaram que nutrientes que apresentaram em ordem decrescente maior potencial de resposta à adubação foram B > Mn > Cu.

Reis Junior e Monnerat (2003), avaliando a relação entre os índices DRIS e os teores foliares de nutrientes na cana-de-açúcar, constataram que os teores foliares adequados de micronutrientes foram: 4,48 mg ha⁻¹ de Cu; 67,8 mg ha⁻¹ de Mn e 11,7 mg ha⁻¹ de Zn.

Quanto ao teor foliar dos micronutrientes (B, Cu e Mn) não houve diferença significativa entre as fontes de zinco aplicadas no sulco de plantio da cultura, tanto da cana-planta como da 1ª cana-soca (Tabela 13). Entretanto, verificou-se que o teor de Fe nas folhas da 1ª cana-soca foi maior com aplicação de FTE de Zn, apesar deste não diferir significativamente do quelato de Zn.

Os teores de Zn na folha, tanto da cana-planta como da 1ª cana-soca, não foram influenciados pelas fontes de Zn (sulfato, FTE e Zn quelatizado) aplicadas no sulco de plantio da cultura (Tabela 13). Contudo, ressalta-se que os teores foliares de zinco da cana-planta e da 1ª cana-soca, independente da dose aplicada, encontram-se dentro da faixa considerada adequada (10 a 50 mg de Zn kg⁻¹ de matéria seca) para a cultura da cana-de-açúcar, conforme descrito em Raij et al. (1997). Entretanto, Malavolta et al. (1997) indicam que a faixa adequada para o teor de Zn foliar (folha +3) em cana-de-açúcar é maior em cana-planta (25-50 mg kg⁻¹ de M.S.), comparado a cana-soca (25-30 mg kg⁻¹ de M.S.), sendo assim, todos os teores foliares de zinco estariam abaixo da faixa considerada adequada. Contudo, é importante destacar que estes autores recomendam a coleta da folha +3 (folha mais velha), 4 meses após a brotação da cana-de-açúcar. De acordo com Costa Filho e Prado (2008), o fato das soqueiras apresentarem menor teor de

zinco nos tecidos foliares, comparado à cana-planta, é um indicativo de maior tolerância à menor disponibilidade de zinco no solo, sem que ocorra prejuízo na produtividade.

A aplicação das doses de Zn no sulco de plantio, não influenciaram os teores foliares de B, Cu, Fe e Mn, nos dois primeiros ciclos da cultura (Tabela 13). Entretanto, as doses de Zn influenciaram significativamente os teores de Zn foliar da cana-planta e da 1ª cana-soca, ajustando-se sempre à função linear crescente, independente da fonte de Zn (Figura 11). Costa Filho e Prado (2008), avaliando a aplicação de doses de zinco na 3ª cana-soca, também verificaram incrementos lineares significativos nos teores foliares de zinco. Contudo, Andrade et al. (1995), trabalhando com a aplicação de fritas e de fontes solúveis de boro, cobre e zinco (sulfato de Zn) no sulco de plantio, verificaram que tanto a aplicação conjunta (fritas) como a aplicação isolada de micronutrientes, não resultou em aumento dos teores foliares de Zn da cana-planta e efeito residual desta adubação na 1ª cana-soca, em um Latossolo Vermelho distrófico de textura média com baixo teor de Zn ($0,3 \text{ mg dm}^{-3}$).

Tabela 13. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) nas folhas da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- (mg kg ⁻¹ de MS) -----					
Cana-planta					
Fontes de Zn					
FTE	67,97 a	14,55 a	219,25 a	180,70 a	15,85 a
Quelato de Zn	73,31 a	13,20 a	209,06 a	176,55 a	17,20 a
Sulfato de Zn	66,90 a	12,75 a	231,95 a	188,35 a	16,45 a
D.M.S. (5%)	12,14	1,84	40,03	27,49	1,72
Doses de Zn (kg ha⁻¹)					
0	64,63 ^{ns}	13,00 ^{ns}	230,30 ^{ns}	188,25 ^{ns}	11,75
2,5	71,87	14,25	197,75	184,75	13,75
5,0	71,71	12,83	216,33	186,92	17,17
7,5	71,58	13,92	222,25	178,33	19,50
10,0	65,50	13,50	233,80	171,08	20,33
Média geral	69,06	13,50	220,09	181,87	16,50
C.V. (%)	22,88	17,75	23,66	19,67	13,56
1ª Cana-soca					
Fontes de Zn					
FTE	9,72 a	7,46 a	80,93 a	92,07 a	19,60 a
Quelato de Zn	9,04 a	6,87 a	77,00 ab	97,93 a	20,53 a
Sulfato de Zn	8,20 a	8,07 a	75,27 b	98,00 a	20,33 a
D.M.S. (5%)	1,53	3,01	5,46	16,55	1,52
Doses de Zn (kg ha⁻¹)					
0	8,30 ^{ns}	7,56 ^{ns}	76,56 ^{ns}	97,00 ^{ns}	19,44
2,5	8,89	8,11	81,89	99,33	19,89
5,0	9,89	6,67	76,89	86,89	20,22
7,5	9,07	8,44	76,11	105,56	20,00
10,0	8,79	6,56	77,22	91,22	21,22
Média geral	8,99	7,47	77,73	96,00	20,16
C.V. (%)	18,82	23,63	7,77	19,07	8,35

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão.

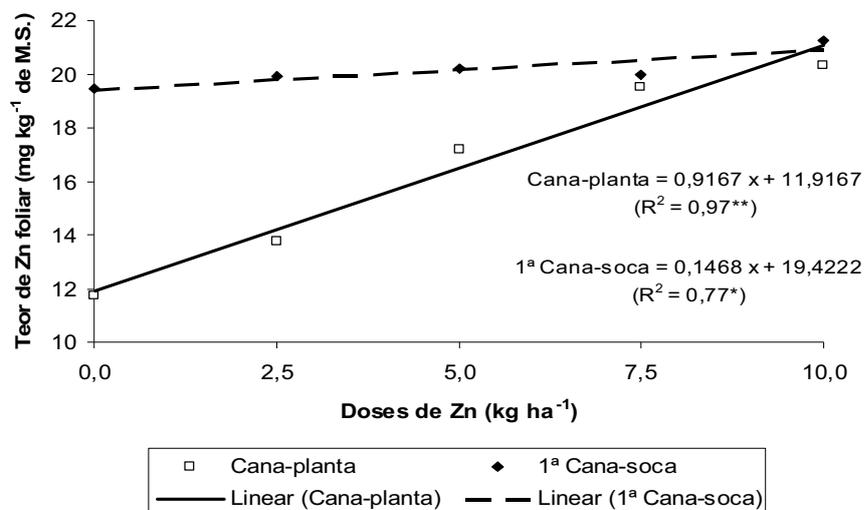


Figura 11. Equações de regressão referentes ao teor de Zn foliar da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

As adubações com zinco aplicada via solo com FTE, quelato e sulfato não diferiram significativamente da aplicação via foliar deste nutriente nas formas de quelato e sulfato de Zn para os teores de B, Cu, Fe e Mn nas folhas da cana-planta e da 1ª cana-soca (Tabela 14). Entretanto, para os teores foliares de Zn da cana-planta houve diferença entre os tratamentos, com destaque para as maiores doses (10,0 e 7,5 kg ha⁻¹ de Zn) de quelato aplicadas no solo, as quais proporcionaram os maiores teores de Zn foliar e diferiram significativamente dos tratamentos de adubação foliar com quelato e sulfato de Zn. Este resultado pode ser decorrente da maior solubilidade do quelato em relação as demais fontes de Zn, isto explica porque o Zn proveniente do quelato foi absorvido em maior quantidade pela planta.

Tabela 14. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) nas folhas da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- (mg kg ⁻¹ de MS) -----				
Cana-planta					
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	65,51 a	14,50 a	239,75 a	191,00 a	11,25 f
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	69,40 a	16,00 a	176,50 a	170,25 a	13,25 def
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	58,32 a	14,75 a	208,50 a	184,25 a	16,50 bcdef
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	84,54 a	13,50 a	239,50 a	177,50 a	18,75 abcd
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	62,07 a	14,25 a	232,00 a	180,00 a	19,50 abc
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	63,16 a	12,25 a	199,90 a	180,25 a	11,50 f
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	78,29 a	14,50 a	202,25 a	170,25 a	14,00 cdef
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	77,71 a	11,50 a	221,75 a	190,00 a	17,75 abcde
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	68,58 a	14,00 a	226,50 a	171,25 a	20,25 ab
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	73,79 a	13,75 a	194,90 a	171,00 a	22,50 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	65,21 a	12,25 a	251,25 a	193,00 a	12,50 ef
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	67,93 a	12,25 a	214,50 a	213,00 a	14,00 cdef
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	79,10 a	12,50 a	218,75 a	186,50 a	17,25 abcde
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	61,60 a	14,25 a	200,75 a	186,25 a	19,50 abc
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	60,65 a	12,50 a	274,50 a	162,25 a	19,00 abc
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	59,19 a	15,50 a	204,00 a	217,25 a	14,25 cdef
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	60,27 a	12,75 a	231,75 a	182,25 a	14,00 cdef
D.M.S. (5%)	38,65	6,10	135,63	88,34	5,66
C.V. (%)	22,04	17,42	23,90	18,61	13,52
1ª Cana-soca					
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	9,48 a	8,67 a	81,67 a	93,00 a	18,33 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	9,06 a	5,67 a	90,67 a	84,33 a	20,00 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,07 a	8,00 a	78,00 a	92,00 a	19,00 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	8,89 a	7,33 a	74,00 a	94,33 a	20,33 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	9,40 a	5,67 a	80,33 a	96,67 a	20,33 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	7,47 a	7,33 a	72,67 a	98,33 a	20,33 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	9,79 a	8,00 a	83,67 a	111,33 a	19,33 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	9,73 a	5,33 a	72,67 a	81,67 a	21,33 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	9,65 a	5,67 a	75,67 a	110,00 a	20,00 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	8,47 a	7,00 a	80,33 a	88,33 a	21,67 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	7,90 a	6,67 a	75,33 a	99,67 a	19,67 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	7,75 a	9,67 a	71,33 a	102,33 a	20,33 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	8,26 a	4,67 a	80,00 a	87,00 a	20,33 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	8,68 a	10,67 a	78,67 a	112,33 a	19,67 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	8,43 a	7,00 a	71,00 a	88,67 a	21,67 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	7,97 a	7,00 a	74,33 a	100,00 a	20,67 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	8,86 a	6,33 a	80,00 a	99,67 a	20,00 a
D.M.S. (5%)	5,21	8,38	20,35	57,40	5,71
C.V. (%)	19,11	30,56	8,56	19,45	9,26

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

4.2.2. Teores de nutrientes no colmo

Os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e S) nos colmos da cana-planta, assim como da 1ª cana-soca não diferiram significativamente quanto às fontes de Zn (FTE, quelato e sulfato) aplicadas no sulco de plantio da cultura (Tabela 15). Por outro lado, o teor de Mg no colmo da 1ª cana-soca foi superior quando foi aplicado o sulfato de Zn, apesar deste não diferir significativamente do quelato de Zn.

Com relação às doses de Zn (Tabela 15), estas não afetaram os teores de P, K, Ca e Mg no colmo da cana-de-açúcar em ambos cultivos. Por sua vez, o teor de N no colmo da cana-planta foi influenciado significativamente pelas doses de Zn, ajustando-se a uma função quadrática com o ponto de máximo teor de N sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 5,7 kg ha⁻¹ de Zn (Figura 12). Este resultado se deve ao fato da cana-de-açúcar não estar deficiente em Zn (Tabela 13), pois caso contrário isto seria difícil de ocorrer, já que conforme relatado por Prado (2008), o Zn está ligado ao metabolismo do N nas plantas supridas com nitrato e sua deficiência leva ao acúmulo de N-NO₃⁻, podendo reduzir a síntese de aminoácidos.

Para o teor de S no colmo da 1ª cana-soca houve interação entre fontes e doses de Zn, sendo constatada resposta apenas para o sulfato de Zn que se ajustou a função quadrática com o ponto de máximo acúmulo de S sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 4,89 kg ha⁻¹ de Zn (Figura 13). Este resultado mostra que houve efeito residual do sulfato de Zn (11% de S) aplicado no sulco de plantio, no segundo cultivo da cana-de-açúcar.

Tabela 15. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g kg ⁻¹ de MS) -----						
Cana-planta						
Fontes de Zn						
FTE	3,80 a	0,56 a	2,23 a	0,38 a	0,45 a	0,37 a
Quelato de Zn	3,85 a	0,51 a	2,33 a	0,35 a	0,46 a	0,38 a
Sulfato de Zn	3,64 a	0,51 a	2,20 a	0,32 a	0,46 a	0,37 a
D.M.S. (5%)	0,60	0,08	0,38	0,07	0,06	0,02
Doses de Zn (kg ha⁻¹)						
0	3,30	0,51 ^{ns}	1,94 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,37 ^{ns}
2,5	3,81	0,53	2,27	0,35	0,44	0,38
5,0	4,38	0,56	2,44	0,35	0,47	0,38
7,5	3,52	0,50	2,27	0,34	0,44	0,37
10,0	3,82	0,53	2,33	0,39	0,50	0,37
Média geral	3,77	0,53	2,26	0,35	0,46	0,37
C.V. (%)	17,69	16,99	18,40	20,87	14,67	5,21
1ª Cana-soca						
Fontes de Zn						
FTE	3,21 a	0,32 a	2,83 a	0,54 a	0,57 b	0,50 a
Quelato de Zn	3,09 a	0,28 a	2,60 a	0,58 a	0,63 ab	0,57 a
Sulfato de Zn	3,13 a	0,31 a	3,03 a	0,60 a	0,68 a	0,56 a
D.M.S. (5%)	0,29	0,09	0,90	0,10	0,10	0,09
Doses de Zn (kg ha⁻¹)						
0	2,98 ^{ns}	0,26 ^{ns}	2,17 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,51
2,5	3,42	0,33	3,11	0,54	0,62	0,56
5,0	2,98	0,29	2,89	0,63	0,66	0,56
7,5	3,10	0,29	2,94	0,61	0,66	0,59
10,0	3,24	0,34	3,00	0,56	0,63	0,51
Média geral	3,14	0,30	2,82	0,57	0,62	0,54
C.V. (%)	10,32	7,04	15,07	19,07	18,28	18,66

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão.

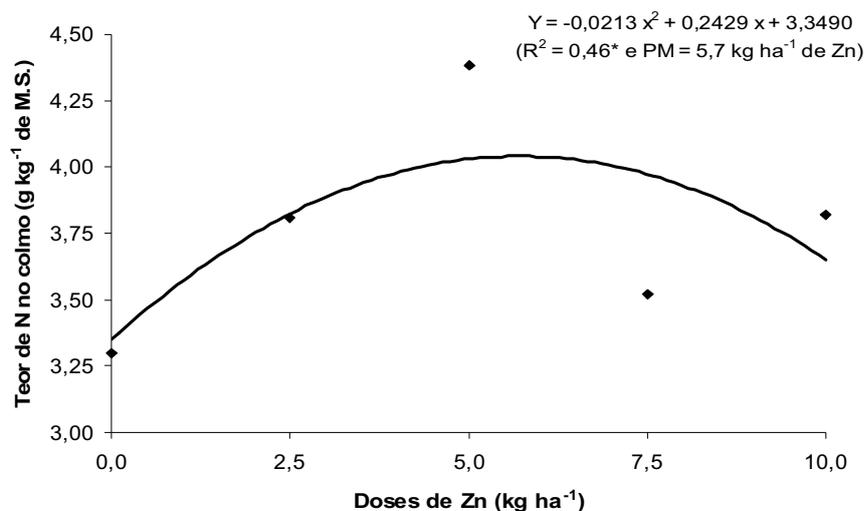


Figura 12. Equação de regressão referente ao teor de N no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

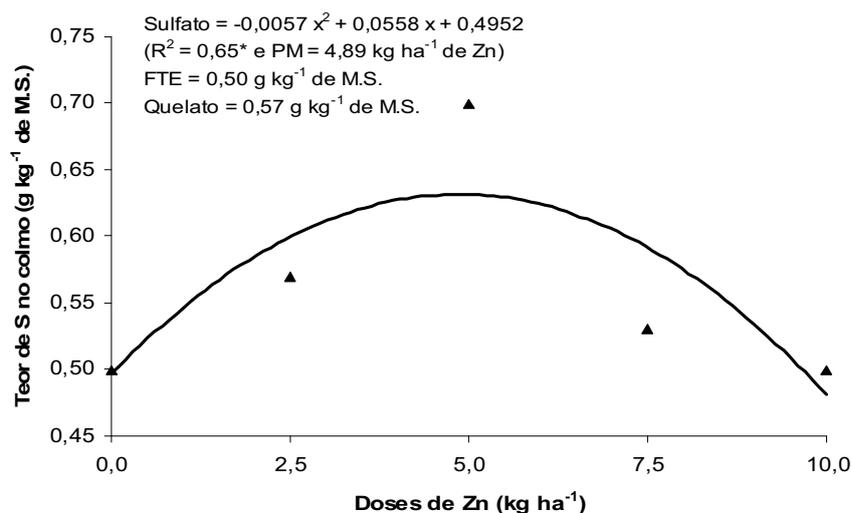


Figura 13. Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de S no colmo da cana-de-açúcar (1^a cana-soca). Suzanápolis – SP, 2009/2010.

Na Tabela 16, observa-se que os teores de N, P, Ca, Mg e S no colmo da cana-planta não diferiram significativamente para os tratamentos aplicados via solo no plantio da cana-de-açúcar, em relação aos que foram aplicados via foliar. Entretanto, verificou-se que o teor de K no colmo da cana-planta proporcionado pelo sulfato de Zn via foliar foi o único tratamento significativamente inferior ao melhor tratamento (5,0 kg ha⁻¹ de Zn, na forma quelato aplicado via solo).

Tabela 16. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- (g kg ⁻¹ de MS) -----					
Cana-planta						
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,68 b	0,60 a	2,00 ab	0,36 a	0,44 a	0,36 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,08 ab	0,64 a	2,76 ab	0,34 a	0,48 a	0,37 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,65 a	0,49 a	2,16 ab	0,39 a	0,49 a	0,37 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,51 ab	0,55 a	2,16 ab	0,38 a	0,42 a	0,38 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,08 ab	0,54 a	2,50 ab	0,44 a	0,45 a	0,37 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,58 ab	0,42 a	2,00 ab	0,35 a	0,45 a	0,40 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,09 ab	0,51 a	2,17 ab	0,41 a	0,45 a	0,39 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,43 ab	0,60 a	3,00 a	0,36 a	0,49 a	0,39 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,39 ab	0,47 a	2,17 ab	0,28 a	0,44 a	0,37 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,78 ab	0,53 a	2,33 ab	0,37 a	0,48 a	0,37 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,63 ab	0,49 a	1,83 ab	0,29 a	0,43 a	0,36 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,26 ab	0,45 a	2,50 ab	0,29 a	0,40 a	0,38 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,06 ab	0,62 a	2,00 ab	0,32 a	0,42 a	0,38 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,66 ab	0,49 a	2,50 ab	0,35 a	0,45 a	0,36 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,59 ab	0,49 a	2,16 ab	0,36 a	0,57 a	0,36 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,11 ab	0,46 a	2,33 ab	0,46 a	0,55 a	0,38 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,03 ab	0,44 a	1,67 b	0,42 a	0,52 a	0,36 a
D.M.S. (5%)	1,96	0,35	1,22	0,22	0,19	0,06
C.V. (%)	16,85	22,13	17,88	19,96	13,64	4,94
1ª Cana-soca						
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,33 ab	0,33 a	2,67 a	0,53 a	0,57 a	0,50 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,23 ab	0,30 a	2,50 a	0,50 a	0,60 a	0,53 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,17 ab	0,30 a	3,17 a	0,57 a	0,50 a	0,47 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,13 ab	0,33 a	3,17 a	0,50 a	0,60 a	0,50 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,17 ab	0,33 a	2,67 a	0,60 a	0,57 a	0,50 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,63 b	0,20 a	1,83 a	0,50 a	0,53 a	0,53 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,73 a	0,33 a	3,00 a	0,60 a	0,63 a	0,57 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,90 ab	0,33 a	2,33 a	0,60 a	0,60 a	0,50 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,00 ab	0,20 a	2,83 a	0,70 a	0,80 a	0,73 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,20 ab	0,33 a	3,00 a	0,50 a	0,57 a	0,53 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,97 ab	0,23 a	2,00 a	0,53 a	0,57 a	0,50 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,30 ab	0,37 a	3,83 a	0,53 a	0,67 a	0,57 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,87 ab	0,23 a	3,17 a	0,73 a	0,77 a	0,70 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,17 ab	0,33 a	2,83 a	0,63 a	0,70 a	0,53 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,37 ab	0,37 a	3,33 a	0,57 a	0,70 a	0,50 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,57 ab	0,40 a	4,00 a	0,60 a	0,60 a	0,53 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	3,10 ab	0,46 a	2,97 a	0,80 a	0,57 a	0,50 a
D.M.S. (5%)	0,98	0,32	3,13	0,34	0,33	0,30
C.V. (%)	10,14	32,90	33,22	18,94	17,66	18,14

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Os teores de micronutrientes (B, Cu e Mn) nos colmos da cana-planta, assim como da 1ª cana-soca não diferiram significativamente quanto às fontes de Zn (FTE, quelato e sulfato) aplicadas no sulco de plantio da cultura (Tabela 17). Contudo, o teor de Fe no colmo da 1ª cana-soca foi superior quando do uso da fonte sulfato de Zn, apesar deste não diferir significativamente do FTE de Zn.

Os teores de Zn no colmo, tanto da cana-planta como da 1ª cana-soca, não foram influenciados pelas fontes de Zn (sulfato, FTE e Zn quelatizado) aplicadas no sulco de plantio da cultura (Tabela 17). Contudo, ressalta-se que os teores de Zn no colmo foram mais elevados no colmo da cana-planta em relação aos colmos da 1ª cana-soca. Esta menor concentração de zinco no colmo na cana-de-açúcar pode ter ocorrido devido ao fato de que no cultivo da 1ª cana-soca não foi realizada a adubação com zinco, mas sim efeito residual desta adubação realizada na cana-planta. Amorin et al. (2007) encontraram teor médio de Zn ($10,97 \text{ mg kg}^{-1}$ de M.S.) inferior no colmo de dez variedades de cana-de-açúcar, no quarto corte e sem adubação com micronutrientes, em Catanduva-SP.

As doses de Zn não afetaram significativamente os teores de Cu, Fe e Mn no colmo da cana-planta e da 1ª cana-soca (Tabela 17). Entretanto, o teor de B no colmo da cana-de-açúcar foi influenciado pelas doses de Zn. Para cana-planta o incremento das doses de Zn proporcionou aumento linear do teor deste micronutriente (Figura 14). Enquanto para 1ª cana-soca, houve interação entre fontes e doses de Zn, sendo constatada resposta quadrática para o quelato de Zn, com o ponto de máximo teor de B sendo alcançado com a estimativa de aplicação de $4,28 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn, e ajuste a função linear decrescente para o sulfato de Zn (Figura 15).

Os teores de Zn no colmo da cana-planta e da 1ª cana-soca foram influenciados significativamente pelas doses de Zn, ajustando-se sempre à função linear crescente, independente da fonte de Zn (Figura 16). Este resultado, também foi observado para os teores de Zn foliar nos dois cultivos (Figura 11), portanto, a adubação com zinco no sulco de plantio da cana-de-açúcar, cultivada em solos com baixos teores deste elemento, proporcionou aumento da absorção de Zn pela planta, inclusive com efeito residual para a 1ª cana-soca.

Tabela 17. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- (mg kg ⁻¹ de MS) -----					
Cana-planta					
Fontes de Zn					
FTE	20,72 a	5,80 a	44,71 a	41,80 a	36,87 a
Quelato de Zn	24,43 a	5,53 a	42,51 a	45,00 a	40,80 a
Sulfato de Zn	24,08 a	5,00 a	45,53 a	44,67 a	41,33 a
D.M.S. (5%)	5,60	1,69	7,75	6,32	5,72
Doses de Zn (kg ha⁻¹)					
0	21,14	4,67 ^{ns}	44,81 ^{ns}	45,00 ^{ns}	32,78
2,5	19,56	5,44	49,17	45,88	37,11
5,0	23,14	5,56	45,89	36,67	40,56
7,5	26,12	5,56	41,94	42,55	45,67
10,0	25,41	6,00	39,44	42,33	42,22
Média geral	23,07	5,44	44,25	42,49	39,67
C.V. (%)	26,84	34,42	19,38	16,49	15,96
1ª Cana-soca					
Fontes de Zn					
FTE	5,46 a	- *	57,33 ab	59,60 a	15,73 a
Quelato de Zn	5,28 a	-	44,73 b	61,27 a	15,40 a
Sulfato de Zn	4,68 a	-	73,33 a	55,93 a	14,67 a
D.M.S. (5%)	0,72	-	16,88	11,13	4,29
Doses de Zn (kg ha⁻¹)					
0	5,39	-	54,56 ^{ns}	62,22 ^{ns}	9,67
2,5	5,10	-	54,22	58,11	14,00
5,0	5,41	-	56,89	51,78	15,00
7,5	4,83	-	61,56	59,44	17,78
10,0	4,97	-	65,11	63,11	19,89
Média geral	5,14	-	58,47	58,93	15,27
C.V. (%)	15,45	-	16,32	20,90	31,08

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão. *Teores de Cu muito baixos.

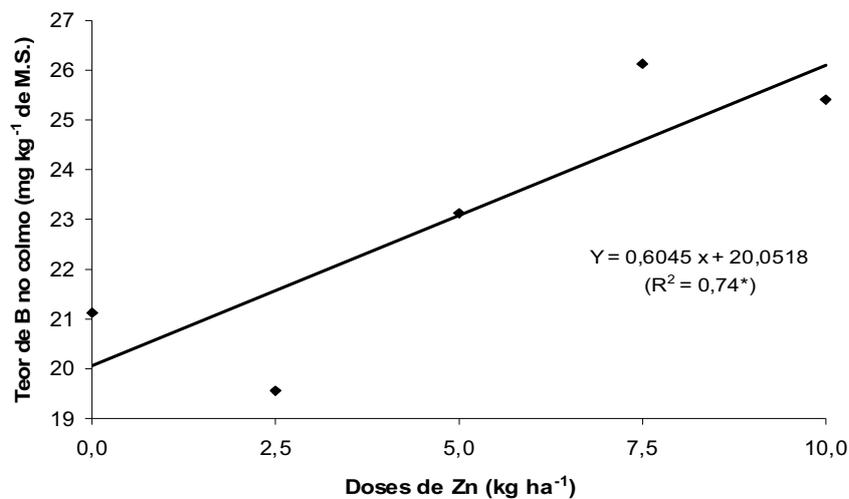


Figura 14. Equação de regressão referente ao teor de B no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

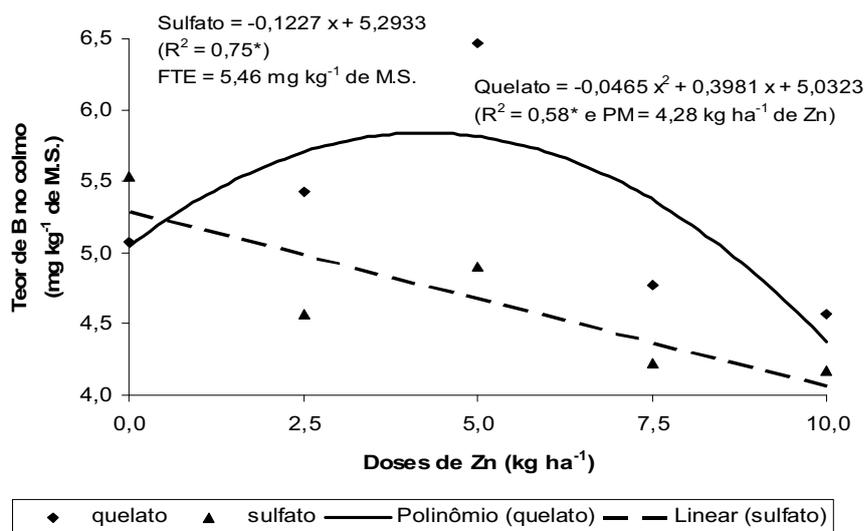


Figura 15. Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de B no colmo da cana-de-açúcar (1^a cana-soca). Suzanápolis – SP, 2009/2010.

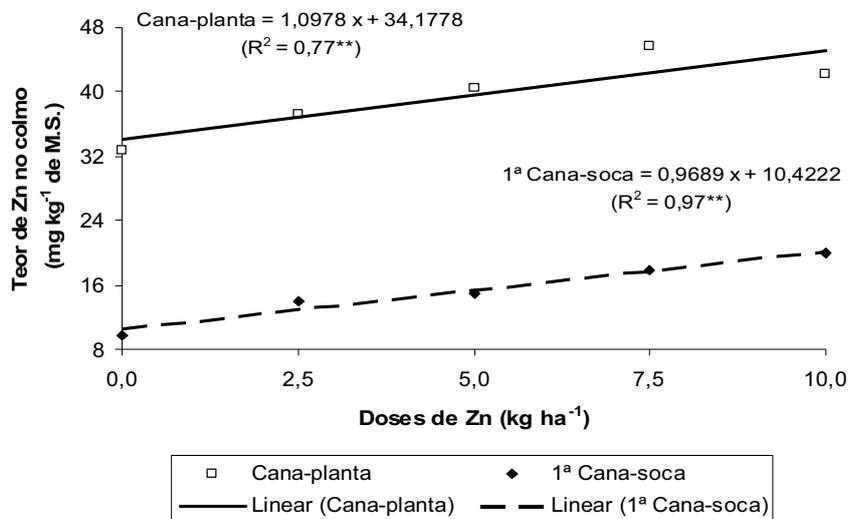


Figura 16. Equações de regressão referentes ao teor de Zn no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª Cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Com relação aos teores dos micronutrientes B, Cu, Fe e Mn no colmo da cana-de-açúcar não houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados via solo e os via foliar (Tabela 18). Contudo, vale ressaltar que o teor de Zn no colmo da cana-planta foi inferior para os tratamentos que não receberam aplicação de Zn e para o quelato aplicado via foliar, e que o tratamento que proporcionou o maior teor de Zn no colmo, apesar de não diferir de todos tratamentos, foi o sulfato na dose de 7,5 kg ha⁻¹ de Zn aplicado ao solo.

Tabela 18. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- (mg kg ⁻¹ de MS) -----				
Cana-planta					
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	21,22 a	4,67 a	50,20 a	44,33 a	32,33 b
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	17,58 a	5,67 a	55,67 a	41,33 a	36,00 ab
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	17,24 a	6,00 a	38,67 a	34,00 a	33,67 b
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	20,58 a	7,67 a	46,33 a	42,33 a	42,00 ab
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	26,95 a	5,00 a	32,67 a	47,00 a	40,33 ab
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	22,27 a	6,33 a	48,22 a	44,67 a	33,33 b
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	22,67 a	5,33 a	43,83 a	45,33 a	37,33 ab
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	25,32 a	6,00 a	42,00 a	45,33 a	45,67 ab
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	31,64 a	4,00 a	37,50 a	46,00 a	43,00 ab
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	20,25 a	6,00 a	41,00 a	43,67 a	44,67 ab
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	19,93 a	3,00 a	36,00 a	46,00 a	32,67 b
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	18,42 a	5,33 a	48,00 a	51,00 a	38,00 ab
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	26,84 a	4,66 a	57,00 a	30,67 a	42,33 ab
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	26,15 a	5,00 a	42,00 a	39,33 a	52,00 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	29,05 a	7,00 a	44,67 a	36,33 a	41,67 ab
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	21,07 a	6,00 a	48,00 a	33,00 a	32,33 b
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	19,41 a	7,00 a	47,00 a	42,00 a	34,00 ab
D.M.S. (5%)	18,23	5,99	26,60	20,69	18,28
C.V. (%)	26,20	35,15	19,47	16,14	15,35
1ª Cana-soca					
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,53 a	- *	57,67 a	57,33 a	11,00 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,30 a	-	52,33 a	57,67 a	15,33 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,77 a	-	55,67 a	51,67 a	13,67 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,50 a	-	52,00 a	59,00 a	18,33 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,57 a	-	69,00 a	72,33 a	20,33 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,06 a	-	35,00 a	65,67 a	10,33 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,43 a	-	40,67 a	56,33 a	15,33 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	6,57 a	-	45,00 a	53,67 a	14,33 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,77 a	-	60,00 a	72,00 a	18,00 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,57 a	-	43,00 a	58,67 a	20,33 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,53 a	-	71,00 a	63,67 a	7,67 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,57 a	-	69,67 a	60,33 a	11,33 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,90 a	-	72,66 a	50,00 a	17,00 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,23 a	-	72,67 a	47,33 a	17,00 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,17 a	-	83,33 a	58,33 a	20,33 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,77 a	-	59,00 a	56,33 a	8,33 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	6,03 a	-	67,67 a	64,33 a	13,33 a
D.M.S. (5%)	2,96	-	53,98	46,66	14,57
C.V. (%)	18,47	-	29,88	25,80	32,29

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. *Teores de Cu muito baixos.

4.2.3. Teores de nutrientes na palhada (ponteiro + folhas)

Os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na palhada (ponteiro + folhas), remanescente da ocasião da colheita da cana-planta, assim como da 1ª cana-soca, não diferiram significativamente quanto às fontes de Zn (FTE, quelato e sulfato) aplicadas no sulco de plantio da cultura (Tabela 19).

Tabela 19. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g kg ⁻¹ de MS) -----						
Cana-planta						
Fontes de Zn						
FTE	5,80 a	0,50 a	1,65 a	4,94 a	2,82 a	0,73 a
Quelato de Zn	6,00 a	0,47 a	2,10 a	4,76 a	2,52 a	0,79 a
Sulfato de Zn	5,80 a	0,50 a	1,80 a	4,70 a	2,71 a	0,82 a
D.M.S. (5%)	0,93	0,12	0,71	1,19	0,55	0,17
Doses de Zn (kg ha⁻¹)						
0	5,50	0,25	1,25	4,66	2,85 ^{ns}	0,68
2,5	5,33	0,42	1,67	3,66	2,32	0,78
5,0	7,17	0,48	2,42	4,36	2,62	0,77
7,5	5,83	0,57	2,00	5,67	2,97	0,79
10,0	5,50	0,59	1,92	5,64	2,66	0,88
Média geral	5,87	0,46	1,85	4,80	2,68	0,78
C.V. (%)	13,51	21,46	32,68	21,16	17,60	18,65
1ª Cana-soca						
Fontes de Zn						
FTE	6,82 a	0,89 a	10,88 a	2,76 a	1,56 a	0,94 a
Quelato de Zn	6,58 a	0,77 a	11,50 a	3,26 a	1,62 a	0,93 a
Sulfato de Zn	6,45 a	0,80 a	12,00 a	3,01 a	1,61 a	0,94 a
D.M.S. (5%)	1,19	0,26	2,74	0,56	0,19	0,04
Doses de Zn (kg ha⁻¹)						
0	6,81	0,98	11,78	2,96 ^{ns}	1,45	0,93 ^{ns}
2,5	6,75	0,87	12,44	3,00	1,52	0,95
5,0	6,63	0,86	11,28	2,74	1,65	0,94
7,5	5,77	0,54	12,67	3,61	1,75	0,92
10,0	7,12	0,86	9,14	2,74	1,61	0,93
Média geral	6,15	0,82	11,46	3,01	1,60	0,93
C.V. (%)	19,97	34,57	26,44	20,66	13,50	4,89

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão.

O teor de N na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar foi influenciado pelas doses de Zn. Para cana-planta houve ajuste a função quadrática, com o ponto de máximo teor de N sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 5,25 kg ha⁻¹ de Zn (Figura 17). Já para 1ª cana-soca, houve interação entre fontes e doses de Zn, sendo ajustada apenas a função linear decrescente para o sulfato de Zn (Figura 18).

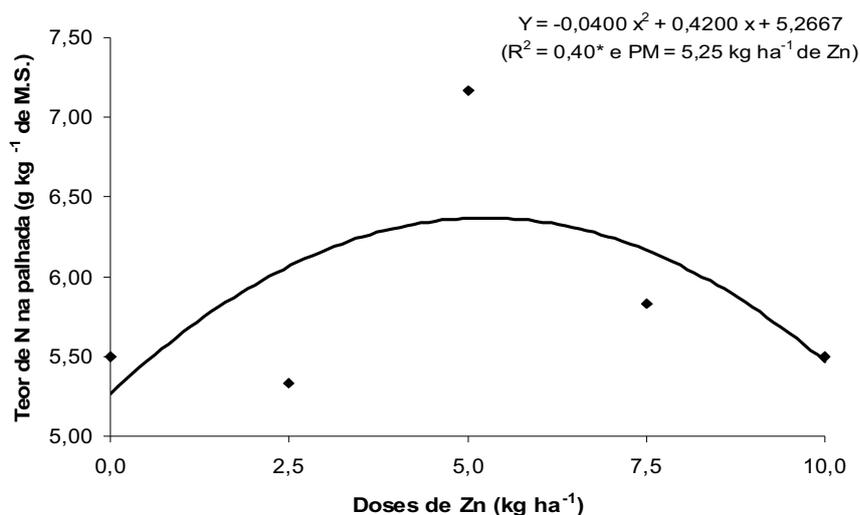


Figura 17. Equação de regressão referente ao teor de N na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

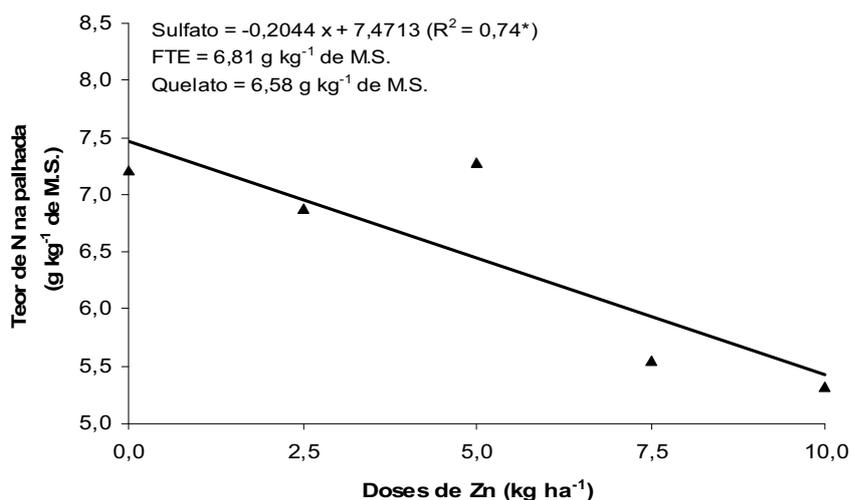


Figura 18. Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de N na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (1ª cana-soca). Suzanápolis – SP, 2009/2010.

O teor de P na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar foi influenciado pelas doses de Zn. Para cana-planta que teve menor produtividade de colmos, houve ajuste a função linear crescente (Figura 19), enquanto para 1ª cana-soca que foi mais produtiva, houve interação entre fontes e doses de Zn, sendo encontrado apenas ajuste a função linear decrescente para o sulfato de Zn (Figura 20).

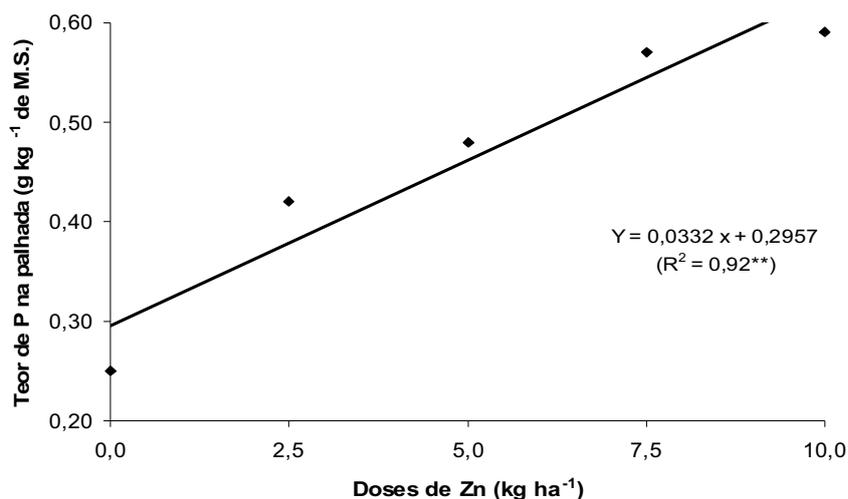


Figura 19. Equação de regressão referente ao teor de P na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

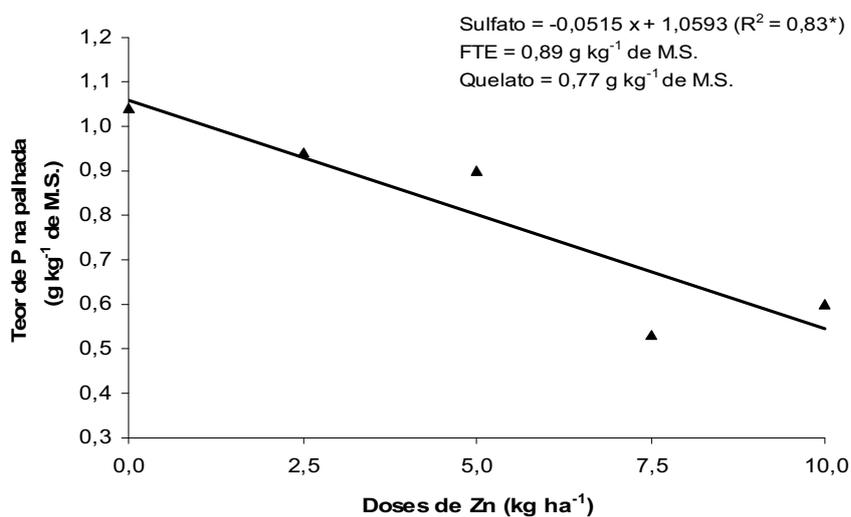


Figura 20. Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de P na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (1ª cana-soca). Suzanápolis – SP, 2009/2010.

Com relação ao teor de K na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar também houve influência das doses de Zn. Para cana-planta houve ajuste a função quadrática, com o ponto de máximo teor de K sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 6,34 kg ha⁻¹ de Zn, independentemente da fonte de Zn (Figura 21). Já para 1ª cana-soca, houve interação entre fontes e doses de Zn, sendo observado apenas para o sulfato de Zn ajuste a função quadrática, com o ponto de máximo teor de K sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 3,41 kg ha⁻¹ de Zn (Figura 22).

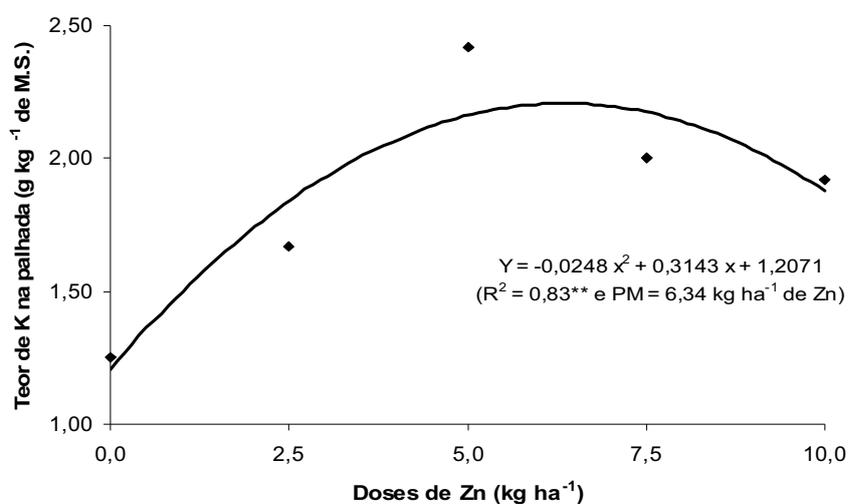


Figura 21. Equação de regressão referente ao teor de K na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

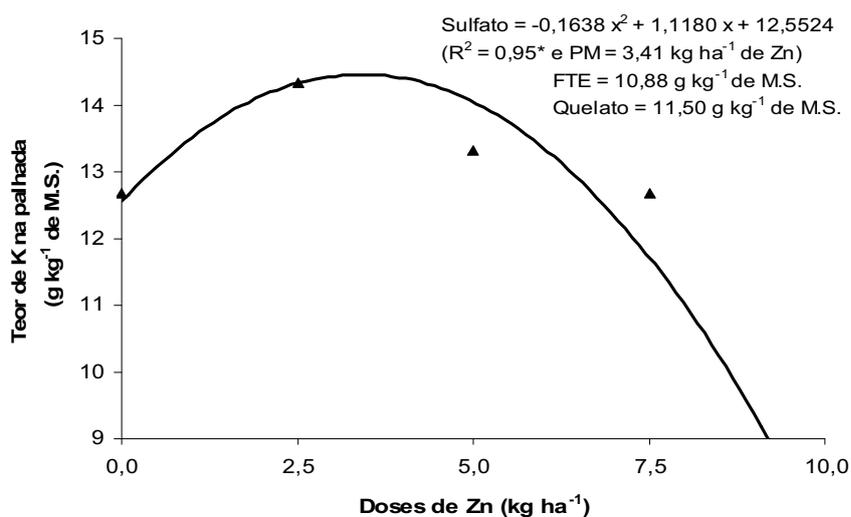


Figura 22. Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de K na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (1ª cana-soca). Suzanápolis – SP, 2009/2010.

As doses de Zn influenciaram o teor de Ca e S na palhada (ponteiro + folhas) da cana-planta, ajustando-se para ambos os macronutrientes a função linear crescente (Figuras 23 e 24). O incremento das doses de Zn também proporcionou aumento linear do teor de Mg na palhada, porém para 1ª cana-soca (Figura 25).

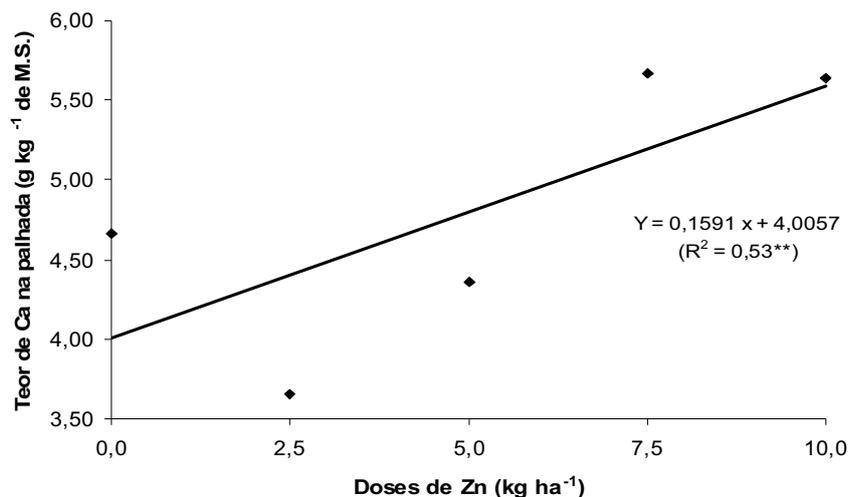


Figura 23. Equação de regressão referente ao teor de Ca na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

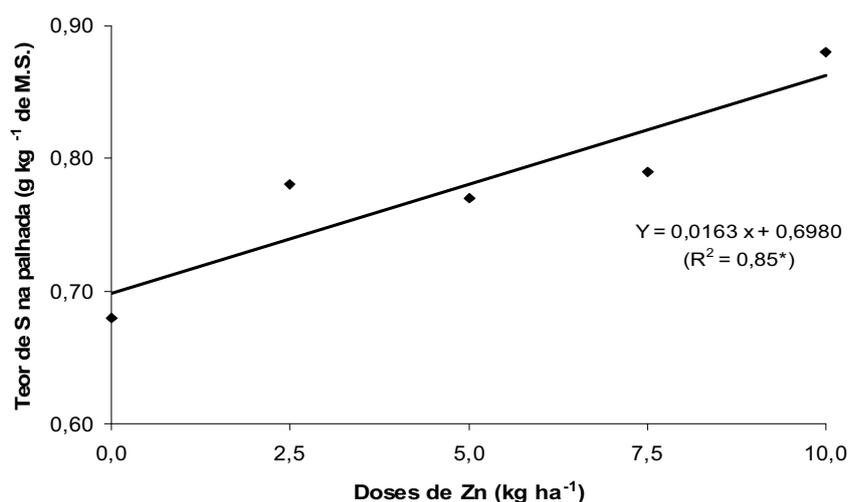


Figura 24. Equação de regressão referente ao teor de S na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

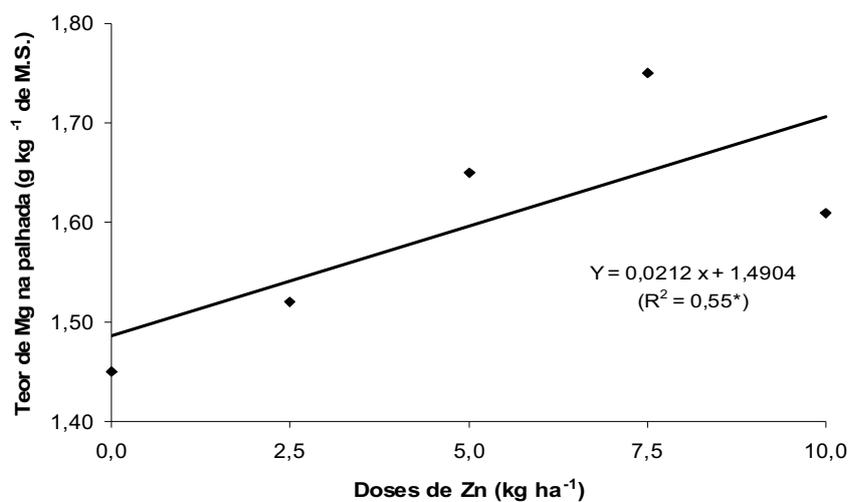


Figura 25. Equação de regressão referente ao teor de Mg na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (1^a cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2009/2010.

Na Tabela 20, verifica-se que os teores de N, P, K, Ca, Mg e S presentes no ponteiro + folhas remanescentes da ocasião da colheita, tanto da cana-planta como da 1^a cana-soca, não diferiram significativamente para os tratamentos aplicados via solo ou via foliar.

Tabela 20. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Cana-planta						
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,50 a	0,29 bcd	1,00 a	4,32 a	2,90 a	0,53 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,50 a	0,44 abcd	1,50 a	4,42 a	2,60 a	0,68 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	7,00 a	0,58 abcd	1,50 a	4,76 a	2,50 a	0,81 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,50 a	0,67 ab	2,25 a	4,95 a	3,08 a	0,77 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	6,50 a	0,50 abcd	2,00 a	6,23 a	2,99 a	0,85 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	6,00 a	0,23 cd	1,25 a	4,68 a	2,90 a	0,76 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,50 a	0,34 abcd	2,00 a	3,54 a	2,30 a	0,76 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	7,00 a	0,35 abcd	3,25 a	3,97 a	2,41 a	0,79 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	6,50 a	0,41 abcd	1,75 a	6,03 a	2,89 a	0,72 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,00 a	0,70 a	2,25 a	5,58 a	2,09 a	0,89 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,00 a	0,22 d	1,50 a	4,98 a	2,74 a	0,74 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	6,00 a	0,46 abcd	1,50 a	3,01 a	2,05 a	0,89 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	7,50 a	0,51 abcd	2,50 a	4,34 a	2,93 a	0,71 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,50 a	0,60 abcd	2,00 a	6,05 a	2,93 a	0,88 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,00 a	0,56 abcd	1,50 a	5,12 a	2,87 a	0,87 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	6,15 a	0,63 abc	2,50 a	4,65 a	2,50 a	0,66 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,91 a	0,64 ab	1,75 a	5,91 a	3,04 a	0,69 a
D.M.S. (5%)	3,03	0,40	2,52	4,04	1,85	0,58
C.V. (%)	12,84	20,41	33,12	20,57	16,99	18,81
1ª Cana-soca						
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	6,23 a	0,95 a	10,33 a	3,07 ab	1,41 a	0,92 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	6,37 a	0,82 a	9,67 a	2,89 ab	1,53 a	0,94 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	6,58 a	0,98 a	11,00 a	2,61 ab	1,60 a	0,92 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	7,08 a	0,70 a	14,00 a	3,02 ab	1,80 a	0,95 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	7,81 a	1,01 a	9,42 a	2,20 b	1,47 a	0,96 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	6,98 a	0,94 a	12,33 a	3,21 ab	1,52 a	0,94 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	7,00 a	0,84 a	13,33 a	3,34 ab	1,52 a	0,95 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	6,04 a	0,71 a	9,50 a	3,18 ab	1,65 a	0,93 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	4,67 a	0,39 a	11,33 a	3,63 ab	1,74 a	0,89 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	8,21 a	0,96 a	11,00 a	2,95 ab	1,66 a	0,94 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	7,21 a	1,04 a	12,67 a	2,61 ab	1,43 a	0,93 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	6,88 a	0,94 a	14,33 a	2,77 ab	1,52 a	0,96 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	7,28 a	0,90 a	13,33 a	2,44 ab	1,71 a	0,97 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,55 a	0,53 a	12,67 a	4,17 a	1,70 a	0,91 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,32 a	0,60 a	7,00 a	3,07 ab	1,68 a	0,90 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	8,21 a	0,83 a	8,00 a	2,46 ab	1,27 a	0,92 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	5,31 a	0,88 a	12,17 a	2,29 ab	1,47 a	0,88 a
D.M.S. (5%)	4,05	0,87	9,57	1,90	0,65	0,14
C.V. (%)	20,26	34,40	27,69	21,15	13,47	4,99

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Os teores de micronutrientes na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar constam na Tabela 21. Com relação as fontes de Zn aplicadas no sulco de plantio, verifica-se para o teor B na palhada que houve diferença significativa apenas para 1ª cana-soca, sendo que o sulfato de Zn proporcionou maior teor deste micronutriente, apesar de não diferir significativamente do FTE de Zn. Quanto ao teor de Cu na palhada não foi constatada diferença entre as fontes de Zn para nenhum dos cultivos da cana-de-açúcar. Para os teores de Fe e Mn na palhada, o FTE de Zn proporcionou maior teor destes micronutrientes em cana-planta que as demais fontes de Zn. Já para o teor de Zn na palhada, constatou-se diferença entre as fontes de Zn apenas na 1ª cana-soca, tendo o quelato de Zn proporcionado o maior teor deste micronutriente, porém este não diferiu significativamente do sulfato de Zn. Isto provavelmente se deve a maior solubilidade destas fontes quando comparado com o FTE de Zn.

As doses de Zn não afetaram os teores de Cu e Fe na palhada (ponteiro + folhas) da cana de açúcar, em ambos os cultivos (Tabela 21). Com relação ao teor de B na palhada (ponteiro + folhas), para 1ª cana-soca houve interação entre fontes e doses de Zn, sendo observado para o sulfato de Zn ajuste a função quadrática, com o ponto de máximo teor de B sendo alcançado com a estimativa de aplicação de $5,84 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn (Figura 26).

Para o teor de Mn verificou-se para cana-planta ajuste a função linear crescente com o incremento das doses de Zn (Figura 27). Por sua vez, constatou-se para 1ª cana-soca que o teor de Zn na palhada aumentou linearmente com a elevação das doses de Zn (Figura 28), confirmando assim, o efeito residual da adubação com Zn realizada no sulco de plantio da cana-planta. Contudo, ressalta-se que o teor de Zn na palhada da cana-planta foi em média $42,91 \text{ mg de Zn kg}^{-1}$ de matéria seca, superior ao encontrado na palhada da 1ª cana-soca. Esta menor concentração de zinco na palhada da 1ª cana-soca, também foi observada no colmo da 1ª cana-soca. Isto pode ter ocorrido devido ao fato de que no cultivo da 1ª cana-soca não ter sido aplicado zinco, mas sim ocorreu o efeito residual desta adubação realizada na cana-planta.

Tabela 21. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- (mg kg ⁻¹ de MS) -----				
Cana-planta					
Fontes de Zn					
FTE	75,84 a	1,80 a	111,00 a	204,50 a	66,90 a
Quelato de Zn	77,40 a	1,80 a	70,80 b	156,00 b	70,50 a
Sulfato de Zn	76,02 a	1,80 a	68,10 b	168,10 b	67,40 a
D.M.S. (5%)	5,46	1,11	20,75	31,89	6,64
Doses de Zn (kg ha⁻¹)					
0	74,31 ^{ns}	1,33 ^{ns}	80,50 ^{ns}	154,83	64,67 ^{ns}
2,5	75,44	3,00	82,16	169,67	66,33
5,0	78,64	1,50	85,83	165,00	70,17
7,5	77,40	1,83	88,33	195,77	69,67
10,0	76,31	1,33	79,67	196,33	70,50
Média geral	76,42	1,80	83,30	176,20	68,27
C.V. (%)	6,11	42,43	21,27	15,45	8,30
1ª Cana-soca					
Fontes de Zn					
FTE	9,97 ab	4,27 a	259,00 a	118,40 a	24,13 b
Quelato de Zn	8,85 b	2,73 a	232,07 a	130,93 a	27,27 a
Sulfato de Zn	10,31 a	2,60 a	252,20 a	122,93 a	24,67 ab
D.M.S. (5%)	1,14	2,35	36,83	27,62	2,70
Doses de Zn (kg ha⁻¹)					
0	9,29	2,78 ^{ns}	231,78 ^{ns}	113,00 ^{ns}	20,78
2,5	10,11	3,11	246,33	111,89	24,44
5,0	9,80	3,67	255,89	116,11	27,22
7,5	9,66	2,67	247,44	157,22	25,78
10,0	9,69	3,78	257,33	122,22	28,56
Média geral	9,71	3,20	247,76	124,09	25,36
C.V. (%)	12,99	35,12	16,45	24,62	11,76

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns} Não significativo pela análise de regressão.

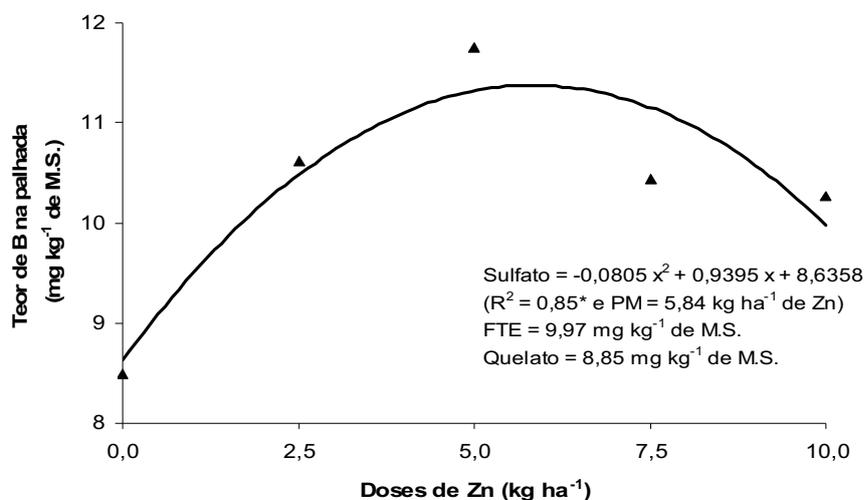


Figura 26. Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente ao teor de B na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (1^a cana-soca). Suzanápolis – SP, 2009/2010.

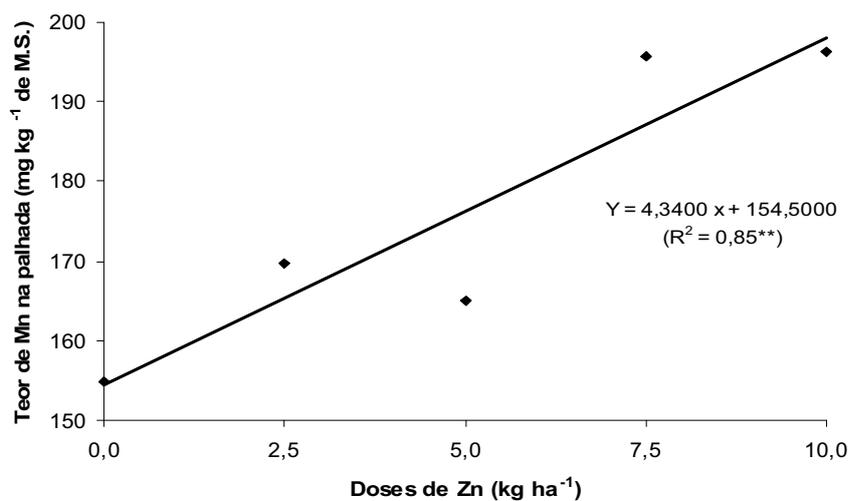


Figura 27. Equação de regressão referente ao teor de Mn na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

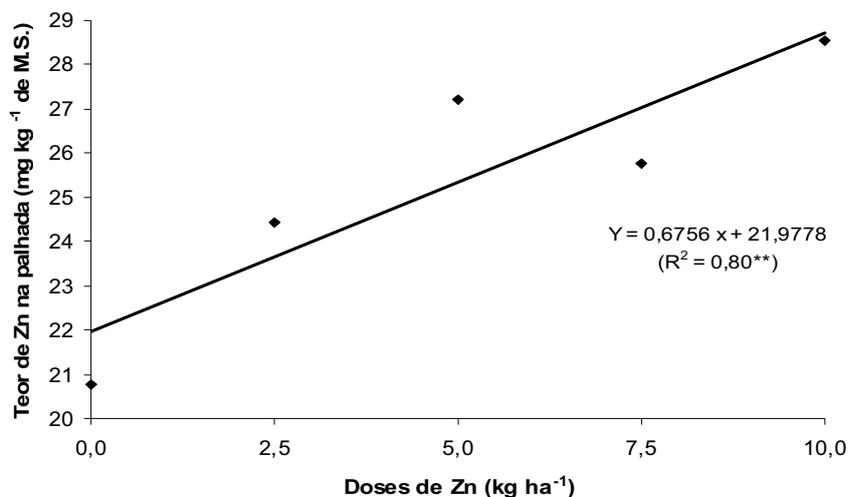


Figura 28. Equação de regressão referente ao teor de Zn na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2009/2010.

Quanto aos modos de aplicação dos tratamentos com Zn (Tabela 22), não houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados via solo e via foliar, para nenhum dos micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), tanto em cana-planta como na 1ª cana-soca. Porém, para o teor de Fe na palhada da cana-planta destaca-se que a maior dose (10,0 kg ha⁻¹ de Zn) de sulfato proporcionou o menor teor deste nutriente, isto pode ser devido ao antagonismo por inibição competitiva existente entre Fe e Zn, portanto, esta alta dose de Zn deve ter reduzido a absorção de Fe, com reflexo principalmente no teor deste elemento na palhada da cultura.

A aplicação de 5,0 kg ha⁻¹ de Zn, na forma de quelato proporcionou o maior teor de Zn na palhada da 1ª cana-soca, entretanto, este tratamento não diferiu significativamente da maioria dos tratamentos (Tabela 22).

Tabela 22. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes aos teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(mg kg ⁻¹ de MS)				
Cana-planta					
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	72,83 a	1,00 a	84,50 abc	155,00 a	67,00 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	80,72 a	3,00 a	104,50 abc	190,00 a	66,00 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	73,53 a	2,50 a	117,00 abc	211,50 a	68,00 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	77,29 a	1,50 a	140,00 a	225,00 a	65,50 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	74,82 a	1,00 a	109,00 abc	241,00 a	68,00 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	73,23 a	1,50 a	80,50 abc	156,50 a	64,00 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	76,15 a	2,00 a	69,00 abc	151,50 a	62,00 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	79,44 a	1,00 a	67,50 abc	130,00 a	74,00 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	77,12 a	3,00 a	60,50 bc	168,50 a	76,00 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	81,03 a	1,50 a	76,50 abc	173,50 a	76,50 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	76,86 a	1,50 a	76,50 abc	153,00 a	63,00 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	69,46 a	4,00 a	73,00 abc	167,00 a	71,00 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	82,94 a	1,00 a	73,00 abc	153,50 a	68,50 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	77,77 a	1,00 a	64,50 bc	192,00 a	67,50 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	63,06 a	1,50 a	53,50 c	174,50 a	67,00 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	76,21 a	2,50 a	62,00 bc	190,50 a	63,50 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	76,76 a	2,50 a	128,50 ab	203,00 a	65,00 a
D.M.S. (5%)	18,96	4,16	74,00	135,51	22,43
C.V. (%)	6,13	54,67	21,58	18,74	8,17
1ª Cana-soca					
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,00 a	3,33 a	284,00 a	99,00 a	20,33 c
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	11,15 a	3,00 a	229,67 a	100,67 a	22,00 abc
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	8,86 a	6,33 a	240,33 a	101,00 a	26,00 abc
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	9,46 a	2,33 a	250,33 a	157,00 a	25,00 abc
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,38 a	6,33 a	290,67 a	134,33 a	27,33 abc
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	9,46 a	2,00 a	210,67 a	121,00 a	20,67 bc
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	8,56 a	3,33 a	256,33 a	110,67 a	26,33 abc
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	8,78 a	1,33 a	238,33 a	132,00 a	30,67 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	9,07 a	3,33 a	241,67 a	189,33 a	28,67 abc
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	8,43 a	3,67 a	213,33 a	103,67 a	30,00 ab
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	8,49 a	3,00 a	200,67 a	121,00 a	21,33 abc
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,62 a	3,00 a	253,00 a	124,33 a	25,00 abc
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	11,75 a	3,33 a	289,00 a	115,33 a	25,00 abc
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,44 a	2,33 a	250,33 a	125,33 a	23,67 abc
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	10,27 a	1,33 a	268,00 a	128,67 a	28,33 abc
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	9,60 a	1,67 a	223,33 a	109,00 a	24,67 abc
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	9,04 a	1,67 a	198,00 a	115,00 a	21,00 bc
D.M.S. (5%)	4,05	7,57	127,24	95,92	9,39
C.V. (%)	13,70	34,63	17,08	25,55	25,06

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

4.3. Acúmulo de nutrientes na cana-de-açúcar

4.3.1. Acúmulo de nutrientes nos colmos

As quantidades de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) acumulados nos colmos (exportados) da cana-planta, assim como da 1ª cana-soca não diferiram significativamente quanto às fontes de Zn (FTE, quelato e sulfato) aplicadas no sulco de plantio da cultura (Tabela 23).

O acúmulo médio de N, P, K, Ca, Mg e S nos colmos da cana-planta adubada com Zn foi de 94,43; 13,46; 56,94; 8,83; 11,49 e 9,40 kg ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, a 38, 53, 53, 7, 14 e 31% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (folhas + ponteiro + colmo) (Tabela 23). Portanto, na ocasião da colheita da cultura, o acúmulo de macronutrientes no colmo da cana-planta apresentou a seguinte ordem decrescente: N > K > P > Mg > S > Ca.

Com relação aos valores acumulados de N, P, K, Ca, Mg e S nos colmos da 1ª cana-soca em resposta à aplicação de doses e fontes de Zn, em média, estes foram de 106,42; 10,63; 94,97; 18,55; 20,14 e 17,45 kg ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, a 32, 27, 21, 14, 27 e 36% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (folhas + ponteiro + colmo) (Tabela 23). Portanto, na ocasião da colheita da cultura, o acúmulo de macronutrientes no colmo da 1ª cana-soca com residual da adubação com Zn, apresentou a seguinte ordem decrescente: N > K > Mg > Ca > S > P (Tabela 23). Oliveira et al. (2010) observaram maiores acúmulos de macronutrientes no colmo, avaliando a extração de nutrientes pela parte aérea da cana-planta de 11 variedades sob irrigação, no Estado de Pernambuco, observaram exportação média de N, P, K, Ca e Mg pelos colmos das variedades foi de 92; 15; 188; 187; e 66 kg ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, a 51, 60, 58, 83 e 76% de todo o nutriente extraído na parte aérea da cana-planta.

Com relação às doses de Zn, estas não influenciaram as quantidades acumuladas de K, Ca, Mg e S nos colmos da cana-de-açúcar, em nenhum dos cultivos (Tabela 23). Entretanto, a quantidade de N acumulado nos colmos da cana-planta ajustou-se à função quadrática, com o ponto de máximo acúmulo de N sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 5,47 kg ha⁻¹ de Zn (Figura 29). A quantidade de P acumulado nos colmos da 1ª cana-soca também foi afetada pelas doses de Zn, ajustando-se à função linear crescente (Figura 30). Entretanto, de acordo com Prado (2008), diversos autores citam efeitos depressivos do fósforo sobre a utilização do zinco pelas plantas. Ainda segundo este autor, uma das hipóteses que explicam isso, é que pode ocorrer

reação de precipitação do P com o Zn nos vasos condutores, sendo assim, o transporte é reduzido para parte aérea da planta, causando sintomas de deficiência nas folhas. Portanto, isto pode explicar porque o incremento das doses de Zn, proporcionou acúmulo crescente de P e também de Zn no colmo da cana-de-açúcar.

Tabela 23. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	N	P	K	Ca	Mg	S
------(kg ha ⁻¹)-----						
Cana-planta						
Fontes de Zn						
FTE	94,97 a	14,42 a	56,47 a	9,50 a	11,33 a	9,26 a
Quelato de Zn	96,41 a	12,83 a	58,52 a	8,80 a	11,53 a	9,57 a
Sulfato de Zn	91,92 a	13,11 a	55,84 a	8,19 a	11,62 a	9,37 a
D.M.S. (5%)	16,62	2,19	12,47	2,08	2,34	1,13
Doses de Zn (kg ha⁻¹)						
0	78,47	12,55 ^{ns}	48,90 ^{ns}	8,03 ^{ns}	10,53 ^{ns}	8,94 ^{ns}
2,5	101,19	14,02	60,11	8,99	11,67	10,14
5,0	110,22	14,54	61,62	9,08	11,99	9,56
7,5	88,66	12,97	58,11	8,50	11,00	9,24
10,0	93,63	13,22	57,97	9,55	12,27	9,14
Média geral	94,43	13,46	56,94	8,83	11,49	9,40
C.V. (%)	19,47	18,04	24,24	26,04	22,50	13,34
1ª Cana-soca						
Fontes de Zn						
FTE	104,82 a	10,03 a	92,05 a	17,32 a	18,01 a	16,18 a
Quelato de Zn	107,31 a	10,60 a	89,57 a	19,00 a	20,61 a	18,31 a
Sulfato de Zn	107,13 a	11,27 a	103,29 a	19,33 a	21,81 a	17,87 a
D.M.S. (5%)	5,35	2,18	34,92	3,46	4,01	2,14
Doses de Zn (kg ha⁻¹)						
0	108,28 ^{ns}	9,46	79,24 ^{ns}	18,80 ^{ns}	20,41 ^{ns}	18,55 ^{ns}
2,5	112,11	10,62	100,66	17,55	20,02	17,49
5,0	98,97	10,62	95,89	19,52	19,26	16,56
7,5	94,79	9,58	87,18	16,81	19,59	16,29
10,0	117,96	12,88	111,87	20,05	21,44	18,37
Média geral	106,42	10,63	94,97	18,55	20,14	17,45
C.V. (%)	15,95	22,66	20,43	20,61	22,03	13,57

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão.

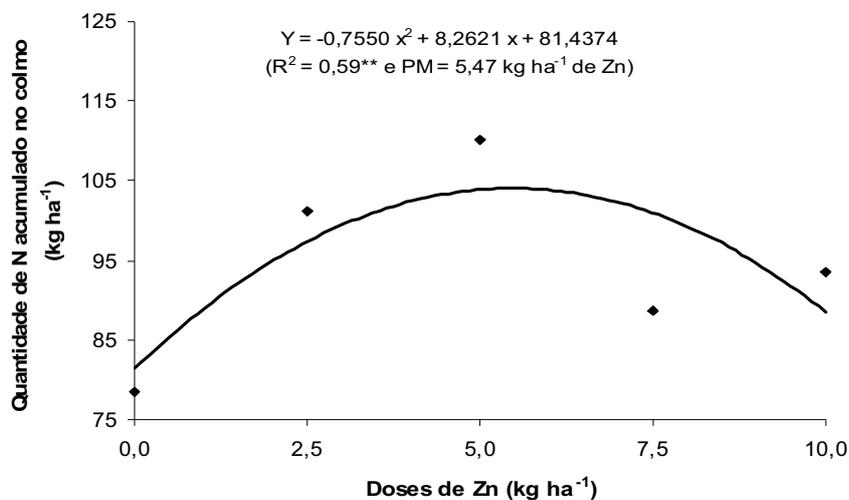


Figura 29. Equação de regressão referente a quantidade de N acumulado no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

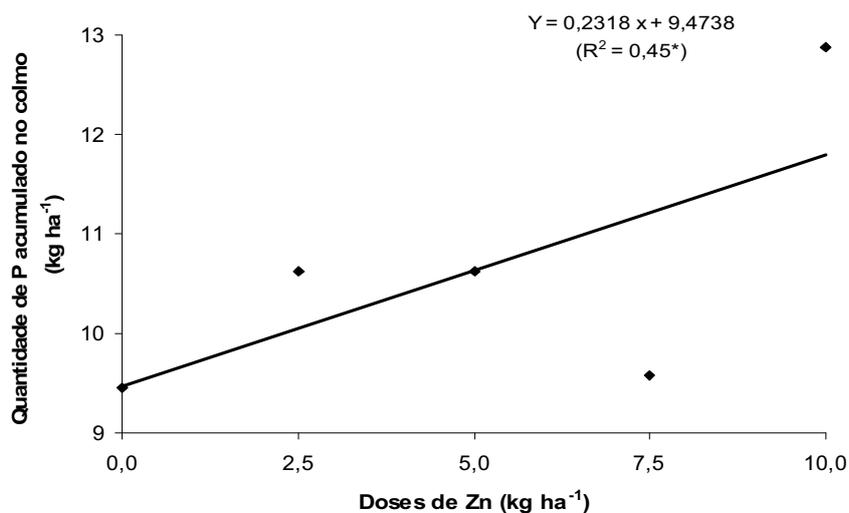


Figura 30. Equação de regressão referente a quantidade de P acumulado no colmo da cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2009/2010.

Na Tabela 24, observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos com Zn aplicados via solo e via foliar para nenhuma das quantidades acumuladas dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos colmos, tanto em cana-planta como na 1ª cana-soca.

Tabela 24. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Cana-planta						
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	65,16 b	15,29 a	50,30 a	8,91 a	10,75 a	9,01 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	110,71 ab	17,52 a	58,60 a	9,04 a	12,89 a	10,05 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	122,58 a	13,24 a	61,67 a	10,04 a	12,66 a	9,79 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	82,85 ab	13,47 a	51,98 a	9,20 a	9,87 a	8,76 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	93,57 ab	12,62 a	59,80 a	10,31 a	10,47 a	8,71 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	77,85 ab	10,50 a	43,54 a	7,72 a	9,88 a	8,64 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	107,10 ab	13,22 a	56,73 a	10,51 a	11,57 a	10,21 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	106,55 ab	14,45 a	71,98 a	8,75 a	11,91 a	9,27 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	93,14 ab	13,25 a	59,90 a	7,66 a	12,10 a	10,15 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	97,40 ab	13,78 a	60,46 a	9,36 a	12,22 a	9,59 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	92,41 ab	12,84 a	46,85 a	7,46 a	10,98 a	9,16 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	85,75 ab	11,33 a	65,01 a	7,42 a	10,55 a	10,16 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	101,51 ab	15,94 a	51,22 a	8,43 a	11,41 a	9,63 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,99 ab	12,18 a	62,44 a	8,65 a	11,03 a	8,81 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,93 ab	13,28 a	53,66 a	8,97 a	14,13 a	9,12 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	114,10 ab	12,99 a	65,42 a	12,84 a	15,38 a	10,64 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	115,28 ab	12,66 a	47,80 a	11,85 a	14,76 a	10,34 a
D.M.S. (5%)	54,15	9,64	40,45	6,89	7,44	3,62
C.V. (%)	18,28	23,53	23,23	24,34	20,40	12,42
1ª Cana-soca						
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	133,55 a	10,67 a	90,51 a	18,22 a	19,32 a	17,09 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	110,09 a	9,83 a	87,33 a	17,16 a	20,19 a	17,31 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	86,24 a	8,90 a	100,15 a	17,92 a	15,10 a	15,17 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	86,23 a	8,52 a	83,61 a	13,84 a	16,27 a	13,67 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	113,07 a	12,23 a	98,63 a	19,47 a	19,17 a	17,65 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	97,68 a	8,60 a	68,75 a	18,33 a	20,77 a	18,78 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	133,40 a	11,87 a	107,74 a	21,01 a	21,87 a	19,57 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	100,76 a	11,48 a	81,76 a	20,75 a	19,86 a	17,10 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	95,14 a	9,28 a	85,79 a	16,86 a	21,09 a	17,94 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	109,59 a	11,77 a	103,79 a	18,05 a	19,46 a	18,15 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	113,62 a	9,11 a	78,45 a	19,86 a	21,15 a	19,79 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	92,83 a	10,18 a	106,90 a	14,50 a	18,00 a	15,59 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	94,98 a	11,49 a	105,74 a	19,89 a	22,82 a	17,42 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	103,02 a	10,93 a	92,15 a	19,75 a	21,41 a	17,25 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	131,21 a	14,64 a	133,19 a	22,64 a	25,69 a	19,30 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	131,75 a	13,50 a	136,05 a	21,23 a	22,17 a	19,21 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	96,76 a	15,24 a	93,20 a	24,71 a	19,44 a	16,21 a
D.M.S. (5%)	54,17	7,62	114,60	12,73	14,04	8,05
C.V. (%)	16,49	22,49	38,50	21,81	22,68	15,04

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

As quantidades de micronutrientes (B, Cu, Mn e Zn) acumulados nos colmos da cana-planta, assim como da 1ª cana-soca não diferiram significativamente quanto às fontes de Zn (FTE, quelato e sulfato) aplicadas no sulco de plantio da cultura (Tabela 25). Porém, a quantidade de Fe acumulado nos colmos da 1ª cana-soca foi superior com a aplicação de sulfato de Zn, apesar deste não diferir significativamente do FTE de Zn.

O acúmulo médio de B, Cu, Fe, Mn e Zn nos colmos da cana-planta adubada com Zn foi de 0,57; 0,14; 1,11; 1,07 e 0,99 kg ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, a 22, 74, 34, 19 e 36% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (folhas + ponteiro + colmo) (Tabela 25). Sendo assim, na ocasião da colheita da cultura, o acúmulo de micronutrientes no colmo da cana-planta apresentou a seguinte ordem decrescente: Fe > Mn > Zn > B > Cu. Com relação aos valores acumulados de B, Fe, Mn e Zn nos colmos da 1ª cana-soca, em média, estes foram de 0,18; 1,98; 2,01 e 0,51 kg ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, a 35, 19, 32 e 38% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (folhas + ponteiro + colmo) (Tabela 25). Na ocasião da colheita da cultura, o acúmulo de micronutrientes no colmo da 1ª cana-soca com residual da adubação com Zn, apresentou a seguinte ordem decrescente: Mn > Fe > Zn > B (Tabela 25). De acordo com Malavolta et al. (1997), a exportação relativa aos colmos é em média igual a 0,50 kg ha⁻¹ de Zn, sendo assim, a quantidade de Zn acumulada nos colmos da cana-planta (0,99 kg ha⁻¹) foi mais elevada, enquanto da 1ª cana-soca (0,51 kg ha⁻¹) foi semelhante a relatada por estes autores.

As doses de Zn não influenciaram a quantidade acumulada de Cu nos colmos da cana-planta (Tabela 25). Com relação, a quantidade de B acumulado nos colmos da cana-planta houve ajuste a função linear crescente com incremento das doses de Zn (Figura 31). Para a quantidade de Fe acumulado nos colmos da cana-planta houve ajuste a função quadrática, com o ponto de máxima quantidade de Fe acumulado sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 3,50 kg ha⁻¹ de Zn (Figura 32). Quanto a quantidade de Mn acumulado nos colmos da cana-planta houve interação entre fontes e doses de Zn, sendo observado para o sulfato de Zn ajuste a função linear decrescente (Figura 33). Segundo Malavolta (1980), elevadas concentrações de Zn no solo induzem a menor absorção e acúmulo de Mn e Fe na planta.

Na Figura 34, encontram-se as quantidades de Zn acumulados nos colmos da cana-de-açúcar, verifica-se que para cana-planta houve ajuste a função quadrática, com o ponto de máxima quantidade de Zn acumulado sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 7,32 kg ha⁻¹ de Zn. Para 1ª cana-soca constatou-se aumento linear da quantidade de Zn acumulado nos

colmos em função do incremento das doses deste micronutriente. Tais resultados, são reflexos da elevação do teor de Zn no colmo observado para os dois cultivos da cana-de-açúcar (Figura 16).

Tabela 25. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----(kg ha⁻¹)-----				
Cana-planta					
Fontes de Zn					
FTE	0,50 a	0,14 a	1,13 a	1,04 a	0,92 a
Quelato de Zn	0,61 a	0,14 a	1,06 a	1,13 a	1,03 a
Sulfato de Zn	0,60 a	0,13 a	1,14 a	1,04 a	1,04 a
D.M.S. (5%)	0,14	0,04	0,18	0,19	0,16
Doses de Zn (kg ha⁻¹)					
0	0,50	0,11 ^{ns}	1,07	1,08	0,78
2,5	0,52	0,14	1,31	1,23	0,99
5,0	0,58	0,14	1,14	0,93	1,01
7,5	0,66	0,14	1,05	1,07	1,16
10,0	0,61	0,15	0,97	1,03	1,04
Média geral	0,57	0,14	1,11	1,07	0,99
C.V. (%)	27,44	34,97	18,46	19,63	17,42
1ª Cana-soca					
Fontes de Zn					
FTE	0,18 a	-*	1,89 ab	1,97 a	0,51 a
Quelato de Zn	0,18 a	-	1,55 b	2,13 a	0,52 a
Sulfato de Zn	0,16 a	-	2,51 a	1,93 a	0,49 a
D.M.S. (5%)	0,04	-	0,63	0,52	0,13
Doses de Zn (kg ha⁻¹)					
0	0,20 ^{ns}	-	2,01 ^{ns}	2,32 ^{ns}	0,35
2,5	1,17	-	1,78	1,91	0,47
5,0	0,18	-	1,88	1,73	0,49
7,5	0,15	-	1,84	1,81	0,53
10,0	0,18	-	2,38	2,28	0,71
Média geral	0,18	-	1,98	2,01	0,51
C.V. (%)	22,61	-	30,13	28,83	28,66

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão. *Devido aos teores de Cu muito baixos, estes resultados não foram computados.

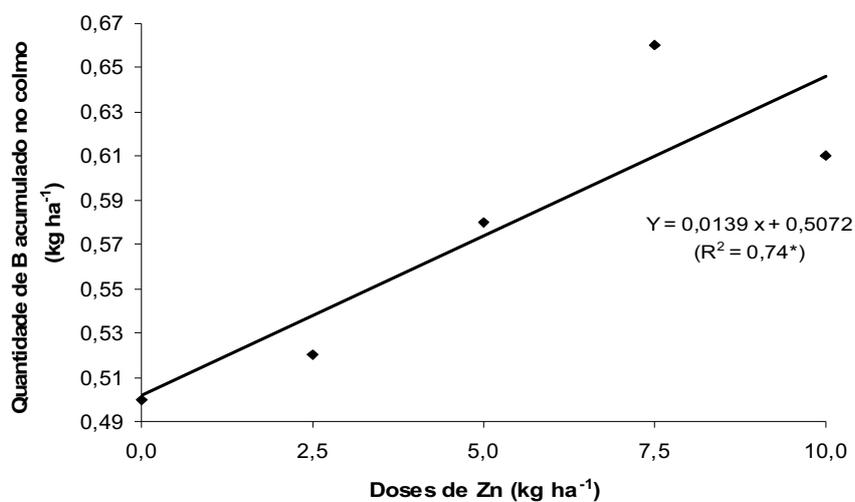


Figura 31. Equação de regressão referente a quantidade de B acumulado no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

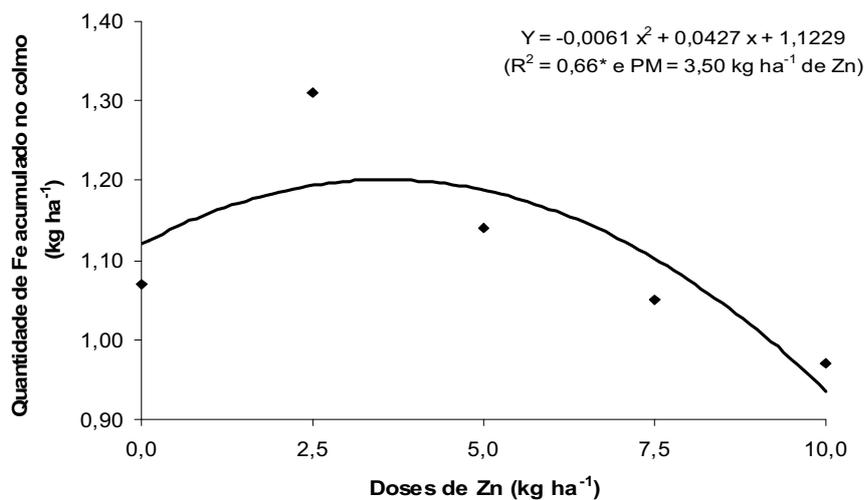


Figura 32. Equação de regressão referente a quantidade de Fe acumulado no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

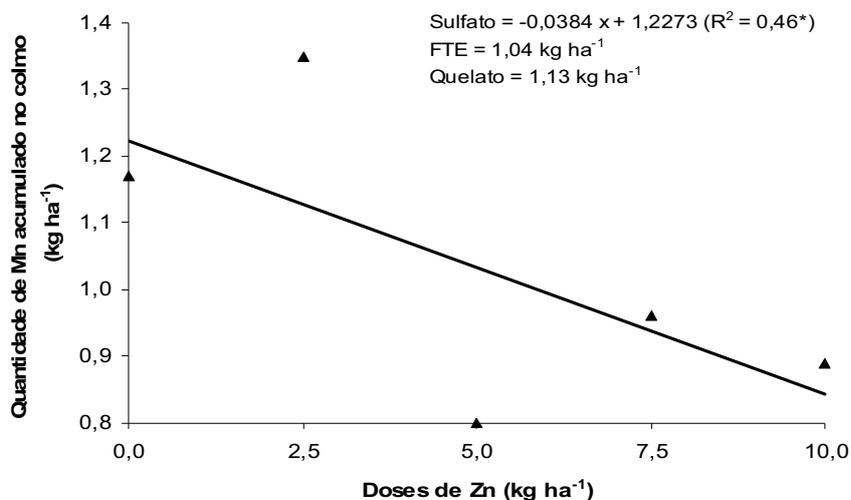


Figura 33. Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente a quantidade de Mn acumulado no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanópolis – SP, 2008/2009.

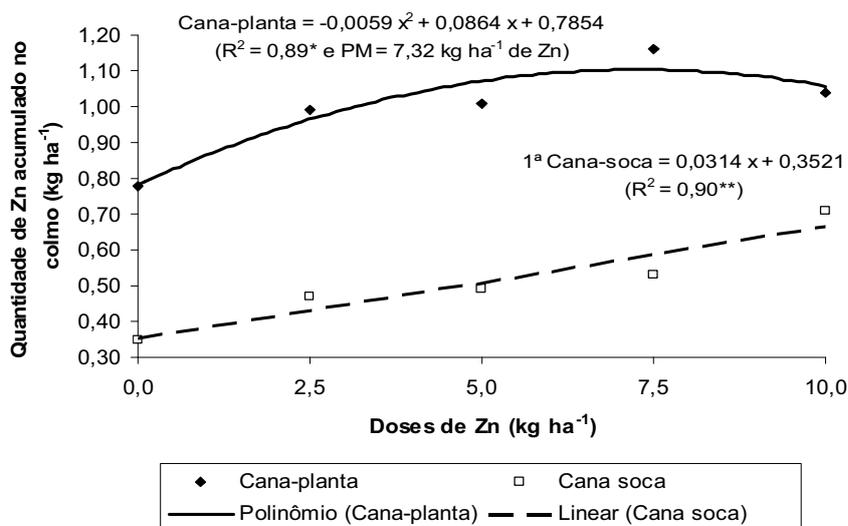


Figura 34. Equações de regressão referentes a quantidade de Zn acumulado no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Os tratamentos com Zn aplicados via solo e via foliar não diferiram significativamente para as quantidades acumuladas dos micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) nos colmos, tanto em cana-planta como na 1ª cana-soca (Tabela 26).

Tabela 26. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----(kg ha^{-1})-----				
Cana-planta					
FTE (0,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,52 a	0,11 a	1,25 ab	1,10 a	0,80 ab
FTE (2,5 kg ha^{-1} de Zn)	0,48 a	0,15 a	1,51 a	1,12 a	0,98 ab
FTE (5,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,45 a	0,16 a	1,02 ab	0,90 a	0,89 ab
FTE (7,5 kg ha^{-1} de Zn)	0,48 a	0,18 a	1,10 ab	1,01 a	1,02 ab
FTE (10,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,59 a	0,12 a	0,75 b	1,07 a	0,92 ab
Quelato (0,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,48 a	0,14 a	1,06 ab	0,97 a	0,73 b
Quelato (2,5 kg ha^{-1} de Zn)	0,60 a	0,14 a	1,14 ab	1,20 a	0,98 ab
Quelato (5,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,61 a	0,15 a	0,99 ab	1,09 a	1,08 ab
Quelato (7,5 kg ha^{-1} de Zn)	0,86 a	0,11 a	1,03 ab	1,26 a	1,18 ab
Quelato (10,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,51 a	0,15 a	1,07 ab	1,12 a	1,16 ab
Sulfato (0,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,50 a	0,08 a	0,92 ab	1,18 a	0,83 ab
Sulfato (2,5 kg ha^{-1} de Zn)	0,49 a	0,13 a	1,27 ab	1,35 a	1,00 ab
Sulfato (5,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,68 a	0,12 a	1,40 ab	0,80 a	1,06 ab
Sulfato (7,5 kg ha^{-1} de Zn)	0,63 a	0,12 a	1,01 ab	0,96 a	1,27 a
Sulfato (10,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,72 a	0,18 a	1,09 ab	0,89 a	1,03 ab
Que. foliar (0,3 kg ha^{-1} de Zn)	0,58 a	0,17 a	1,34 ab	0,92 a	0,90 ab
Sulf. foliar (0,3 kg ha^{-1} de Zn)	0,55 a	0,20 a	1,34 ab	1,20 a	0,97 ab
D.M.S. (5%)	0,46	0,16	0,67	0,62	0,50
C.V. (%)	26,44	35,95	19,17	19,05	16,65
1ª Cana-soca					
FTE (0,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,19 a	-*	1,96 a	1,96 a	0,38 ab
FTE (2,5 kg ha^{-1} de Zn)	0,18 a	-	1,79 a	2,00 a	0,53 ab
FTE (5,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,16 a	-	1,70 a	1,66 a	0,40 ab
FTE (7,5 kg ha^{-1} de Zn)	0,15 a	-	1,43 a	1,62 a	0,51 ab
FTE (10,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,22 a	-	2,56 a	2,61 a	0,73 ab
Quelato (0,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,19 a	-	1,30 a	2,49 a	0,38 ab
Quelato (2,5 kg ha^{-1} de Zn)	0,20 a	-	1,59 a	2,04 a	0,55 ab
Quelato (5,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,22 a	-	1,55 a	1,84 a	0,49 ab
Quelato (7,5 kg ha^{-1} de Zn)	0,15 a	-	1,81 a	2,26 a	0,55 ab
Quelato (10,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,16 a	-	1,47 a	2,01 a	0,65 ab
Sulfato (0,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,21 a	-	2,78 a	2,52 a	0,29 b
Sulfato (2,5 kg ha^{-1} de Zn)	0,13 a	-	1,96 a	1,68 a	0,32 ab
Sulfato (5,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,16 a	-	2,41 a	1,70 a	0,58 ab
Sulfato (7,5 kg ha^{-1} de Zn)	0,14 a	-	2,29 a	1,54 a	0,53 ab
Sulfato (10,0 kg ha^{-1} de Zn)	0,16 a	-	3,10 a	2,23 a	0,75 a
Que. foliar (0,3 kg ha^{-1} de Zn)	0,23 a	-	2,22 a	2,12 a	0,31 ab
Sulf. foliar (0,3 kg ha^{-1} de Zn)	0,18 a	-	2,11 a	2,04 a	0,42 ab
D.M.S. (5%)	0,15	-	2,07	1,94	0,45
C.V. (%)	27,93	-	33,73	31,46	7,28

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. *Devido aos teores de Cu muito baixos, estes resultados não foram computados.

4.3.2. Acúmulo de nutrientes na palhada (ponteiro + folhas)

Na Tabela 27, observa-se que as quantidades de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) acumulados na palhada (ponteiro + folhas) da cana-planta, assim como da 1ª cana-soca não diferiram significativamente quanto às fontes de Zn (FTE, quelato e sulfato) aplicadas no sulco de plantio da cultura. Resultado semelhante ocorreu para as quantidades de macronutrientes acumulados no colmo da cana-de-açúcar (Tabela 23).

Com relação as doses de Zn, estas não influenciaram a quantidade de N e Mg acumulados na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar, em nenhum dos cultivos (Tabela 27). Quanto a quantidade de P acumulado na palhada da cana-de-açúcar (Figura 35), para cana-planta houve ajuste a função quadrática, com o ponto de máxima quantidade de P acumulado sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 5,91 kg ha⁻¹ de Zn. A quantidade de K acumulado na palhada da cana-de-açúcar foi afetada pelas doses de Zn apenas em cana-planta, ajustando-se a função quadrática, com o ponto de máxima quantidade de K acumulado sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 5,52 kg ha⁻¹ de Zn (Figura 36). Para as quantidades de Ca e S acumulados na palhada da cana-de-açúcar, também houve ajuste apenas em cana-planta, porém o incremento das doses de Zn proporcionou aumento linear das quantidades acumuladas destes nutrientes na palhada (Figuras 37 e 38).

O acúmulo médio de N, P, K, Ca, Mg e S na palhada (ponteiro + folhas) da cana-planta em função da aplicação de doses e fontes de Zn no plantio, foi de 155,21; 12,07; 50,06; 123,81; 68,70 e 20,52 kg ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, a 62, 47, 47, 93, 86 e 69% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (folhas + ponteiro + colmo) (Tabela 27). Portanto, na ocasião da colheita da cultura, o acúmulo de macronutrientes na palhada da cana-planta apresentou a seguinte ordem decrescente: N > Ca > Mg > K > S > P. Com relação ao valores acumulados de N, P, K, Ca, Mg e S na palhada da 1ª cana-soca, em média, estes foram de 226,90; 28,19; 349,48; 101,58; 54,03 e 31,70 kg ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, a 68, 73, 79, 85, 73 e 64% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (folhas + ponteiro + colmo) (Tabela 27). Portanto, na ocasião da colheita da cultura, o acúmulo de macronutrientes na palhada da 1ª cana-soca com residual da adubação com Zn, apresentou a seguinte ordem decrescente: K > N > Ca > Mg > S > P (Tabela 27).

Com base nas quantidades acumuladas de nutrientes no colmo e na palhada (ponteiro + folhas), obteve-se o total acumulado de nutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar. O acúmulo médio de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da cana-planta em função da aplicação de doses e

fontes de Zn no plantio, foi igual a 249,64; 25,53; 107,00; 132,64; 80,19 e 29,52 kg ha⁻¹, respectivamente. Portanto, na ocasião da colheita da cultura, o acúmulo de macronutrientes na parte aérea da cana-planta apresentou a seguinte ordem decrescente: N > Ca > K > Mg > S > P. Com relação, aos valores médios acumulados de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da 1ª cana-soca com residual da adubação com Zn, estes foram iguais a 333,32; 38,82; 444,45; 120,13; 74,17 e 49,15 kg ha⁻¹, respectivamente. Portanto, na ocasião da colheita da cultura, o acúmulo de macronutrientes na parte aérea da cana-planta apresentou a seguinte ordem decrescente: K > N > Ca > Mg > S > P.

Em variedade mais antiga e menos produtiva, como a CB4176, cultivada em dois Latossolos Vermelhos, como também em Argissolo Vermelho, a exigência pelos macronutrientes foi semelhante à da variedade utilizada no presente trabalho, obtendo-se na cana-planta e cana-soca a ordem de extração de: K > N > Ca > Mg > S > P (ORLANDO FILHO et al., 1980). Entretanto, Oliveira et al. (2010), avaliando a extração de nutrientes pela parte aérea da cana-planta de 11 variedades, no Estado de Pernambuco, observaram, em média, valores de 179, 25, 325, 226 e 87 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, o que proporcionou a seguinte ordem decrescente de extração: K > Ca > N > Mg > P. Já Franco et al. (2007), em Latossolo Vermelho, constataram que o acúmulo de nutrientes na parte aérea da variedade SP81-3250, na ocasião da colheita da cana-planta apresentou a seguinte ordem decrescente: K > N > Ca > S > Mg > P. Por outro lado, Coleti et al. (2006), estudando as variedades RB835486 e SP813250, em dois Argissolos Vermelhos, constataram, para cana-planta, a seguinte ordem de extração de nutrientes: K > N > S > P > Mg > Ca, e na cana-soca: K > N > P > Mg > S > Ca. Contudo, o total de nutrientes extraídos do solo pelas plantas varia entre variedades, ciclo de cultivo, manejo do solo e disponibilidade de nutrientes (CEOTTO; CASTELLI, 2002).

Tabela 27. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----(kg ha^{-1})-----					
Cana-planta						
Fontes de Zn						
FTE	153,14 a	12,78 a	45,12 a	131,83 a	73,35 a	20,15 a
Quelato de Zn	152,10 a	10,63 a	55,24 a	118,42 a	63,63 a	20,12 a
Sulfato de Zn	160,40 a	12,81 a	49,83 a	121,19 a	69,10 a	21,30 a
D.M.S. (5%)	49,81	4,81	24,34	31,88	15,92	4,88
Doses de Zn (kg ha^{-1})						
0	143,00 ^{ns}	7,35	31,68	104,83	63,79 ^{ns}	16,36
2,5	157,40	11,59	55,14	103,10	64,68	20,82
5,0	183,69	14,89	61,69	134,07	76,25	20,38
7,5	155,12	15,81	58,86	135,28	67,82	24,43
10,0	137,86	10,70	42,94	141,79	70,96	20,63
Média geral	155,21	12,07	50,06	123,81	68,70	20,52
C.V. (%)	27,40	16,47	20,38	21,99	19,79	20,31
1ª Cana-soca						
Fontes de Zn						
FTE	234,29 a	31,14 a	372,64 a	90,52 a	51,02 a	30,84 a
Quelato de Zn	231,79 a	27,00 a	406,61 a	111,14 a	56,45 a	32,40 a
Sulfato de Zn	214,61 a	16,44 a	389,20 a	103,09 a	54,64 a	31,86 a
D.M.S. (5%)	56,06	9,46	111,77	25,66	10,61	4,28
Doses de Zn (kg ha^{-1})						
0	255,70 ^{ns}	37,22 ^{ns}	433,58 ^{ns}	108,06 ^{ns}	53,49 ^{ns}	34,21 ^{ns}
2,5	240,20	30,88	420,14	92,83	50,93	31,72
5,0	202,19	23,07	429,58	99,36	59,79	31,11
7,5	187,10	20,99	299,42	98,47	50,07	27,66
10,0	249,31	28,80	364,69	109,20	55,90	33,80
Média geral	226,90	28,19	389,48	101,58	54,03	31,70
C.V. (%)	27,31	20,64	31,75	27,95	21,73	14,92

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão.

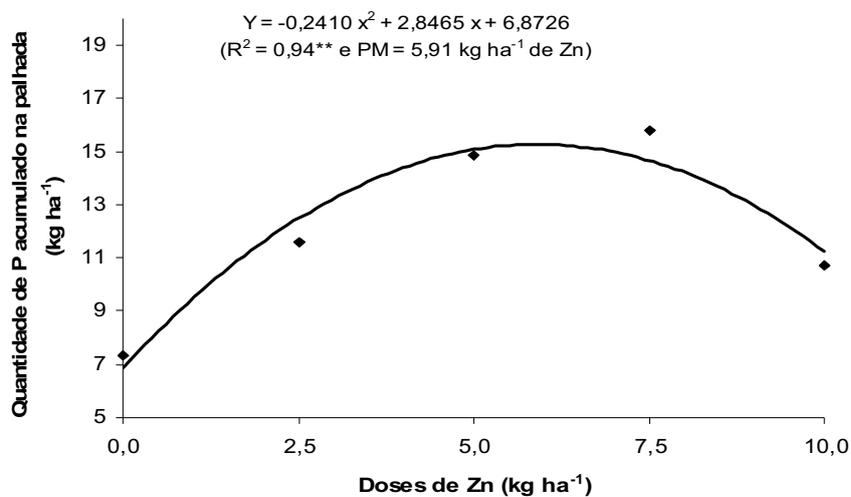


Figura 35. Equação de regressão referente a quantidade de P acumulado na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

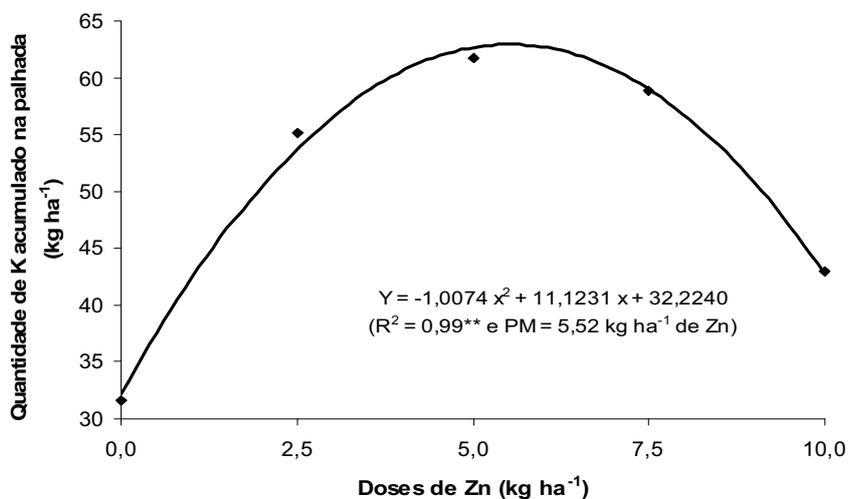


Figura 36. Equação de regressão referente a quantidade de K acumulado na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

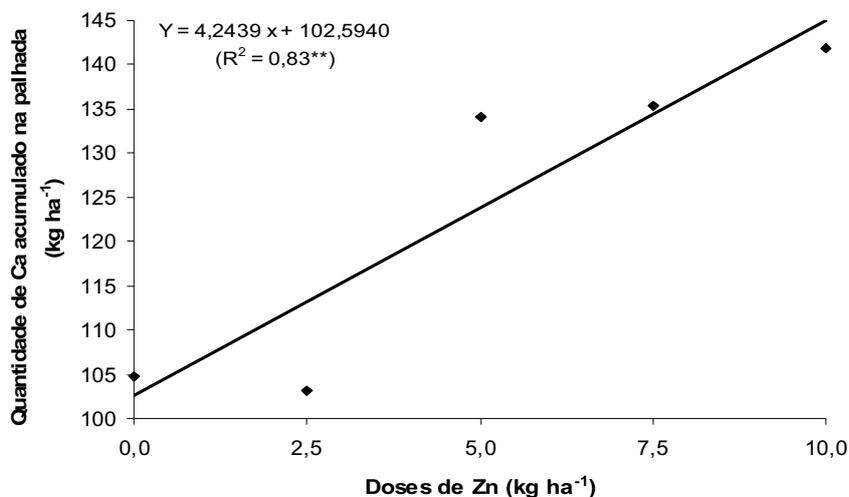


Figura 37. Equação de regressão referente a quantidade de Ca acumulado na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

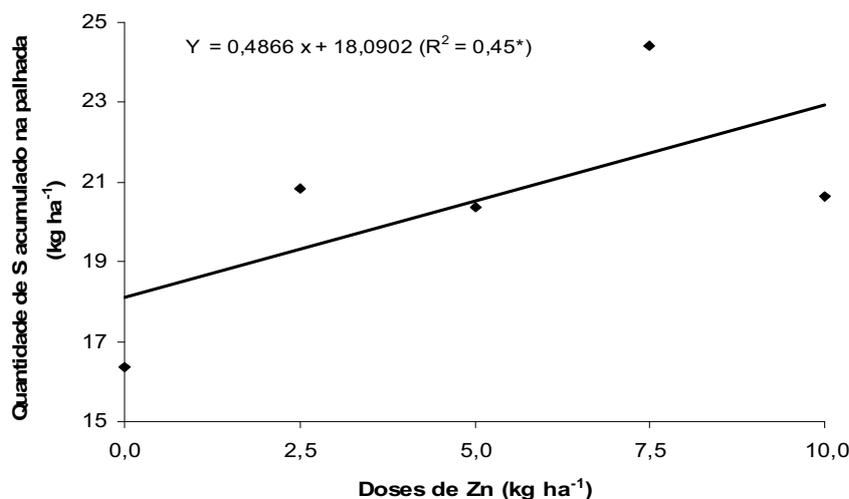


Figura 38. Equação de regressão referente a quantidade de S acumulado na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2008/2009.

Na Tabela 28, verifica-se que os tratamentos com Zn aplicados via solo ou via foliar não diferiram significativamente para as quantidades acumuladas dos macronutrientes na palhada (ponteiro + folhas), tanto em cana-planta como na 1ª cana-soca. Resultado semelhante foi observado para as quantidades acumuladas dos macronutrientes no colmo da cana-de-açúcar (Tabela 24).

Tabela 28. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Cana-planta						
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	135,46 a	7,51 a	26,66 a	144,36 a	74,84 a	14,00 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	155,50 a	16,49 a	48,56 a	111,07 a	60,99 a	22,81 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	181,83 a	16,48 a	62,89 a	155,38 a	87,47 a	20,70 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	165,05 a	14,68 a	50,89 a	130,05 a	73,42 a	23,26 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	127,05 a	8,56 a	36,78 a	148,27 a	70,04 a	20,00 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	133,02 a	6,50 a	28,70 a	83,86 a	56,59 a	13,98 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	161,13 a	7,35 a	67,74 a	97,82 a	69,04 a	19,02 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	176,73 a	10,75 a	58,85 a	125,22 a	57,37 a	19,65 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	165,05 a	17,93 a	80,68 a	138,48 a	59,34 a	26,87 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	134,27 a	10,58 a	40,21 a	146,71 a	75,36 a	21,09 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	160,52 a	8,03 a	38,69 a	116,26 a	59,94 a	21,10 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	155,58 a	10,93 a	49,12 a	100,41 a	63,99 a	20,61 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	189,49 a	17,44 a	63,32 a	121,60 a	83,91 a	20,79 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	145,00 a	14,68 a	45,02 a	137,30 a	70,20 a	23,26 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	151,41 a	12,96 a	52,01 a	130,39 a	67,47 a	20,82 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	175,69 a	16,92 a	72,15 a	134,37 a	72,49 a	19,24 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	158,41 a	7,23 a	28,71 a	131,25 a	85,41 a	13,72 a
D.M.S. (5%)	165,89	12,07	55,00	105,19	53,21	16,23
C.V. (%)	26,16	18,33	19,09	20,80	18,80	19,99
1ª Cana-soca						
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	246,04 a	39,86 a	374,44 a	105,61 a	52,40 a	32,51 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	230,98 a	30,76 a	367,10 a	84,04 a	51,38 a	32,27 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	222,54 a	26,88 a	452,02 a	92,47 a	59,63 a	30,10 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	197,18 a	23,96 a	305,93 a	70,85 a	41,48 a	25,57 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	274,72 a	34,25 a	363,73 a	99,63 a	50,22 a	33,76 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	255,51 a	33,49 a	465,71 a	118,23 a	56,28 a	34,83 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	285,20 a	33,61 a	482,39 a	115,07 a	58,05 a	35,23 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	167,63 a	17,71 a	374,25 a	115,68 a	57,55 a	31,01 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	186,24 a	19,50 a	292,17 a	112,97 a	56,22 a	28,83 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	264,36 a	30,68 a	418,52 a	93,75 a	54,14 a	32,08 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	264,54 a	38,30 a	460,59 a	100,34 a	51,79 a	35,29 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	204,42 a	28,29 a	410,94 a	79,37 a	43,35 a	27,64 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	216,38 a	24,63 a	462,46 a	89,93 a	62,18 a	32,22 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	177,87 a	19,51 a	300,16 a	111,60 a	52,51 a	28,57 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	208,84 a	21,48 a	311,83 a	134,22 a	63,35 a	35,57 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	238,62 a	30,32 a	274,11 a	95,47 a	47,51 a	34,06 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	163,45 a	23,67 a	320,47 a	72,96 a	40,25 a	27,70 a
D.M.S. (5%)	197,10	34,37	291,81	86,68	36,23	16,07
C.V. (%)	28,77	22,33	17,74	28,46	22,41	16,62

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

As fontes de Zn (FTE, quelato e sulfato) aplicadas no sulco de plantio da cultura, não diferiram significativamente para as quantidades dos micronutrientes B e Cu acumulados na palhada (ponteiro + folhas), em ambos os cultivos (Tabela 29). Entretanto, as quantidades de Fe e Mn acumulados na palhada da cana-planta foram significativamente superiores para o FTE de Zn. Em contrapartida, a quantidade de Zn acumulado na palhada da 1ª cana-soca foi maior com a aplicação de quelato de Zn, embora este não tenha diferido significativamente do sulfato de Zn.

As doses de Zn não influenciaram as quantidades de B, Cu e Fe acumulados na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar, em nenhum dos cultivos (Tabela 29). Com relação a quantidade de Mn acumulado na palhada da cana-de-açúcar, para cana-planta houve interação entre fontes e doses de Zn, sendo observado para quelato de Zn ajuste a função linear crescente, e para o FTE de Zn ajuste a função quadrática, com o ponto de máxima quantidade de Mn acumulado sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 5,33 kg ha⁻¹ de Zn (Figura 39). Já para 1ª cana-soca, a quantidade de Mn acumulado na palhada aumentou linearmente com o incremento das doses de Zn, independentemente da fonte deste micronutriente (Figura 40). Para a quantidade de Zn acumulado na palhada, observou-se que houve interação entre fontes e doses de Zn para cana-planta, sendo constatado ajuste a função linear crescente apenas para o quelato de Zn (Figura 41).

O acúmulo médio de B, Cu, Fe, Mn e Zn acumulados na palhada (ponteiro + folhas) da cana-planta adubada com Zn foi de 1,99; 0,05; 2,13; 4,53 e 1,77 kg ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, a 88, 16, 66, 81 e 64% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (folhas + ponteiro + colmo) (Tabela 29). Sendo assim, na ocasião da colheita da cultura, o acúmulo de micronutrientes na palhada da cana-planta apresentou a seguinte ordem decrescente: Mn > Fe > B > Zn > Cu. Com relação ao valores acumulados de B, Fe, Mn e Zn na palhada da 1ª cana-soca, em média, estes foram de 0,33; 8,32; 4,19 e 0,85 kg ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, a 65, 81, 68 e 62% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (folhas + ponteiro + colmo) (Tabela 29). Na ocasião da colheita da cultura, o acúmulo de micronutrientes na palhada da 1ª cana-soca com residual da adubação com Zn, apresentou a seguinte ordem decrescente: Mn > Fe > Zn > B (Tabela 29). Estes resultados evidenciam que a maior porcentagem de B, Fe, Mn e Zn acumulados na parte aérea não é exportada, sendo assim, após a decomposição da palhada oriunda da colheita mecanizada e a mineralização da matéria orgânica, estes micronutrientes poderão ser restituídos ao solo e passíveis de absorção pela cana-de-açúcar.

Com base nas quantidades acumuladas de micronutrientes no colmo e na palhada (ponteiro + folhas), obteve-se o total acumulado de micronutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar. O acúmulo médio de B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea da cana-planta em função da aplicação de doses e fontes de Zn no plantio, foi igual a 2,56; 0,19; 3,24; 5,6 e 2,76 kg ha⁻¹, respectivamente. Sendo assim, na ocasião da colheita da cultura, o acúmulo de micronutrientes na parte aérea da cana-planta apresentou a seguinte ordem decrescente: Mn > Fe > Zn > B > Cu. Com relação, aos valores médios acumulados de B, Fe, Mn e Zn na parte aérea da 1ª cana-soca com residual da adubação com Zn, estes foram iguais a 0,51; 10,30; 6,20 e 1,36 kg ha⁻¹, respectivamente. Portanto, na ocasião da colheita da cultura, o acúmulo de micronutrientes na parte aérea da cana-planta apresentou a seguinte ordem decrescente: Fe > Mn > Zn > B > Cu. De acordo com Malavolta et al. (1997), a exigência em Zn da cana-de-açúcar é em média de 0,72 kg ha⁻¹, entretanto, ressalta-se que os maiores acúmulos de Zn (2,76 e 1,36 kg ha⁻¹) constatados no experimento, são decorrentes dos tratamentos com Zn. Orlando Filho et al. (1980) obtiveram acúmulo médio de Zn pela variedade CB4176 de 0,44 kg por 100 t de colmos por hectare no ciclo agrícola da cana-planta. Por sua vez, Franco (2008), estudando a extração de nutrientes em cana-planta (SP813250), constatou que a parte aérea (colmo + folhas + ponteiro) da cultura acumulou 0,22 kg de Zn por 100 t de colmos por hectare.

Tabela 29. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(kg ha ⁻¹)				
Cana-planta					
Fontes de Zn					
FTE	1,99 a	0,05 a	2,87 a	5,34 a	1,75 a
Quelato de Zn	1,99 a	0,05 a	1,82 b	3,94 b	1,80 a
Sulfato de Zn	2,00 a	0,05 a	1,70 b	4,32 b	1,75 a
D.M.S. (5%)	0,37	0,03	0,68	0,73	0,22
Doses de Zn (kg ha⁻¹)					
0	1,92 ^{ns}	0,06 ^{ns}	2,02 ^{ns}	4,14	1,66
2,5	1,91	0,06	2,12	4,18	1,84
5,0	2,11	0,03	2,30	5,14	1,80
7,5	2,06	0,05	2,43	4,54	1,85
10,0	1,96	0,05	1,80	4,66	1,69
Média geral	1,99	0,05	2,13	4,53	1,77
C.V. (%)	15,93	10,08	27,03	13,82	10,82
1ª Cana-soca					
Fontes de Zn					
FTE	0,33 a	0,14 a	8,21 a	3,80 a	0,78 b
Quelato de Zn	0,30 a	0,09 a	8,12 a	4,62 a	0,94 a
Sulfato de Zn	0,36 a	0,09 a	8,62 a	4,15 a	0,84 ab
D.M.S. (5%)	0,06	0,07	1,49	1,14	0,14
Doses de Zn (kg ha⁻¹)					
0	0,34 ^{ns}	0,11 ^{ns}	8,43 ^{ns}	3,52	0,81 ^{ns}
2,5	0,33	0,10	8,38	3,68	0,85
5,0	0,34	0,12	8,48	4,75	0,90
7,5	0,28	0,08	6,88	4,14	0,79
10,0	0,36	0,13	9,41	4,85	0,92
Média geral	0,33	0,11	8,32	4,19	0,85
C.V. (%)	20,82	16,70	19,82	30,17	18,74

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão.

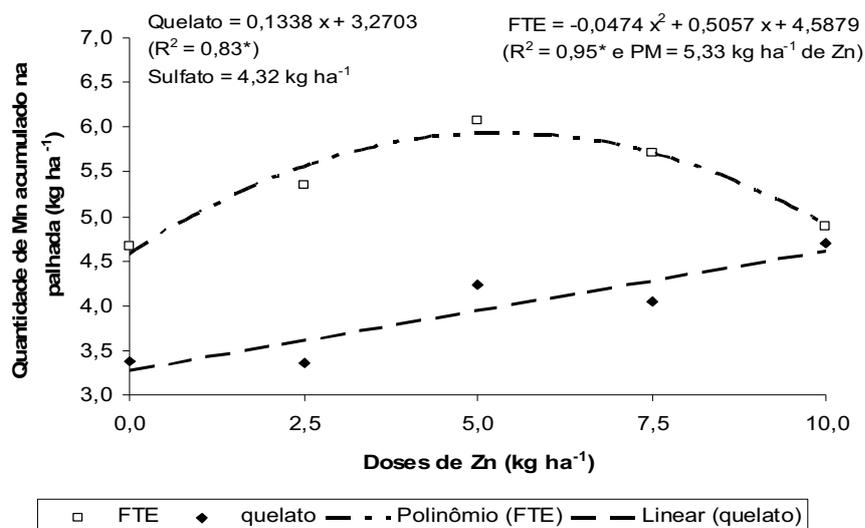


Figura 39. Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente a quantidade de Mn acumulada na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanápolis – SP, 2008/2009.

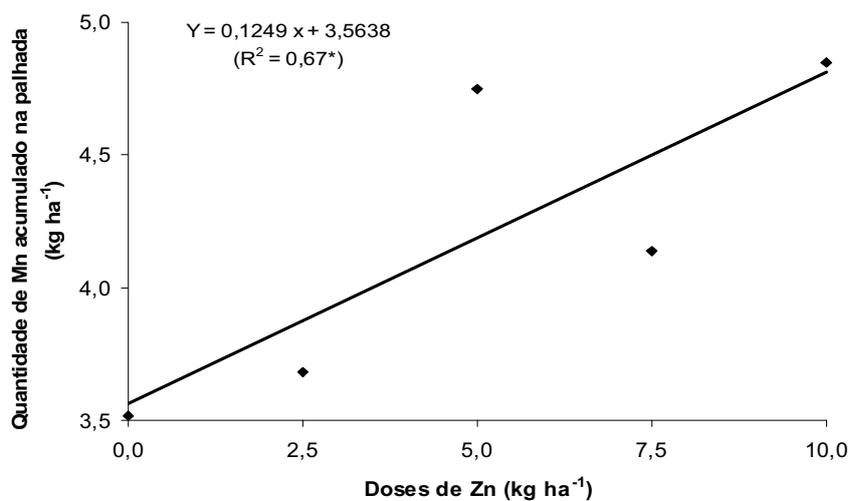


Figura 40. Equação de regressão referente a quantidade de Mn acumulada na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2009/2010.

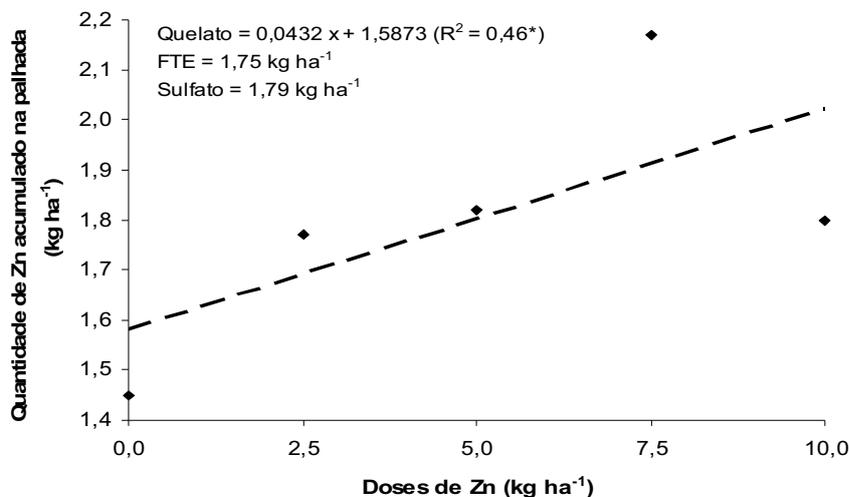


Figura 41. Efeito da interação doses de Zn dentro de fonte de zinco, da análise de variância referente a quantidade de Zn acumulado na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta). Suzanápolis – SP, 2008/2009.

Os tratamentos com Zn aplicados via solo e via foliar não diferiram significativamente para as quantidades acumuladas dos micronutrientes na palhada (ponteiro + folhas), tanto em cana-planta como na 1ª cana-soca (Tabela 30). Resultado semelhante foi observado para as quantidades acumuladas dos micronutrientes no colmo da cana-de-açúcar (Tabela 26).

Na cana-planta, o quelato e o sulfato Zn aplicados via foliar proporcionaram respectivamente, acúmulos médios de 0,90 e 0,97 kg ha⁻¹ de Zn no colmo, 1,83 e 1,81 kg ha⁻¹ de Zn na palhada (ponteiro + folhas) e 2,73 e 2,78 kg ha⁻¹ de Zn na parte aérea total (Tabela 30). Para 1ª cana-soca, o quelato e o sulfato Zn aplicados via foliar proporcionaram respectivamente, acúmulo médio de 0,31 e 0,42 kg ha⁻¹ de Zn no colmo, 0,87 e 0,71 kg ha⁻¹ de Zn na palhada (ponteiro + folhas) e 1,18 e 1,13 kg ha⁻¹ de Zn na parte aérea total (Tabela 30).

Tabela 30. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes as quantidades acumuladas de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- (kg ha ⁻¹) -----				
Cana-planta					
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,04 a	0,05 a	2,69 a	4,66 a	1,79 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,04 a	0,08 a	2,96 a	5,36 a	1,93 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,16 a	0,04 a	3,07 a	6,08 a	1,79 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	1,90 a	0,04 a	3,41 a	5,72 a	1,66 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	1,82 a	0,02 a	2,24 a	4,88 a	1,60 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	1,74 a	0,05 a	1,49 a	3,37 a	1,46 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	1,93 a	0,04 a	1,65 a	3,36 a	1,77 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	1,90 a	0,02 a	1,83 a	4,23 a	1,82 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,36 a	0,09 a	2,26 a	4,04 a	2,17 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,05 a	0,05 a	1,89 a	4,70 a	1,80 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	1,99 a	0,08 a	1,86 a	4,37 a	1,72 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	1,76 a	0,05 a	1,74 a	3,83 a	1,82 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,27 a	0,03 a	2,00 a	5,13 a	1,80 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	1,93 a	0,03 a	1,63 a	3,87 a	1,74 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,01 a	0,07 a	1,28 a	4,40 a	1,69 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,20 a	0,08 a	1,80 a	5,52 a	1,83 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	2,25 a	0,03 a	4,51 a	5,51 a	1,81 a
D.M.S. (5%)	1,20	0,13	3,80	3,56	0,74
C.V. (%)	14,71	25,00	15,58	18,92	10,33
1ª Cana-soca					
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,36 a	0,11 a	9,29 a	2,77 a	0,72 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,36 a	0,09 a	7,86 a	3,58 a	0,81 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,31 a	0,20 a	8,21 a	4,27 a	0,83 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,26 a	0,06 a	6,81 a	3,83 a	0,69 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,35 a	0,22 a	8,86 a	4,60 a	0,84 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,31 a	0,07 a	8,03 a	3,91 a	0,83 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,32 a	0,12 a	9,53 a	4,23 a	1,02 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,32 a	0,05 a	7,98 a	5,60 a	1,00 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,26 a	0,09 a	7,22 a	4,83 a	0,93 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,31 a	0,13 a	7,84 a	4,53 a	0,91 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,35 a	0,12 a	7,99 a	3,88 a	0,87 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,30 a	0,08 a	7,75 a	3,23 a	0,72 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,39 a	0,11 a	9,25 a	4,38 a	0,88 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,33 a	0,08 a	6,62 a	3,83 a	0,74 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,42 a	0,05 a	11,52 a	5,42 a	1,00 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,36 a	0,07 a	8,38 a	3,97 a	0,87 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,27 a	0,05 a	7,06 a	3,26 a	0,71 a
D.M.S. (5%)	0,22	0,20	5,42	3,72	0,48
C.V. (%)	21,62	10,57	21,46	29,54	18,62

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

4.4. Indicadores de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

Na Tabela 31, verifica-se que as fontes de Zn (FTE, quelato e sulfato) aplicadas no sulco de plantio da cultura não diferiram significativamente apenas para o brix da cana-de-açúcar, em ambos cultivos. Portanto, as fontes de Zn não afetaram a porcentagem de sólidos solúveis totais (açúcares e não açúcares). Com relação a pureza do caldo da cana-de-açúcar, que quanto maior a porcentagem melhor é qualidade da matéria-prima, houve diferença entre as fontes de Zn somente para 1ª cana-soca, sendo que o quelato de Zn proporcionou maior pureza, apesar deste não diferir significativamente do sulfato de Zn. Entretanto, é importante destacar que as porcentagens de pureza do caldo obtidas em cana-planta e 1ª cana-soca estiveram sempre acima de 85%, valor limite recomendado para um bom resultado desta avaliação, segundo Ripoli e Ripoli (2004).

As fontes de Zn diferiram significativamente quanto a POL da cana e POL do caldo para 1ª cana-soca (Tabela 31), sendo que em ambas avaliações, o quelato e sulfato de Zn foram superiores ao FTE de Zn. Portanto, estas fontes de Zn proporcionaram maior porcentagem aparente de sacarose, em peso, na cana e no caldo da cana. De acordo com Ripoli e Ripoli (2004), os resultados de POL do caldo da cana-de-açúcar encontrados foram todos satisfatórios, já que ficaram acima de 14%.

Quanto a porcentagem de fibra da cana, verificou-se diferença significativa entre as fontes de Zn apenas para cana-planta, sendo que o sulfato de Zn proporcionou a maior porcentagem de fibra, apesar deste não diferir do quelato de Zn (Tabela 31). Contudo, ressalta-se que os valores obtidos neste experimento, estão dentro da faixa considerada adequada para fibra da cana (de 11 a 13%), de acordo com Ripoli e Ripoli (2004). Quanto mais alta a porcentagem de fibra da cana, menor será a eficiência da extração da moenda. Já a baixa porcentagem de fibra pode provocar acamamento e, também quebra de ponteiros pela ação dos ventos (SEGATO et al., 2006b).

Com relação as doses de Zn, estas não afetaram a pureza do caldo e a fibra da cana, nos dois cultivos da cana-de-açúcar (Tabela 31). Entretanto, a POL da cana e POL do caldo foram influenciados pelas doses de Zn apenas na 1ª cana-soca, ajustando-se a funções quadráticas, com o ponto de máxima POL da cana e POL do caldo sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 4,37 kg ha⁻¹ de Zn (Figuras 42 e 43).

Na Figura 44, constata-se que as doses de Zn também influenciaram significativamente o brix da 1ª cana-soca, ajustando-se a função quadrática com o ponto de máximo brix da cana

sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 4,25 kg ha⁻¹ de Zn. Isto mostra que a adubação com zinco pode elevar a porcentagem de sólidos solúveis totais (açúcares e não açúcares).

As respostas dos indicadores de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar à adubação com zinco, descritas na literatura, são muito variáveis. Franco et al. (2009), trabalhando com doses de Zn (0, 3 e 6 kg ha⁻¹) aplicadas ao solo, na forma de sulfato de zinco dissolvido em água (200 L ha⁻¹) e 90 dias após o plantio da cultura (variedade SP813250), também verificaram aumento significativo nas porcentagens de brix da cana e POL da cana. Já Marinho e Albuquerque (1981) verificaram efeito significativo da aplicação de Zn na POL da cana e pureza do caldo da cana-de-açúcar, em sete experimentos conduzidos em solos de tabuleiro em Alagoas, quando os teores deste micronutriente estavam inferiores a 5 mg dm⁻³. Entretanto, Andrade et al. (1995) trabalhando com a aplicação de fritas e de fontes solúveis de boro, cobre e zinco (sulfato de Zn), via solo, no sulco de plantio da variedade SP701143, cultivado em Latossolo Vermelho distrófico de textura média com baixo teor de Zn (0,3 mg dm⁻³), verificaram que tanto a aplicação conjunta (fritas) como a aplicação isolada de micronutrientes, não resultou em aumento nos parâmetros tecnológicos (pureza do caldo, fibra da cana, brix da cana, POL da cana e ATR da cana) da cana-de-açúcar. Além disso, estes autores também não observaram efeito residual desta adubação na 1^a cana-soca. Por sua vez, Korndörfer et al. (1995) estudando o efeito das doses 0, 30, 50 e 70 kg ha⁻¹ de fritas contendo B, Cu, Fe, Mn e Zn, na produção e qualidade tecnológica da cana-planta e cana-soca de 3 variedades de cana-de-açúcar, cultivadas em um Neossolo Quartzarênico de baixa fertilidade, verificaram que a qualidade tecnológica da cana (pureza do caldo, brix da cana, POL da cana e sacarose) não foi afetada pela aplicação de micronutrientes no solo. Já Farias et al. (2009), avaliando a qualidade industrial de cana-de-açúcar (variedade SP791011) sob irrigação e a aplicação de doses de Zn (0, 1, 2, 3 e 4 kg ha⁻¹), em solo do Tabuleiro Costeiro paraibano, também não observaram influência da adubação com zinco sobre a pureza do caldo, fibra da cana, brix da cana, POL da cana e ATR da cana.

Tabela 31. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes a pureza do caldo, POL da cana, POL do caldo, fibra e brix da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	Pureza do caldo	POL da cana	POL do caldo	Fibra da cana	Brix da cana
------(%)-----					
Cana-planta					
Fontes de Zn					
FTE	88,56 a	78,05 a	18,84 a	12,80 b	21,28 a
Quelato de Zn	89,90 a	79,38 a	19,13 a	12,86 ab	21,33 a
Sulfato de Zn	88,66 a	80,40 a	19,33 a	13,24 a	21,60 a
D.M.S. (5%)	2,27	2,39	0,51	0,41	0,51
Doses de Zn (kg ha⁻¹)					
0	88,98 ^{ns}	79,37 ^{ns}	19,12 ^{ns}	13,00 ^{ns}	21,48 ^{ns}
2,5	89,99	79,22	19,18	13,05	21,31
5,0	87,15	78,70	18,97	13,04	21,36
7,5	90,24	79,51	19,13	12,90	21,28
10,0	88,82	79,60	19,13	12,83	21,59
Média geral	89,04	79,28	19,10	12,97	21,40
C.V. (%)	3,32	3,92	3,50	4,10	3,11
1ª Cana-soca					
Fontes de Zn					
FTE	87,07 b	79,38 b	18,97 b	12,46 a	21,81 a
Quelato de Zn	88,85 a	81,57 a	19,48 a	12,48 a	21,92 a
Sulfato de Zn	88,48 ab	81,51 a	19,46 a	12,35 a	22,01 a
D.M.S. (5%)	1,54	1,81	0,40	0,32	0,54
Doses de Zn (kg ha⁻¹)					
0	88,11 ^{ns}	79,74	19,07	12,27 ^{ns}	21,64
2,5	88,06	82,63	19,70	12,27	22,39
5,0	87,74	82,17	19,59	12,58	22,36
7,5	89,13	79,60	19,05	12,49	21,38
10,0	87,64	79,96	19,10	12,54	21,81
Média geral	88,13	80,82	19,30	12,43	21,91
C.V. (%)	2,27	2,91	2,70	3,35	3,19

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão.

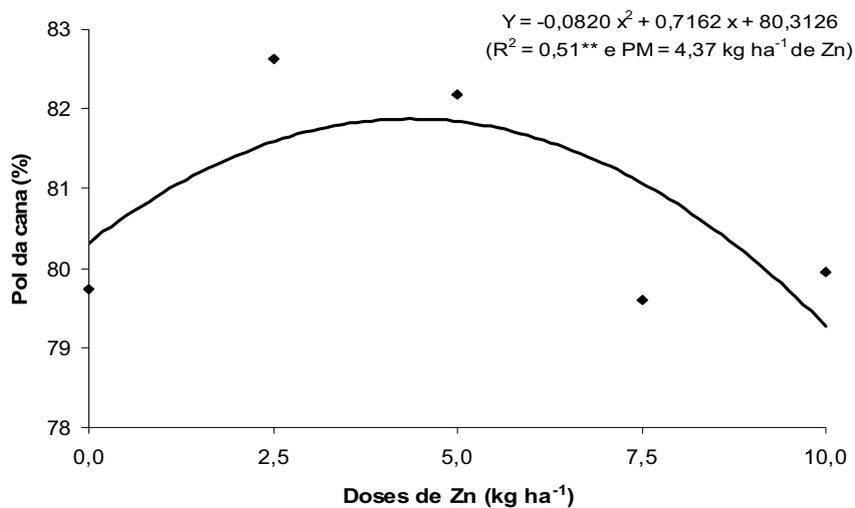


Figura 42. Equação de regressão referente a POL da cana-de-açúcar (1^a cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2009/2010.

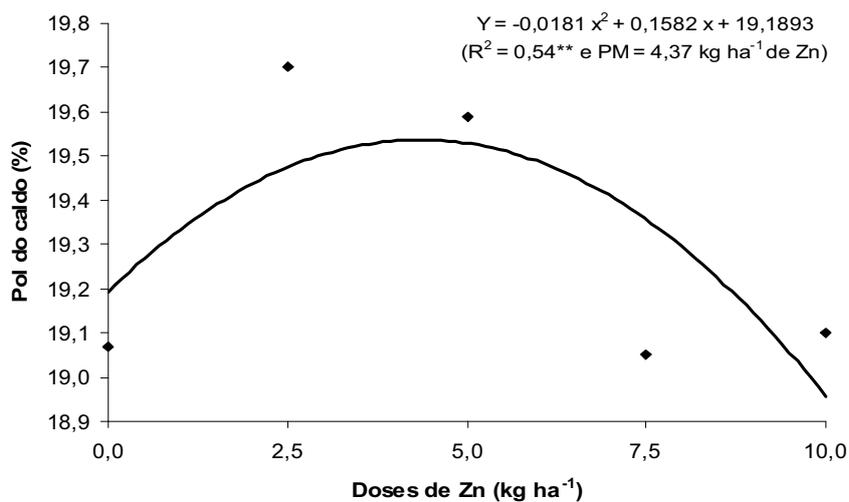


Figura 43. Equação de regressão referente a POL do caldo da cana-de-açúcar (1^a cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2009/2010.

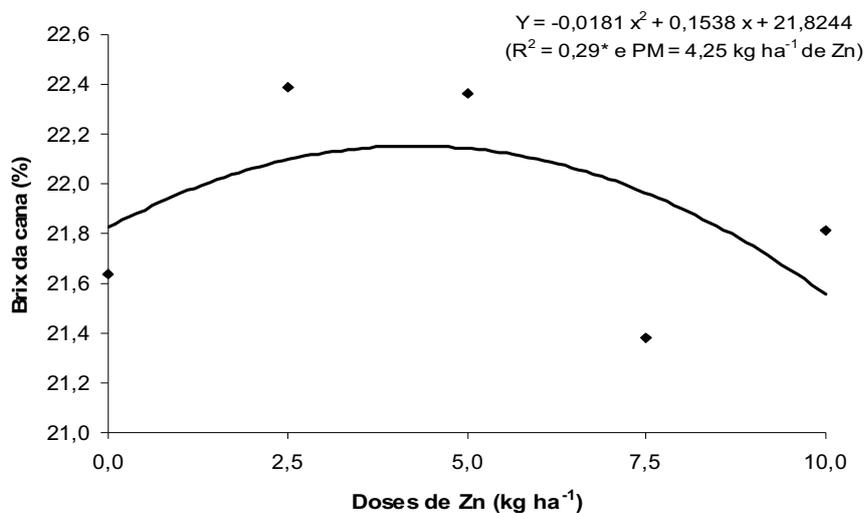


Figura 44. Equação de regressão referente ao Brix da cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2009/2010.

Os tratamentos com Zn aplicados via solo e via foliar não diferiram significativamente para pureza do caldo, fibra da cana e brix da cana, tanto em cana-planta como na 1ª cana-soca (Tabela 32). Contudo, ressalta-se que no segundo cultivo da cana-de-açúcar, o sulfato de Zn aplicado via foliar proporcionou a maior pureza do caldo. Quanto a POL da cana e POL do caldo, apesar de não ter ocorrido diferença significativa entre os tratamentos com Zn para cana-planta, vale destacar que na 1ª cana-soca, o quelato de Zn aplicado via foliar propiciou os menores valores para ambas as avaliações, porém, este não foi inferior significativamente a todos tratamentos. Azeredo e Bolsanello (1981), pesquisando a aplicação de sulfato de zinco ($8,75 \text{ ha}^{-1}$ de Zn) no sulco de plantio da cana-de-açúcar ou via foliar (1% de Zn em solução, aplicados ao 90 dias após o plantio), em oito experimentos desenvolvidos em quatro locais e cultivados na presença e ausência de calagem, não constataram resposta à adição de Zn para os parâmetros tecnológicos (fibra da cana, brix da cana, POL da cana e ATR da cana) da cana-planta variedade CB453, em nenhum dos experimentos.

Tabela 32. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes a pureza do caldo, POL da cana, POL do caldo, fibra e brix da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanápolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Tratamentos	Pureza do caldo	POL da cana	POL do caldo	Fibra da cana	Brix da cana
Cana-planta					
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	87,66 ab	77,70 a	18,74 a	13,04 ab	21,38 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	90,36 ab	78,72 a	19,05 a	12,80 ab	21,08 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	87,58 ab	77,52 a	18,69 a	12,96 ab	21,35 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	88,99 ab	77,66 a	18,80 a	12,38 b	21,12 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	88,18 ab	78,54 a	18,92 a	12,81 ab	21,45 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	90,14 ab	79,14 a	19,09 a	12,80 ab	21,17 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	88,90 ab	78,58 a	19,11 a	13,21 ab	21,48 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,77 ab	78,68 a	18,98 a	13,06 ab	21,15 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	91,63 a	81,09 a	19,36 a	12,36 b	21,38 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,01 ab	79,40 a	19,13 a	12,85 ab	21,49 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,12 ab	81,17 a	19,52 a	13,17 ab	21,90 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	90,70 ab	80,35 a	19,37 a	13,13 ab	21,35 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	84,10 b	79,84 a	19,22 a	13,11 ab	21,58 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	90,10 ab	79,77 a	19,22 a	13,97 a	21,33 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,25 ab	80,83 a	19,33 a	12,84 ab	21,82 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,77 ab	79,99 a	19,27 a	12,65 ab	21,46 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	91,26 ab	79,87 a	19,26 a	13,39 ab	20,87 a
D.M.S. (5%)	7,27	8,31	1,79	1,36	1,93
C.V. (%)	3,16	4,06	3,64	4,07	3,50
1ª Cana-soca					
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	87,45 abc	76,18 c	18,39 c	12,32 ab	21,03 c
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	83,30 c	80,79 abc	19,32 abc	12,24 ab	23,20 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	86,33 bc	79,08 bc	19,01 abc	12,97 a	22,02 abc
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,78 ab	78,08 bc	18,85 bc	12,25 ab	21,00 c
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	88,49 ab	80,06 abc	19,26 abc	12,51 ab	21,78 abc
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	87,29 abc	79,90 abc	19,21 abc	12,34 ab	22,02 abc
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	90,99 ab	84,53 a	20,29 a	12,70 ab	22,31 abc
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,84 ab	82,79 ab	19,89 ab	12,26 ab	22,14 abc
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	88,61 ab	78,47 abc	18,85 bc	12,53 ab	21,34 bc
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	87,55 abc	79,37 abc	19,10 abc	12,59 ab	21,81 abc
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,60 ab	81,50 abc	19,61 abc	12,14 ab	21,88 abc
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,88 ab	80,90 abc	19,47 abc	11,87 b	21,66 abc
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	87,04 abc	82,94 ab	19,87 ab	12,52 ab	22,91 ab
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	89,00 ab	80,62 abc	19,40 abc	12,68 ab	21,80 abc
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	86,89 abc	78,82 abc	18,95 abc	12,52 ab	21,83 abc
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	87,94 abc	76,20 c	18,40 c	12,32 ab	20,91 cb
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	91,96 a	81,26 abc	19,58 abc	12,39 ab	21,34 cb
D.M.S. (5%)	5,15	6,19	1,38	1,09	1,86
C.V. (%)	2,26	3,00	2,77	3,42	3,30

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

As fontes de Zn (FTE, quelato e sulfato) aplicadas no sulco de plantio da cultura não diferiram significativamente para a quantidade de ATR por hectare e produtividade agroindustrial da cana-de-açúcar, nos dois cultivos (Tabela 33).

Com relação a quantidade de AR do caldo da cana-de-açúcar, que afeta diretamente a pureza do caldo, houve diferença entre as fontes de Zn somente para 1ª cana-soca, sendo que o FTE de Zn apresentou maior quantidade de açúcares redutores (glicose e frutose) no caldo, apesar deste não diferir significativamente do sulfato de Zn (Tabela 33). Contudo, ressalta-se que os valores médios de AR do caldo em ambos cultivos, foram satisfatórios, pois ficaram abaixo de 0,8%, que é o valor limite recomendado para esta característica, de acordo com Ripoli e Ripoli (2004).

Quanto a quantidade de ATR da cana, constatou-se diferença significativa entre as fontes de Zn apenas para a 1ª cana-soca, sendo que o sulfato e o quelato de Zn proporcionaram maior quantidade de açúcar total recuperável (ATR) da cana, em relação ao FTE de Zn (Tabela 33).

As doses de Zn não influenciaram a porcentagem de AR do caldo, a quantidade ATR por hectare e a produtividade agroindustrial da cana-de-açúcar, tanto em cana-planta como na 1ª cana-soca (Tabela 33). Entretanto, a quantidade de ATR da cana foi influenciada significativamente pelas doses de Zn na 1ª cana-soca, ajustando-se a função quadrática com o ponto de máximo ATR da cana sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 4,00 kg ha⁻¹ de Zn (Figura 45). Observou-se assim, com a aplicação desta dose ótima (4,0 kg ha⁻¹ de Zn) um aumento de 4 kg de açúcar por tonelada de cana em relação a testemunha (0,0 kg ha⁻¹ de Zn). Portanto, a adubação com zinco pode elevar a quantidade de açúcar total recuperável (ATR) contido na cana-de-açúcar. Isto é importante, pois o atual modelo de pagamento da cana é denominado sistema de remuneração da tonelada de cana pela qualidade – sistema CONSECANA (SEGATO et al., 2006b).

Resultado semelhante foi obtido por Wang et al. (2005) que, averiguando a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de sulfato de zinco no solo (0; 4,4; 8,9; 17,9 e 33,8 kg ha⁻¹ de Zn), no estado da Lousiana, Estados Unidos da América, onde observaram incremento na produtividade de açúcar da variedade LCP 85-384, em um solo ácido e outro de origem calcária, ambos com baixos teores de Zn. Por sua vez Franco et al. (2009), trabalhando com doses de Zn (0, 3 e 6 kg ha⁻¹) aplicadas ao solo, na forma de sulfato de zinco dissolvido em água (200 L ha⁻¹) e 90 dias após o plantio da cultura, verificaram aumento significativo na porcentagem de AR do caldo e quantidade de ATR da cana-planta (variedade SP813250), em relação a testemunha, resultando

em maior rendimento de açúcar por área, com margem de contribuição da ordem de R\$ 500,00 por hectare com a aplicação de 3 kg ha⁻¹ de Zn.

Uma hipótese relatada por Franco et al. (2009), que também serve para explicar os resultados positivos obtidos para os indicadores de qualidade tecnológica (POL da cana, POL do caldo, brix da cana e ATR da cana) da 1ª cana-soca em resposta à aplicação de doses de Zn (Tabelas 31 e 33), é que, este efeito poderia ser função do Zn no metabolismo do fitohormônio AIA. Nesse caso, o efeito residual da aplicação de Zn pode ter estimulado o crescimento vegetal nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, visto que ocorreram consideráveis precipitações pluviais neste período (Figura 1B), fazendo com que a 1ª cana-soca completasse seu ciclo em menor tempo, e assim, como efeito secundário, proporcionasse uma melhora destes indicadores de qualidade tecnológica na colheita do experimento. Além disso, Dechen et al. (1991) explicaram que a maior absorção de Zn no início da cultura, deve-se a esse elemento fazer parte de sistemas enzimáticos, regulando o metabolismo de carboidratos, fosfatos e proteínas além da formação de auxinas, RNA e ribossomos, fatores essenciais na regulação do crescimento da planta.

Tabela 33. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes ao AR do caldo, ATR da cana, ATR por hectare e produtividade agroindustrial da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função de fontes e doses de zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

	AR do caldo (%)	ATR da cana (kg de açúcar t ⁻¹ de cana)	ATR por hectare (t de açúcar ha ⁻¹)	Produtividade agroindustrial (t ha ⁻¹ de Pol)
Cana-planta				
Fontes de Zn				
FTE	0,66 a	154,46 a	13,47 a	16,43 a
Quelato de Zn	0,60 a	156,46 a	13,75 a	16,83 a
Sulfato de Zn	0,69 a	157,07 a	13,61 a	16,76 a
D.M.S. (5%)	0,13	4,20	1,36	1,68
Doses de Zn (kg ha⁻¹)				
0	0,59 ^{ns}	155,98 ^{ns}	12,42 ^{ns}	15,21 ^{ns}
2,5	0,66	156,08	13,92	17,10
5,0	0,72	154,73	13,81	16,94
7,5	0,62	156,29	13,85	16,98
10,0	0,67	156,91	14,03	17,13
Média geral	0,65	156,00	13,60	16,67
C.V. (%)	26,81	3,51	13,00	13,11
1ª Cana-soca				
Fontes de Zn				
FTE	0,65 a	156,76 b	16,42 a	20,19 a
Quelato de Zn	0,59 b	160,33 a	17,90 a	22,24 a
Sulfato de Zn	0,61 ab	160,62 a	16,49 a	20,40 a
D.M.S. (5%)	0,05	2,88	2,22	2,83
Doses de Zn (kg ha⁻¹)				
0	0,62 ^{ns}	157,82	17,04 ^{ns}	20,85 ^{ns}
2,5	0,62	162,83	16,67	21,02
5,0	0,63	161,23	16,71	21,19
7,5	0,59	156,85	16,18	19,71
10,0	0,64	157,47	18,08	21,95
Média geral	0,62	159,24	16,93	20,94
C.V. (%)	11,11	2,35	17,05	17,57

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pela análise de regressão.

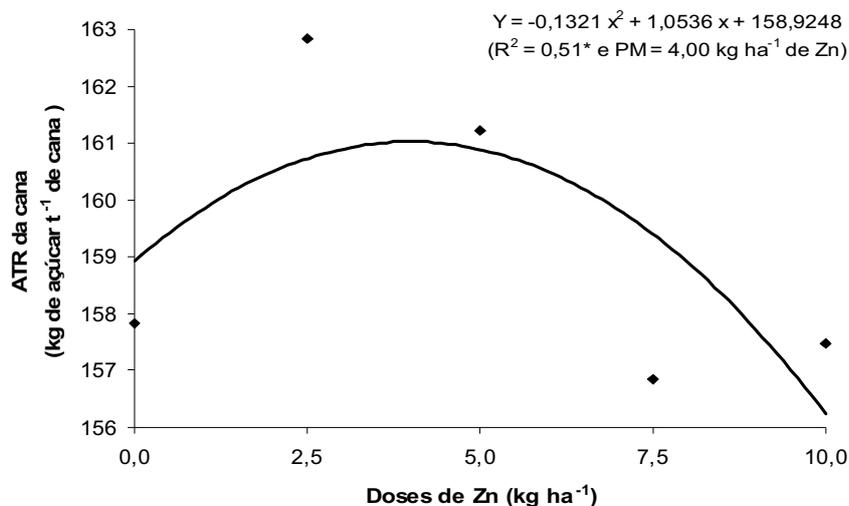


Figura 45. Equação de regressão referente ao ATR da cana-de-açúcar (1^a cana-soca) em função de doses de Zn. Suzanápolis – SP, 2009/2010.

Na Tabela 34, verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos com Zn aplicados via solo ou via foliar para quantidade de ATR por hectare e produtividade agroindustrial da cana-de-açúcar, tanto em cana-planta como na 1^a cana-soca. Quanto ao AR do caldo e ATR da cana, apesar de não ter ocorrido diferença significativa entre os tratamentos com Zn para cana-planta, vale destacar que na 1^a cana-soca, o sulfato de Zn aplicado via foliar propiciou os menores valores de AR do caldo, enquanto que, o quelato de Zn aplicado via foliar propiciou os menores valores de ATR da cana, porém ressalta-se que estes resultados não foram inferiores significativamente aos outros tratamentos.

Tabela 34. Médias, teste de Tukey e coeficientes de variação (C.V.) referentes ao AR do caldo, ATR da cana, ATR por hectare e produtividade agroindustrial da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), em função das adubações com zinco. Suzanópolis – SP, 2008/2009 e 2009/2010.

Tratamentos	AR do caldo (%)	ATR da cana (kg de açúcar t ⁻¹ de cana)	ATR por hectare (t de açúcar ha ⁻¹)	Produtividade agroindustrial (t ha ⁻¹ de Pol)
Cana-planta				
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,63 a	153,19 a	12,19 a	14,90 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,65 a	155,66 a	13,90 a	17,02 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,70 a	153,10 a	13,80 a	16,85 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,70 a	155,14 a	13,62 a	16,49 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,71 a	155,20 a	13,85 a	16,89 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,62 a	156,06 a	12,41 a	15,15 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,55 a	155,39 a	14,00 a	17,21 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,59 a	155,54 a	13,74 a	16,88 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,67 a	159,85 a	14,43 a	17,59 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,49 a	156,46 a	14,16 a	17,29 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,70 a	158,69 a	12,67 a	15,58 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,58 a	157,18 a	13,85 a	17,08 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,75 a	156,55 a	13,89 a	17,09 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,79 a	153,88 a	13,50 a	16,85 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,68 a	159,06 a	14,09 a	17,22 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,56 a	157,97 a	14,79 a	18,04 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,51 a	155,49 a	14,38 a	17,82 a
D.M.S. (5%)	0,43	14,66	4,72	5,82
C.V. (%)	25,89	3,64	13,32	13,40
1ª Cana-soca				
FTE (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,64 abc	152,41 b	15,62 a	18,74 a
FTE (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,78 a	161,22 ab	17,75 a	20,81 a
FTE (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,68 ab	155,93 ab	16,76 a	20,91 a
FTE (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,57 bc	155,70 ab	15,80 a	19,33 a
FTE (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,61 abc	158,56 ab	17,15 a	21,17 a
Quelato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,65 abc	158,98 ab	18,45 a	22,65 a
Quelato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,52 bc	165,63 a	18,15 a	23,66 a
Quelato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,56 bc	163,98 a	16,92 a	21,73 a
Quelato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,60 bc	155,77 ab	17,46 a	20,89 a
Quelato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,64 abc	157,30 ab	18,23 a	22,28 a
Sulfato (0,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,57 bc	162,08 ab	17,05 a	21,17 a
Sulfato (2,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,56 bc	161,74 a	15,11 a	18,62 a
Sulfato (5,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,66 abc	163,79 a	16,45 a	20,93 a
Sulfato (7,5 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,59 bc	159,07 ab	14,99 a	18,90 a
Sulfato (10,0 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,66 abc	156,55 ab	18,85 a	22,39 a
Que. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,62 abc	152,38 b	17,87 a	20,74 a
Sulf. foliar (0,3 kg ha ⁻¹ de Zn)	0,49 c	160,60 ab	16,08 a	20,42 a
D.M.S. (5%)	0,18	10,14	7,42	9,59
C.V. (%)	11,22	2,47	16,97	17,78

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

5. CONCLUSÕES

Características biométricas:

As fontes de zinco tiveram efeito semelhante na maioria das características produtivas e na produtividade de colmos da cana-planta e da 1ª cana-soca.

A aplicação das doses de zinco não influenciou o perfilhamento da cana, índice de clorofila foliar, diâmetro do colmo, número de internódios por metro de colmo, altura de colmo, número de colmos por metro e conseqüentemente, a produtividade e massa da matéria seca de colmos da cana-planta e da 1ª cana-soca, cultivada em um solo arenoso com baixo teor de zinco.

Os tratamentos com Zn aplicados via solo e via foliar proporcionaram resultados semelhantes para todas as características produtivas da cana-de-açúcar, em ambos os cultivos.

Estado nutricional e acúmulo de nutrientes na cana-de-açúcar:

O incremento das doses de zinco proporcionou aumento linear dos teores de Zn foliar e de Zn no colmo da cana-planta e da 1ª cana-soca, independente da fonte de Zn utilizada. O teor de Zn na palhada também aumentou linearmente, porém apenas com efeito residual na 1ª cana-soca.

A aplicação de doses de Zn afetou positivamente os teores de Ca foliar, de P e B no colmo e de N, P, K, Ca, S e Mn na palhada, da cana-planta, e na 1ª cana-soca aumentou apenas o teor de Mg na palhada.

Não houve diferença entre os modos de aplicação de Zn para os teores e acúmulos de nutrientes no colmo e palhada da cana-de-açúcar.

As quantidades acumuladas de N, B, Fe e Zn nos colmos da cana-planta foram influenciadas positivamente pelas doses de Zn. Enquanto que, na 1ª cana-soca aumentou apenas o acúmulo de P e Zn nos colmos.

Houve resposta positiva a aplicação de Zn para o acúmulo de P, K, Ca e S na palhada da cana-planta.

Indicadores de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar:

A qualidade tecnológica da 1ª cana-soca da variedade RB867515 foi mais afetada pela adubação com zinco, em relação a cana-planta. Na 1ª cana-soca, houveram incrementos nas

porcentagens de POL da cana, POL do caldo e pureza do caldo quando do uso do quelato e sulfato de Zn, e maior porcentagem de AR do caldo para o FTE e sulfato de Zn.

O incremento das doses de Zn resultou para 1ª cana-soca em aumento da POL da cana, POL do caldo, brix da cana e ATR da cana em média até a dose de 4,25 kg ha⁻¹ de Zn, independente da fonte deste nutriente.

Baseado nos indicadores de qualidade tecnológica da 1ª cana-soca, seria interessante a aplicação via solo de 4,0 a 5,0 kg ha⁻¹ de Zn, na forma de quelato ou sulfato de Zn.

REFERÊNCIAS

- ADRIANO, D. C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer-Verlag, 1986. 533 p.
- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley, 1990. 339 p.
- ALVAREZ, R.; WUTKE, A.C.P. Adubação da cana-de-açúcar. IX – Experimentos preliminares com micronutrientes. **Bragantia**, Campinas, v. 22, n. 51, p. 647-650, 1963.
- ALVAREZ, R.; WUTKE, A. C. P.; ARRUDA, H. V. de; GODOY JÚNIOR, G. Adubação da cana-de-açúcar. XV – Experimentos com micronutrientes nas regiões canavieiras de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.38, n.3, p.19-25, 1979.
- AMARAL, R. D.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; FONTES, M. P. F. Efeito de um resíduo da indústria de zinco sobre a química de amostras de solo e plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 433-440, 1996.
- AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C. Mobilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 345-353, 1998.
- AMORIM, S. R.; MARQUES, M. O.; MIALICK, L. S.; DIAS, D. O.; SILVA, J. B. V.; CAMPOS, H. M. Teores de Fe, Mn e Zn em variedades de Cana-de-Açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. CD-ROM.
- ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Mercado de fertilizantes** – panorama atual e perspectivas do 1^o trimestre de 2004. São Paulo. Disponível em: < <http://www.anda.org.br/estatisticas.aspx> >. Acesso em: 20 jan. 2008.

ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Mercado de fertilizantes** – panorama atual e perspectivas do 1^o trimestre de 2009. São Paulo. Disponível em: < <http://www.anda.org.br/estatisticas.aspx> >. Acesso em: 26 jun. 2010.

ANDRADE, L. A. B.; CASAGRANDE, A. A.; VITTI, G. C.; PERECIN, D. Efeitos das aplicações de fritas e de fontes solúveis de boro, cobre e zinco, via solo, na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), variedade SP70-1143. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 13, n. 5, p. 21-27, 1995.

ARAÚJO, R. S. **A cultura da cana-de-açúcar na regional de Andradina-SP: uma avaliação técnica, socioeconômica e ambiental**. 2010. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em de Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

AZEREDO, D. F.; BALSANELLO, J. Efeito de micronutrientes na produção e na qualidade da cana-de-açúcar no Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais (Zona da Mata). Estudo preliminar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 9, p. 9-17, 1981.

BACCHI, O. O. S. Botânica da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. (Org.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. v. 2, p. 25-37.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1995. 414 p.

BECARI, G. R. G. **Resposta da cana-planta à aplicação de micronutrientes**. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2010.

BERTONCINI, E. I.; MATTIAZZO, M. E. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 737-744, 1999.

BIBAK, A. Competitive sorption of copper, nickel, and zinc by an Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 28, n. 11, p. 927-937, 1997.

BISSANI, C.A.; GIANELLO, C. Utilização de micronutrientes In: CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 4, 2003, Ibirubá. **Curso...** Ibirubá, 2003. p. 53-63.

BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; BOARETTO, R. M. Absorção e translocação de micronutrientes, aplicados via foliar, pelos citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 24, n. 1, p. 177-197, 2003.

BORKERT, C.M. Micronutrientes na planta. In: BÜLL, L. T.; ROSOLEM, C. A. **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1986. p. 309-329.

BRAY, S. C. **A cultura da cana-de-açúcar no Vale do Paranapanema**. 1980. 304 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1980.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

CAMBRIA, S.; BONI, P. S.; STRABELLI, J. Estudos preliminares com micronutrientes - zinco. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, n. 46, p. 12-17, 1989.

CAMARGO, O. A. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 244 p.

CASAGRANDE, A. A. Efeito do superfosfato simples, termofasfato, torta de mamona e micronutrientes na produção de cana-de-açúcar. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 46, n. 4, p. 169-174, 1971.

CASARIN, V.; VILLA NOVA, V. S.; FORLI, F. Micronutrientes em cana-de-açúcar. In: MARQUES, M. O.; MUTTON, M. A. (Coord.). **Tópicos em tecnologia sucroalcooleira**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. v. 1, p. 1-12.

CEOTTO, E.; CASTELLI, F. Radiation-use efficiency in fluecured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): Response to nitrogen supply, climatic variability and sink limitation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 74, n. 2-3, p. 117-130, 2002.

CHINO, M.; SHIGEKO, G.; KUMAZAWA, K.; OWA, N.; YOSHIOKA, O.; TAKECHI, N.; INANAGA, S.; INOU, H.; DE-LONG, C.; YOUSSEF, R. A. Behavior of zinc and copper in soil with long term application of sewage sludges. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 38, n. 11, p. 159-167, 1992.

COLETI, J. T.; CASAGRANDE, J. C.; STUPIELLO, J. J.; RIBEIRO, L. O.; OLIVEIRA, G. R. Remoção de macronutrientes pela cultura da cana-planta e cana-soca em Argissolos, variedades RB 83-5486 e SP 81-3250. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 24, n. 5, p. 32-36, 2006.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Avaliação da safra agrícola de cana-de-açúcar**: Conab, 2010. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1_cana_10.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2010.

CONSECANA - Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba: Consecana, 2006. 112 p.

COSTA FILHO, R. T.; PRADO, R. de M. Zinco na nutrição e na produção de colmos da terceira soqueira de cana-de-açúcar cultivada em um Latossolo Vermelho Amarelo. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 26, n. 3, p. 6-9, 2008.

COUTINHO, E. L. M.; VELINE, E. D.; LEMUS ERASMO, E. A.; FLOREZ RONCANCIO, V. J.; MARTINS, D. Resposta do milho pipoca à adubação com zinco em condições de casa de vegetação. **Ciência Agrônômica**, Jaboticabal, v. 7, n. 1, p. 31-36, 1992.

CRONQUIST, A. **An integrated system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University Press, 1981, 126 p.

CUNHA, R. C. A.; CAMARGO, O. A.; KINJO, T. Aplicação de três isotermas na adsorção de zinco em Oxissolos, Alfissolos e Ultissolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 1, p. 15-20, 1994a.

CUNHA, R. C. A.; CAMARGO, O. A.; KINJO, T. Retenção de zinco em solos paulistas. **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 2, p. 291-301, 1994b.

DECHEN, A. R.; HAAG, H. P.; CARMELLO, Q. A. de C. Funções dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Coord.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos/CNPq, 1991. p. 65-78.

ECHEVERRÍA, J. C.; MORERA, M. T.; MAZKIARÁN, C.; GARRIDO, J. J. Competitive sorption of heavy metal by soils. Isotherms and fractional factorial experiments. **International Journal of Environment and Pollution**, Londres, v. 101, n. 2, p. 275-284, 1998.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPSO, 2006. 306 p.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Rio de Janeiro, 1975. 344 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 402 p.

FAGERIA, N.K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 390-395, 2000.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; CLARK, R.B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, Nova York, v. 77, p. 185-268, 2002.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 227 p.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H. R. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 28, n. 3, p. 494-506, 2008.

FARIAS, C. H. de A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; DANTAS NETO, J. Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em tabuleiro costeiro paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 419-428, 2009.

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 533-542, 1999.

FRANCHINI, J. C.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Organic composition of green manure during growth and its effects on cation mobilization in an acid Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 34, n. 13/14, p. 2045-2058, 2003.

FRANCO, H. C. J.; BOLONGA, I. R.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 669-674, 2007.

FRANCO, H. C. J. **Aproveitamento da adubação nitrogenada pela cana-planta na implantação do sistema sem queima**. 2008. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; SARTORI, R. H. Produtividade e atributos tecnológicos da cana-planta relacionados à aplicação de zinco. **STAB – Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 27, n. 5, p. 30-34, 2009.

FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A. A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A. Características agrônomicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafós/CNPq, 1991. 734 p.

FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R. Resposta de variedades de milho a zinco em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 2, p. 365- 369, 1996.

FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R.; MEDA, A. R.; DUARTE, A. P. Eficiência de variedades de milho na absorção e utilização de zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 264-273, 2005.

GALRÃO, E. Z.; MESQUITA FILHO, M. V. Efeito de fontes de zinco na produção de matéria seca do milho em um solo sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 5, n. 3, p. 167-170, 1981.

GALRÃO, E. Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo do milho num Latossolo Vermelho-Escuro argiloso sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 2, p. 229-33, 1994.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2002. p. 185-226.

GREENWOOD, N. N.; EARNSHAW, A. **Chemistry of the elements**. Leeds: University of Leeds. Department of Inorganic and Structural Chemistry, 1989. 1542 p.

GIORDANO, P. M.; NOGGLE, J. C.; MORTVEDT, J. Zinc uptake by rice as affected by metabolic inhibitors and competing cations. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 41, n. 3, p. 637-646, 1974.

HALDAR, M.; MANDAL, L. N. Effect of phosphorus and zinc on the growth and phosphorus, zinc, copper, iron and manganese nutrition of rice. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 59, n. 3, p. 415-425, 1981.

HARTER, R. D. Micronutrient adsorption-desorption reactions in soils. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M.(Ed.). **Micronutrients in the agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 59-88.

HODGSON, J. F.; LINDSAY, W. L.; TRIERWEILER, J. F. Micronutrient cation complexing in soil solution. II Complexing of zinc and copper in displaced solution from calcareous soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 30, n. 6, p. 723-726, 1966.

HOFFMANN, H. P. (Ed.). **Variedades RB de cana-de-açúcar**. Araras: CCA/UFSCar, 2008. 30 p.

HOROWITZ, A.; DANTAS, H. S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. IV. Zinco na zona Litoral-Mata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira: Série Agrônômica**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 12, p. 27-35, 1976.

HUE, N. V. Sewage sludge In: RECHICGL, J. E. (Ed.). **Soil amendments and environmental quality**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. p. 199-247.

JONES, D. L. Organic acids in the rhizosphere: a critical review. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 205, n. 1, p. 25-44, 1998.

JONES, D. L.; DENNIS, P. G.; OWEN, A. G.; van HEES, P. A. W. Organic acid behavior in soils - misconceptions and knowledge gaps. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 248, n. 1-2, p. 31-41, 2003.

JUANG, T. C.; KAO, M. M.; CHANG, C. H. The effect of zinc application on yield and nutrient uptake of sugarcane. **The Sugar Journal**, New Orleans, v.25, n. 2, p. 25-29, 1979.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2000. 331 p.

KALBASI, M. G.; RACZ, J.; LOEWEN-RUDGERS, L. A. Mechanism of Zn adsorption by iron and aluminum oxides. **Soil Science**, Philadelphia, v. 125, n. 3, p. 146-150, 1978.

KIEKENS, L. Zinc. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.). **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley, 1990. p. 261-279.

KORNDÖRFER, G. H.; BENEDINI, M. S.; ROCHA, A. C. da; FERREIRA NETO, D. A. Avaliação de três variedades de cana (*Saccharum officinarum*) submetidas a adubação com micronutrientes. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 14, n. 1, p. 23-26, 1995.

KORNDÖRFER, G. H.; RIBEIRO, A. C.; ANDRADE, L. A. B. **Cana-de-açúcar**. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 285-288.

KURTZ, C.; ERNANI, P. R.; NEVES L. S.; PETRY E. Produtividade de cebola influenciada pela adição de zinco, boro, manganês e cálcio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. CD-ROM.

LANDELL, M. G. A.; SILVA, M. A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, p. 18-23, 2004.

LAUN, C. R. P. **Efeito da aplicação de zinco e boro em solos sob vegetação de cerrado**. 1975. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1975.

LEE, J. D. **Química inorgânica não tão concisa**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1991. 452 p.

LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. Development of DTPA soil for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 42, n. 3, p. 421-428, 1978.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley & Sons, 1979. 449 p.

LONGNECKER, N. E.; ROBSON, A. D. Distribution and transport of zinc. In: ROBSON, A. D. (Ed.). **Zinc in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. p.79–91.

LOPES, A. S. Micronutrientes: filosofias de aplicação, fontes, eficiência agrônômica e preparo de fertilizantes. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1988, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba, POTAFOS/CNPQ, 1991. p. 357-390.

LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica**. São Paulo: ANDA, 1999. 58 p. (Boletim técnico, 8).

LOPES, A. S.; ABREU, C. A. Micronutrientes na agricultura brasileira: evolução histórica e futura. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 265-298.

LÓPES GOROSTIAGA, O. E. **Contribuição ao estudo das relações entre o zinco e o fósforo na nutrição de plantas**. 1972. 44 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.

MACHADO, P. L. O.; PAVAN, M. A. A adsorção de zinco por alguns solos do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 11, n. 2, p. 253-256, 1987.

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

MALAVOLTA, E. **Micronutrientes na adubação**. Paulínia: Nutriplant Indústria e Comércio, 1986.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.

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

MARINHO, M. F.; ALBUQUERQUE, G. A. C. de. Efeitos do cobre e do zinco na produção de cana-de-açúcar em solos de tabuleiros de Alagoas. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 98, n. 6, p. 41-50, 1981.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar:** produção e industrialização da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 166 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London: Academic Press, 1986. 671 p.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of high plants.** 2. ed. London: Academic, 1995. 889 p.

MARTÍNEZ, C. E.; MOTTO, H. L. Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils. **International Journal of Environment and Pollution**, Londres, v. 107, n. 1, p.153-158, 2000.

MARUBAYASHI, O. M. **Efeitos de fontes e formas de aplicação de boro e zinco na cultura cafeeira.** 1989. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1989.

MATOS, A. T.; FONTES, M. P. F.; JORDÃO, C. P.; COSTA, L. M. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 379-386, 1996.

MATTIAZZO-PREZZOTO, M. E. **Comportamento de cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados à solos de clima tropical em diferentes valores de pH.** 1994. 197 f. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

McBRIDE, M. B.; BLASIAK, J. J. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, n. 5, p. 866-870, 1979.

MENGEL, K., KIRKBY, A. **Principles of plant nutrition.** Bern: International Potash Institute, 1987, 687 p.

MESQUITA, M. E. Copper and zinc competitive adsorption in schistic and granitic acid soils. **Agrochimica**, Roma, v. 17, n. 5, p. 235-244, 1998.

MORAES, M. F. de; SANTOS, M. G.; BERMÚDEZ-ZAMBRANO, O. D.; MALAVOLTA, M.; RAPOSO, R. W. C.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Resposta do arroz em casa de vegetação a fontes de micronutrientes de diferentes granulometria e solubilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 611-614, 2004.

MORTVEDT, J. J. Tecnología e produção de fertilizantes com micronutrientes: presença de elementos tóxicos. In: FERREIRA, M. E. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 237-254.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. S.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. 415 p.

NASCIMENTO, C. W. A. **Dessorção, extração e fracionamento de zinco, cobre e manganês em solos**. 2001. 60 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, R. L. F.; NEVES, J. C. L.; MELÍCIO, A. C. F. C. Fracionamento, dessorção e extração química de zinco em Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 599-606, 2002.

OLSEN, S.R. Micronutrient interaction. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p. 243-264.

OLIVEIRA, E. C. A. de; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I. de; FREIRE, M. B. G. dos S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, M. F. G.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A. Fluxo difusivo de zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 609-615, 1999.

OLIVEIRA, M. W.; BARBOSA, M. H. P.; MENDES, L. C.; DAMASCENO, C. D. Matéria seca e nutrientes na palhada de dez variedades de cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 21, n. 3, p. 30-31, 2003.

OLIVEIRA, R. de C. **Avaliação do movimento de cádmio, chumbo e zinco em solo tratado com resíduo-calcário**. 2002. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E.; HAAG, H. P. Absorção e remoção de zinco pela cana-de-açúcar, variedade CB41 76, em três solos no Estado de São Paulo. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 96, n. 2, p. 21-30, 1980.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Fealq/USP, 1993. p. 133-146.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; CASAGRANDE, A. A. Cana-de-açúcar. In: FERREIRA, M. E. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. v. 1, p. 355-373.

ORLANDO FILHO, J. O zinco e a cana-de-açúcar. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 20, n. 5, p. 14, 2002.

PEGORARO, R. F. **Fluxo difusivo de micronutrientes catiônicos em resposta à adição de compostos orgânicos ao solo**. 2003. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia– Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

PÍPERAS, G. V.; CRESTE, J. E.; ECHER, F. R. Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 6, p. 818-825, 2009.

PRADO, H. Ambientes de produção de cana-de-açúcar na região Centro-sul do Brasil. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 110, p. 12-17, 2005.

PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407 p.

PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; VARGAS, L. Manejo e controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Org). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 397-452.

PROGRAMA. Programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar. **Variedades RB de Cana-de-açúcar**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos – PMGCA/UFSCar, 2008, 30

p. Disponível em: <http://pmgca.dbv.cca.ufscar.br/dow/VariedadesRB_2008.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2011.

PULFORD, I. D. Mechanisms controlling zinc solubility in soils. **Journal Soil Science**, Oxford, v. 37, n. 3, p. 427-438, 1986.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H.; TANK JUNIOR, A. Fertilização com boro e zinco no solo em complementação à aplicação via foliar em laranjeira Pêra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 5, p. 627-634, 2003.

RAHMAN, M. H.; PAL, S. K.; FALAM, F. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium, sulphur, zinc and manganese nutrients on yield and sucrose content of sugarcane (*Saccharum officinarum*) in flood-plain soils of Bangladesh. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 62, n. 7, p. 450-455, 1992.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, C. E. O. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 233-239 (Boletim técnico, 100).

RAIJ, B. van. Pesquisa e desenvolvimento em micronutrientes e metais pesado. In: FERREIRA, M. E. (Coord). **Micronutriente e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. v. 1, p. 1-10.

REDDY, M. R.; PERKINS, H. F. Fixation of zinc by clay minerals. **Soil Science of America Proceedings**, Madison, v. 38, p. 229-237, 1974.

REIS JUNIOR, R. A.; MONNERAT, P. H. DRIS norms validation for sugarcane crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 379-385, 2003.

RIBEIRO, N. D.; SANTOS, O. S. Aproveitamento do zinco na semente na nutrição da planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 159- 165, 1996.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2004. 202 p.

RITCHEY, K. D.; COX, F. R.; GALRÃO, E. Z.; YOST, R. S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho em latossolo vermelho-escuro argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 215-225, 1986.

RHOTON, F. E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 2, p. 700-709, 2000.

ROMUALDO, L. M.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; VIDAL, A. A.; MARCELO, A. V. Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de matéria seca do milho BRS 1001. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. CD-ROM.

ROSOLEM, C. A.; FERRARI, L. F. Crescimento inicial e absorção de zinco pelo milho em função do modo de aplicação e fontes de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 151-157, 1998.

ROSOLEM, C. A.; FRANCO, G. R. Translocação de zinco e crescimento radicular em milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 807-814, 2000.

ROSS, S. M. **Toxic metals in soil-plant-systems**. New York: John Wiley & Sons, 1994. 469 p.

RUDORFF, B. F. T. The contribution of qualitative variables to a sugarcane yield model based on spectral vegetation index. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 7, 1995, Puerto Vallarta. **Anais...** Puerto Vallarta, SELPER e SIE, 1995. v. 1, p. 705-708.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 5, p. 1486-1499, 2001.

SAKAL, R.; SINGH, A.; SINGH, B. P. A comparative study of the different methods and sources of zinc application. **Indian Journal Agricultural Research**, New Delhi, v. 7, p. 90-94, 1983.

SANDERS, J. R. The effect of pH on the total and free ionic concentrations of manganese, zinc and cobalt in soil solution. **European Journal Soil Science**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 315-323, 1983.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006a. p. 19-36.

SEGATO, S. V.; ALONSO, O.; LAROSA, G. Terminologias no setor sucroalcooleiro. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006b. p. 397-405.

SHUMAN, L. M. The effect of soil properties on zinc adsorption by soils. **Proceedings Soil Science Society of America**, Madison, v. 39, n. 3, p. 454-458, 1975.

SHUMAN, L. M. Fractionation method for soil microelements. **Soil Science**, Baltimore, v. 140, n. 1, p. 10-12, 1985.

SHUMAN, L. M. Effect of ionic strength and anions on zinc adsorption by two soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n. 6, p. 1438-1442, 1986.

SILVA, M. A.; GAVA, G. J. C.; CAPUTO, M. M.; PINCELLI, R. P.; JERÔNIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S. Uso de reguladores de crescimento como potencializadores do perfilhamento e da produtividade em cana-soca. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 545-552, 2007.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETO, R. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C., coords. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. p. 233-239. (Boletim Técnico, 100)

SWIETLIK, D. Zinc Nutrition of fruit trees by foliar sprays. **Acta Horticulturae**, Merano, v. 1, n. 594, p. 123-129, 2002.

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

TOKESHI, H. Cana-de-açúcar. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Org.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato e CNPq, 1991. p. 485-499.

UDOP. **Variedades**. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/geral.php>>. Acesso em: 09 ago. 2009.

VALE, F.; ARAÚJO, M. A. G.; VITTI, G. C. Avaliação do estado nutricional dos micronutrientes em áreas com cana-de-açúcar. In: FERTBIO, 7, 2008, Londrina, **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. CD-ROM.

VIDIGAL FILHO, P. S. **Efeito de *Glomus etunicatum* Bercker & Gerdemann, calagem, superfosfato triplo e níveis de zinco em mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz)**. 1994. 95 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

VITTI, G. C.; TREVISAN, T. **Manejo de macro e micronutrientes para a alta produtividade da soja**. In: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). Soja: tecnologia da produção II, Piracicaba: Fealq, 2000. p. 383-422.

VITTI, G. C.; MARTINS, J. P. P. **Calagem na cana-de-açúcar**. Serrana Fertilizantes, 2001. 8 p. (Boletim Técnico-Fertilizantes, 9).

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura da cana-de-açúcar. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 97, 16 p., 2002.

VITTI, G. C.; QUEIROZ, F. E. de C.; QUINTINO, T. A. Micronutrientes na cana-de-açúcar: mitos e realidades., In: SIMPOSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO EM CANA-DE-AÇÚCAR, 2, 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2005.

VITTI, G. C.; OLIVEIRA, D. B.; QUINTINO, T. A. Micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. 415 p.

VITTI, G. C.; SERRANO, C. G. de E. **O zinco na agricultura**. DBO Agrotecnologia, p.10-11, 2006. Disponível em: < <http://www.anda.org.br/publicacoes> >. Acesso em: 09 jan. 2008.

VOLKWEISS, S. J. Fontes e métodos de aplicação. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos, 1991. p. 391-412.

VULKAN, R.; MINGELGRIN, U.; BEN-ASHER, J.; FRENKEL, H. Copper and zinc speciation in the solution of a soil-sludge mixture. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 31, n. 1, p. 193-203, 2002.

WANG, J. J.; KENNEDY, H. P.; VIATOR, H. P.; ARCENEUX, A. E.; GUIDRY, A. J. Zinc fertilization of sugarcane in acid and calcareous soils. **Journal of the American Society of Sugar Cane Technologists**, Florida, v. 25, n. 1, p. 49-61, 2005.

WELCH, J. E.; LUND, L. J. Zinc movement in sewage-sludge-treated soil as influenced by soil properties, irrigation water quality, and soil moisture level. **Soil Science**, Baltimore, v. 147, n. 3, p. 208-214, 1989.

WILLIAMS, D. E.; VLAMIS, J.; PUKITE, A. H.; COREY, J. E. Metal movement in sludge-amended soils: a nine-year study. **Soil Science**, Baltimore, v. 143, n. 2, p. 124-131, 1987.

YAMADA, T. Deficiências de micronutrientes, ocorrência, detecção e correção: o sucesso da experiência brasileira. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.105, 9 p., 2004.

FOTOS DO EXPERIMENTO



Foto 1. Plantio da cana-de-açúcar na área experimental. Suzanápolis – SP, 2008.



Fotos 2 e 3. Brotação da cana-planta com detalhe do solo de textura arenosa da área experimental. Suzanápolis – SP, 2008.



Foto 4. Cana-de-açúcar (cana-planta) no estágio de maturação com detalhe de um dos carregadores da área experimental. Suzanápolis – SP, 2009.



Fotos 5 e 6. Área experimental após a colheita mecanizada da cana-planta com grande quantidade de palhada residual e com detalhe da brotação da 1ª cana-soca. Suzanápolis – SP, 2009.