

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

**MODOS DE APLICAÇÃO DE ZINCO EM MILHO E SORGO
CULTIVADOS EM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO**

Aline Peregrina Puga
Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Fevereiro de 2011

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

**MODOS DE APLICAÇÃO DE ZINCO EM MILHO E SORGO
CULTIVADOS EM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO**

Aline Peregrina Puga

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

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

Fevereiro – 2011

Jaboticabal – SP

Puga, Aline Peregrina
P978m Modos de aplicação de zinco em milho e sorgo cultivados em
Latossolo Vermelho distrófico / Aline Peregrina Puga. -- Jaboticabal,
2011
ix, 101 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011
Orientador: Renato de Mello Prado
Banca examinadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz, Marcio
Roberto soares
Bibliografia

1. Nutrição 2. Zn 3. *Zea mays* 4. *Sorghum bicolor*. I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.82:633.15

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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: MODOS DE APLICAÇÃO DE ZINCO EM MILHO E SORGO CULTIVADO EM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO

AUTORA: ALINE PEREGRINA PUGA

ORIENTADOR: Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO

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


Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO

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


Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

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


Prof. Dr. MÁRCIO ROBERTO SOARES

Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental / Universidade Federal de São Carlos - UFSCar / Araras/SP

Data da realização: 04 de fevereiro de 2011.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ALINE PEREGRINA PUGA - nascida em São José do Rio Preto em 27 de março de 1985, filha de Marcio Luis Puga e Isabel Peregrina Pereira Puga. Graduou-se em Engenharia Agrônômica em dezembro de 2008 na Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Câmpus de Araras – SP. Foi bolsista de iniciação científica pela Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da UFSCar. Em março de 2009 iniciou o Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal – SP. Foi bolsista por seis meses da CAPES e até o final do curso da FAPESP. Realizou diversas atividades como estágio docência, organizou simpósio e participou em cursos e congressos. Foi autora e co-autora de cinco artigos em periódicos científicos, um livro, um capítulo de livro e dezenove resumos em congressos. Foi membro de uma banca de trabalho de conclusão de curso. Em fevereiro de 2011 obteve o título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

*Sem sonhos, as perdas se tornam insuportáveis,
as pedras do caminho se tornam montanhas,
os fracassos se transformam em golpes fatais.*

*Mas, se você tiver grandes sonhos...
seus erros produzirão crescimento,
seus desafios produzirão oportunidades,
seus medos produzirão coragem.*

*Por isso, meu desejo é que você
NUNCA DESISTA DOS SEUS SONHOS.*

Augusto Cury

Queridos Pais,

***A vocês que estiveram ao meu
lado durante toda esta jornada,
dedico todo o meu amor
e meus agradecimentos.***

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu forças para acreditar que eu era capaz, paciência nos momentos de maior dificuldade e alegria de enxergar como a colheita é boa depois de muito esforço.

À belíssima Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal, por todo apoio, estrutura e contribuição ao trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) por ter me aceitado como discente e cedido à bolsa de estudos inicial.

À Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção (FEPP) da FCAV, por ceder a área experimental e disponibilizar o maquinário e os funcionários para a realização deste trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Renato de Mello Prado, pela oportunidade, apoio total, conhecimento científico e paciência durante toda essa jornada.

Aos membros da banca de qualificação Prof. Dr. José Frederico Centurion e Prof. Dr. Domingos Fornasieri Filho, e, membros da banca de defesa Prof. Dr. Marcio Roberto Soares e Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz, pelas valiosas contribuições.

Aos professores do Departamento de Solos e Adubos pelo conhecimento científico repassado e ao Prof. Dr. José Carlos Barbosa pelo auxílio na análise estatística inicial.

Aos meus pais (Marcio e Isabel), meus maiores exemplos de vida, por todo amor, incentivo, apoio e por acreditarem em mim. Devo tudo a vocês.

Aos meus irmãos (Bruno e Felipe), por todo amor e paciência, por me fazerem rir e pelo orgulho.

A toda minha família, que mesmo distante orou muito por mim.

Ao meu primeiro e único amor, Fausto, que me apoiou em todas as dificuldades, e se orgulhou muito de tudo que alcancei.

Ao meu querido Prof. Marcio (UFSCar), que me apresentou com tanta dedicação a Disciplina de Nutrição de Plantas, me deu a honra de ser sua orientada de Iniciação Científica, e se mostrou sempre perseverante e ético.

Aos integrantes do Grupo de Estudos em Nutrição de Plantas (GENPLANT) da pós-graduação: Diego, Ivana, Cíntia e Marcus e da graduação: Thaís, Matheus, André, Netto, Sílvio e Everton, pois sem vocês este trabalho não se concretizaria. Obrigada pela ajuda e amizade.

Aos amigos da Pós-Graduação Thiago (Baiano), Lucas, Rilner, Daily, Juliana, Aluizio, Saulo, Isabella e Carlos (Lambari), pela amizade, pelos conselhos e todos os momentos de descontração. Agradeço também à Arlene que me escutou, aconselhou e animou muito todo o pessoal.

Aos amigos Henrique e Daniel pelas conversas sinceras, histórias engraçadas e muitos conselhos.

À Silce, por todos os conselhos, de vida e científicos, torcida e pela amizade eterna e sincera.

À Ana Paula, por ser minha amiga de todas as horas, pelo apoio no meu processo de adaptação e as inúmeras risadas.

À Gilka, que aos poucos foi se tornando uma grande amiga, e pelo seu incrível dom de ouvir as pessoas.

Às minhas queridas amigas Carol, Mari e Drica, que mesmo longe torceram muito pelo meu sucesso.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos, em especial, Celinha (por resolver nossos problemas e ser uma excelente secretária), Claudinha (pelo apoio nas análises e conversas) e Sr. Mauro (que deixa o Dpto. de Solos impecável).

Ao Prof. Dr. Ben-Hur Mattiuz e todas as meninas (Renata, Carol, Kelly, Andréa) do Laboratório de Produção Agrícola (TPA), pelo acolhimento e auxílio nas análises de carboidratos.

A todos aqueles que, mesmo não mencionados, contribuíram para minha formação. Muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ii
SUMMARY.....	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	
2.1. Importância do milho e do sorgo	2
2.2. Zinco no sistema solo-planta	4
2.3. Importância dos cereais e do Zn na nutrição humana	8
2.4. Resposta das culturas do milho e do sorgo à aplicação de Zn	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
4.1. Efeito dos tratamentos no teor de zinco no solo	19
4.2. Efeito dos tratamentos no crescimento das planta.....	26
4.3. Efeito dos tratamentos nos teores foliares de macro e micronutrientes.....	30
4.4. Efeito dos tratamentos na produção de matéria seca de diferentes órgãos das plantas	37
4.5. Efeito dos tratamentos no teor de Zn em diferentes órgãos das plantas	42
4.6. Efeito dos tratamentos no acúmulo de zinco em diferentes órgãos das plantas	47
4.7. Efeito dos tratamentos nos componentes de produção e na produtividade das culturas	51
4.8. Efeito dos tratamentos nos teores de nutrientes dos grãos	56
4.9. Efeito dos tratamentos no teor de carboidratos dos grãos	61
4.10. Efeito dos tratamentos no teor de proteínas dos grãos	66
5. CONCLUSÃO	70
6. REFERÊNCIAS	71
7. APÊNDICE	82

MODOS DE APLICAÇÃO DE ZINCO EM MILHO E SORGO CULTIVADOS EM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO

RESUMO - Os solos tropicais, em geral, apresentam baixa concentração de zinco e a deficiência deste micronutriente é reconhecida como problema nutricional mundial para a produção dos cereais. A adubação das culturas com zinco pode ser realizada pela aplicação no solo, foliar e nas sementes. Contudo, ainda existe discussão sobre a melhor forma de fornecimento deste nutriente aos cereais. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção das culturas de milho e sorgo em condições de campo. Para isso, foram instalados dois experimentos, na área experimental da FCAV/UNESP, Câmpus Jaboticabal-SP, Brasil. Foram utilizados nove tratamentos, constituídos por três doses de Zn em aplicação localizada no solo (sulco de semeadura) e incorporado (camada de 0-20 cm de profundidade), aplicação foliar, aplicação em sementes e testemunha (sem aplicação de Zn), dispostos em delineamento em blocos ao acaso e com quatro repetições. Foram avaliadas as variáveis de crescimento e o estado nutricional das culturas. Na colheita, foram realizadas avaliações dos componentes de produtividade e feita à análise química do solo. Foram determinados os teores de carboidratos e de proteína nos grãos de milho e sorgo. A aplicação de zinco, independentemente do modo, promoveu maior teor deste micronutriente no solo e maior acúmulo na parte aérea das plantas e refletiu nos grãos de milho e de sorgo. A aplicação do zinco no solo proporcionou maior absorção de zinco e produtividade da cultura do milho, comparado com aplicação do micronutriente na planta via semente ou foliar. No solo, a forma incorporada, na dose de zinco de 6 kg ha⁻¹, destacou-se da forma localizada. A aplicação de zinco no solo incrementou a produção de matéria seca de folhas, o teor e acúmulo de Zn das plantas de sorgo, entretanto, não afetou a produtividade. O modo de aplicação de Zn no solo de forma incorporada promoveu maiores teores de carboidrato, amido e proteína nos grãos de milho e sorgo.

Palavras-Chave: cereais, micronutrientes, nutrição, *Sorghum bicolor*, *Zea mays*, Zn

ZINC APPLICATION METHODS IN CORN AND SORGHUM CULTIVATED IN AN OXISOL

ABSTRACT – The tropical soils present in general low zinc content and its deficiency in plants is recognized as a nutritional problem to produce cereals. The zinc fertilization can be done by soil, foliar, and by seed methods. However, there is still a discussion about the better way to provide to plants this nutrient. This way the study aimed evaluate zinc fertilization methods at corn and sorghum production, under field conditions. To this, two experiments were carried out at Experimental Area of FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP Campus, Brazil. There were nine treatments, being three Zn doses in the soil (by row and at planting) and incorporated (0-20cm lay), foliar spraying, seed application, and control (without Zn). The design used was randomized blocks with four replications. It was evaluated the growing variables and the nutritional state of the cultures. During harvest the productivity components were evaluated as well the chemical soil fertility analysis. Also, the corn and sorghum seed protein and carbohydrates levels were determined. The zinc use, indifferently its way, promoted its higher amount in the soil and higher uptake by plants, reflecting in the corn and sorghum grains. Zinc applied in the soil provided higher zinc uptake and productivity to corn culture when compared to its use via seed or foliar. The zinc incorporated in the soil (6 kg ha⁻¹) highlighted from the localized one. The zinc added in the soil increased the leaves dry matter and the amount and accumulated Zn in the sorghum plants, although it did not affect the productivity. The Zn incorporation in the soil promoted higher amount of carbohydrates, starch, and protein in corn and sorghum grains.

Keywords: cereals, micronutrients, nutrition, *Sorghum bicolor*, *Zea mays*, Zn

1. INTRODUÇÃO

Os solos tropicais, em geral, apresentam baixa concentração de zinco (LOPES, 1983), seja pelo material de origem ou pelas práticas de cultivo com uso intensivo de culturas sem a devida reposição. Na literatura são apresentadas diversas causas da deficiência de Zn em culturas, como: teores baixos de Zn no solo, calagem excessiva, baixos teores de matéria orgânica, alto teor de fósforo no solo ou na adubação, aplicações elevadas de nitrogênio e restrição para o desenvolvimento das raízes (LUCAS; KNEZEK, 1972).

Deste modo, a deficiência de Zn é reconhecida como problema nutricional mundial para a produção das culturas (FAGERIA, 2001), especialmente aquelas que pertencem à família das *Poaceae*, exigentes neste nutriente. Isto ocorre porque o Zn desempenha funções importantes nas plantas, especialmente, como ativador enzimático, sendo requerido para a síntese do aminoácido triptofano, um precursor da biossíntese do ácido indol acético (AIA), em rotas bioquímicas que garantem a formação de lipídeos e proteínas e na estruturação das membranas celulares (MALAVOLTA, 1980). O desequilíbrio nutricional, principalmente do zinco, tem sido um dos fatores para perdas na produção e na qualidade de grãos.

Na agricultura brasileira a produtividade, a eficiência, a lucratividade e a sustentabilidade dos processos produtivos são extremamente relevantes, uma vez que os micronutrientes passam a ser utilizados de modo mais rotineiro nas adubações da cultura de milho, em todas as regiões brasileiras e para as mais variadas condições de solo e clima (LOPES, 1999). Ainda segundo o mesmo autor, os principais fatores que motivaram os produtores brasileiros ao uso dos micronutrientes foram: i) início da ocupação dos cerrados, formado naturalmente por solos deficientes de micronutrientes; ii) aumento da produtividade das culturas

com maior remoção e exportação de nutrientes; iii) falta de critérios de aplicação de calcários, no que diz respeito a doses e metodologia de aplicação, o que induz ao aparecimento de deficiência de vários nutrientes, como zinco, por exemplo; iv) preferência por aplicação apenas por macronutrientes, como N, P e K, reduzindo o uso de micronutrientes por muitos anos e; v) aprimoramento das técnicas de análise de solos e análise foliar como instrumentos de diagnose de deficiências de micronutrientes.

O baixo teor de zinco nos grãos é motivo de preocupação, pois os grãos de cereais são a principal fonte de Zn na dieta da população e, atualmente, esse micronutriente é o segundo nutriente em induzir desnutrição humana.

A nutrição insuficiente em micronutrientes aflige mais de 3 bilhões de pessoas no mundo todo (WELCH; GRAHAM, 2004). Hotz e Brown (2004) sugeriram que um quinto da população mundial pode não estar ingerindo Zn suficiente em sua dieta, e estimam que um terço da população mundial vive em países considerados de alto risco para a deficiência deste nutriente.

A adubação das culturas com zinco pode ser feita por aplicação no solo, foliar e nas sementes. Tendo em vista que as doses requeridas pelas culturas são pequenas, existe dificuldade de distribuir o adubo uniformemente no solo, e as aplicações foliares apresentam restrições devido à baixa mobilidade do Zn no floema, e, as aplicações nas sementes são uma alternativa promissora à aplicação via solo ou foliar.

Diante deste contexto, objetivou-se avaliar os modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção das culturas de milho e sorgo, em condições de campo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância do milho e do sorgo

A cultura do milho (*Zea mays* L.), em função de seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo. Devido à sua multiplicidade de aplicações, quer na alimentação humana quer na alimentação animal, assume relevante papel sócio-econômico, além de constituir-se em matéria-prima impulsionadora de complexos agroindustriais (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004). Embora tenha várias aplicações, a produção de milho tem atendido o crescimento da produção de suínos e aves no Brasil e no mundo, já que é o ingrediente fundamental na composição das rações para esses animais (FORNASIERI FILHO, 2007).

Na safra brasileira de 2009/10 foram produzidas, aproximadamente, 56 milhões de toneladas de milho em área próxima de 13 milhões de hectares, com produtividade média de 4.316 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010).

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), quinto cereal mais cultivado no mundo, é utilizado principalmente na alimentação animal e como matéria-prima para a produção de álcool anidro, bebidas alcoólicas, tintas e vassouras. Está entre as espécies alimentares mais eficientes, tanto do ponto de vista fotossintético quanto em velocidade de maturação (RIBAS, 2003). Assim como o milho, a cultura do sorgo é amplamente utilizada na nutrição animal e é o segundo cereal em importância para a alimentação de suínos no Brasil (LOPES, 2004).

A cultura do sorgo é cultivada principalmente em regiões de alta temperatura e baixa precipitação, locais onde a cultura atinge altas produções de grãos e de forragem (GUIMARÃES, 1996). Assim, o sorgo é considerado o

alimento principal em países como Índia e China (NOUR; WEIBEL, 1978). No Brasil, o aumento da área plantada e produção de sorgo resultou da conjugação de vários fatores que alavancaram a demanda por matérias-primas energéticas (TSUNECHIRO et al., 2002).

Atualmente, o cultivo de sorgo tem ampliado e se destacado como espécie que tem resistência a fatores ambientais adversos (déficit hídrico), elevadas produções de massa seca por área e de alta qualidade (ZAGO, 1991).

Na safra brasileira de 2009/10, a produção foi próxima de 1,6 milhões de toneladas, com área colhida de 698 mil ha e produtividade média de 2.328 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010).

2.2. Zinco no sistema solo-planta

a) Zn no solo

O zinco pode existir no solo na forma de minerais primários ou como íon Zn²⁺ adsorvido às partículas mais finas. O Zn precipita com hidróxidos, carbonatos e silicatos e pode assim fazer parte dos materiais amorfos do solo (RAIJ et al., 1987). Em interação com a matéria orgânica do solo, podem ser formados complexos orgânicos de zinco solúveis e insolúveis (MENGEL; KIRKBY, 1987). Este micronutriente possui baixa mobilidade no perfil, devido à sua capacidade de ser adsorvido pela matéria orgânica, argilas silicatadas e óxidos e hidróxidos de Fe (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

Os solos tropicais, em geral, apresentam baixa concentração do elemento, seja pelo material de origem, pelas práticas de cultivo intensivo sem a devida reposição ou, até mesmo, pela realização de práticas inadequadas, como a aplicação excessiva de calcário (LOPES, 1983).

Entre os micronutrientes, a importância deste elemento para as culturas em solos brasileiros é indiscutível pela ocorrência freqüente de sua deficiência, principalmente em solos não originados de rochas básicas (ABREU et al., 2001). Segundo Galvão (1994), o zinco, juntamente com o boro, é um dos micronutrientes cuja deficiência é a que mais tem limitado a produção das culturas no Brasil.

Em geral, essa deficiência ocorre porque o teor de Zn disponível no solo é insuficiente para suprir a necessidade da planta. Com o aumento do valor do pH, há diminuição da disponibilidade desse elemento para as plantas (RITCHEY et al., 1986). O zinco é fortemente adsorvido em solos argilosos, o que pode agravar a deficiência. Além disso, altas doses de fósforo podem diminuir a disponibilidade de Zn do solo (RAIJ, 1991).

Portanto, características como pH, teores de argila, fósforo e carbono orgânico e óxidos de ferro, alumínio e manganês influenciam a disponibilidade do elemento para as plantas (MENEZES, 1998). A deficiência de Zn é um problema comum em muitas áreas produtoras de milho no Brasil, causando, em muitas situações, redução no rendimento de grãos (GALRÃO, 1995; GALRÃO, 1996). A causa primária dessa desordem nutricional é a baixa disponibilidade de Zn no solo, agravada com a intensificação na remoção desse micronutriente pelas colheitas. As áreas cultivadas crescem ano a ano em virtude, principalmente, da adoção de variedades melhoradas, do uso correto de corretivos e fertilizantes NPK e do controle fitossanitário efetivo (COUTINHO et al., 2007).

O conhecimento da disponibilidade dos micronutrientes no solo é fundamental para recomendação de adubação adequada, evitando assim problemas de deficiência ou de toxicidade (BORTOLON; GIANELLO, 2009).

Molinal e Bornemisza (2006), numa revisão de literatura sobre nível crítico de zinco em solos da Costa Rica, citaram que para Lindsay e Norvell (1978) e Brown et al. (1971), o nível crítico em solo para sorgo pelo método DTPA é de 0,5 mg dm⁻³, e para Havlin e Soltanpour (1981) o nível para milho pelo mesmo método é de 0,7 mg dm⁻³.

Galvão (1995), relatou que o nível crítico de zinco num LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO foi de 0,7 mg dm⁻³ (Mehlich-1) e de 0,4 mg dm⁻³ (DTPA), na cultura do milho. Contudo, em Latossolo Vermelho-Escuro, o nível crítico determinado foi de 0,9 mg dm⁻³ (Mehlich-1) e de 0,6 mg dm⁻³ (DTPA) (GALRÃO, 1996). Para Fancelli e Dourado Neto (2000), o teor adequado de Zn no solo para a cultura do milho está entre 0,5 e 1,0 mg kg⁻¹ (DTPA).

Para os solos do Estado de São Paulo, os teores de Zn (DTPA), são classificados como baixo ($0 - 0,5 \text{ mg dm}^{-3}$), médio ($0,6 - 1,2 \text{ mg dm}^{-3}$) e alto ($> 1,2 \text{ mg dm}^{-3}$) (RAIJ et al., 1997).

b) Zn na planta

O Zn é absorvido pelas plantas predominantemente como cátion divalente (Zn^{2+}) (MARSCHNER, 1995). Segundo Malavolta (2006), seu transporte a longa distância, ao que parece, se dá em grande parte na forma de complexos entre o Zn e os ácidos cítrico e málico, e sua redistribuição é baixa, dependendo, entretanto, da concentração do elemento na planta.

A deficiência deste micronutriente na cultura do sorgo, principalmente em solos originalmente sob vegetação de cerrado, é a que tem ocorrido com mais frequência (VASCONCELLOS et al., 1986). Já o milho é considerado um dos cereais mais exigentes desse nutriente, sendo considerado mais sensível que o sorgo a tal deficiência (BROWN et al., 1971). Segundo Malavolta (1980), para obtenção de altas produtividades na cultura do milho é indispensável o fornecimento de micronutrientes, especialmente o zinco.

O zinco participa dos processos metabólicos como metal componente de enzimas, sendo um co-fator funcional, estrutural ou regulatório de grande número de enzimas (MARSCHNER, 1995), como as desidrogenases, proteinases, peptidases e fosfohidrolases (BORKERT, 1989). O Zn está relacionado com enzimas responsáveis pelo crescimento da planta, pois o milho armazena todos os seus compostos no caule e folha desde a germinação até a fase reprodutiva, quando então os compostos serão translocados para os grãos (HENDRICKSEN et al., 1992).

A atividade do Zn é efetiva para determinados processos relevantes na homeostase fisiológica; participa da fotossíntese, através da enzima carboxilase pirúvica; é necessário para a produção de triptofano, aminoácido precursor do ácido indol acético, hormônio vegetal de crescimento, está envolvido no metabolismo do nitrogênio e é necessário para manutenção da integridade das

biomembranas (MALAVOLTA, 2006). Outra função deste elemento é participar do metabolismo das proteínas, atuando como componente estrutural dos ribossomos (MARSCHNER, 1995). Segundo Bowen (1979), mais de oitenta proteínas contendo zinco foram relatadas.

Com a deficiência de Zn, a planta tem diminuição da atividade enzimática, desenvolvimento dos cloroplastos, conteúdo de proteínas e ácidos nucléicos (DECHEN; NACHTIGALL, 2006), podendo apresentar sintomas visíveis como clorose acentuada ao longo da nervura principal, encurtamento dos entrenós e menor produção de folhas novas, podendo aparecer tonalidades roxas no caule e nas folhas, além de redução no crescimento e na produção (MALAVOLTA, 1980). Segundo Adriano et al. (1971), o florescimento, a frutificação e a altura das plantas podem ser muito reduzidos em condição de deficiência severa de zinco. Plantas cultivadas em condição de deficiência de zinco, geralmente, produzem sementes com baixo conteúdo e concentração desse nutriente e quando semeadas em solo deficiente, as plântulas são menos vigorosas, refletindo em baixo rendimento na colheita (TEIXEIRA et al., 2005).

Na literatura, o teor foliar adequado de zinco pode variar de 20 a 70 mg kg⁻¹ (ROSOLEM; FRANCO, 2000), 15 a 100 mg kg⁻¹ (CANTARELLA et al., 1997a; MALAVOLTA et al., 1997) e 17,5 mg kg⁻¹ (GALRÃO, 1996).

O zinco acumulado nos grãos pode ser proveniente da raiz, via xilema, ou de outros órgãos das plantas como folha, via floema, que dependerá da sua redistribuição. Este micronutriente é considerado pouco móvel na planta, particularmente nas deficientes e na folhas velhas (MALAVOLTA, 1980). Alguns autores consideram o zinco altamente móvel, enquanto outros consideram-no de mobilidade intermediária. Para Marschner (1995), o zinco parece ser o mais móvel de todos os micronutrientes e sua maior ou menor translocação depende de sua disponibilidade na parte vegetativa, pois, quando em maiores concentrações, apresenta-se complexado a compostos orgânicos de baixo peso molecular.

Estudos, utilizando Zn marcado, têm demonstrado uma rápida mobilidade deste elemento na planta (SANTA MARIA; COGLIATTI, 1988; ÇAKMAK;

MARSCHNER, 1990) mas há casos em que o Zn é considerado elemento com baixa mobilidade na planta (LONGNECKER; ROBSON, 1993). De acordo com Clarkson e Hanson (1980), a baixa mobilidade do zinco é devida à pequena capacidade de ligação a quelatos aniônicos. De acordo com Marschner (1995), menor remobilização e transporte de Zn pelo floema das folhas de plantas com baixo suprimento de Zn possivelmente estão relacionados a maior quantidade de Zn firmemente ligado a componentes da célula. Entretanto, em comparação com Mn, o Zn pode mover-se mais facilmente no floema, provavelmente complexado com ácidos orgânicos (WHITE et al., 1981). Em plantas jovens de trigo foi demonstrado que o Zn é transportado pelo floema, das folhas às raízes, após a aplicação foliar (HASLETT et al., 2001).

2.3. Importância dos cereais e do Zn na nutrição humana

Os cereais são gramíneas muito cultivados por seus grãos serem comestíveis e representam importante fonte de elementos minerais e proteína no mundo em desenvolvimento. Os grãos são utilizados como estoque de alimentos básicos na maioria dos países. Deste modo, o enriquecimento dos grãos de cereais com elementos minerais a exemplo do zinco, pode gerar grandes benefícios à saúde (CAKMAK, 2008).

As deficiências que mais ocorrem são ferro, zinco, vitamina A e iodo, e ocorrem especialmente entre mulheres e crianças em países em desenvolvimento (WHO, 2002). A deficiência de Zn em humanos é muito comum e estima-se afetar mais de 25% da população do mundo (MARET; SANDSTEAD, 2006).

A deficiência de zinco é responsável por graves complicações de saúde, incluindo prejuízos de crescimento físico, no sistema imunológico, na capacidade de aprendizagem, combinado com o aumento do risco de infecções, dano ao DNA e desenvolvimento de câncer (HOTZ; BROWN, 2004; GIBSON, 2006; PRASAD, 2007).

As regiões com solos deficientes em Zn também são regiões onde a deficiência de zinco em seres humanos é generalizada, por exemplo, Índia, Paquistão, China, Irã e Turquia (CAKMAK et al., 1999, HOTZ; BROWN, 2004).

A aplicação de fertilizantes com Zn em trigo cultivado em campo na Anatólia Central (Turquia) não melhorou apenas produtividade, mas também a concentração de zinco nos grãos (YILMAZ et al., 1997). Os autores concluíram que o método mais eficaz para elevar o Zn dos grãos foi a aplicação via solo juntamente com a aplicação foliar, que resultou em aumento de cerca de 3,5 vezes.

2.4. Resposta das culturas do milho e do sorgo à aplicação de Zn

O zinco é o micronutriente que incrementa a produtividade de grãos na cultura do milho (MELARATO, 2000) e, para os solos do Estado de São Paulo, as doses recomendadas são de 2 a 4 kg ha⁻¹, em função do teor do elemento no solo (RAIJ; CANTARELLA, 1997). Entretanto, segundo Fageria et al. (2002), a quantidade do adubo a ser aplicada para corrigir a deficiência de Zn nas culturas depende do teor desse micronutriente no solo, das condições climáticas, da espécie vegetal e até mesmo do cultivar.

Em experimento com doses e fontes de Zn em milho, Decaro et al. (1983) concluíram que tanto o sulfato quanto o óxido de zinco proporcionaram aumentos significativos para a produção de grãos.

O fornecimento de Zn às culturas pode ser feito diretamente no solo, na forma de adubos, através de adubação foliar ou por tratamento de sementes (GONÇALVES JÚNIOR et al., 2007). Os modos de adubação do solo mais discutidos na literatura são a aplicação a lanço e a localizada no sulco de semeadura. A adubação a lanço (incorporada) faz com que praticamente todo o fertilizante entre em contato com o solo, possibilitando elevada adsorção de Zn e reduzindo o aproveitamento desse elemento pela planta. Por outro lado, para diminuir a adsorção, utiliza-se a aplicação localizada do fertilizante e, como consequência, pequena porção do sistema radicular entra em contato com o Zn

proveniente do adubo. Um dos problemas da adubação com Zn é a dificuldade de distribuição de pequenas quantidades de adubo no solo (LOPES; GUILHERME, 1992). Por esta razão se busca métodos alternativos para a aplicação, como tratamento de sementes e mesmo aplicação foliar. Entretanto, a aplicação de Zn ao milho via foliar nem sempre tem dado resposta positiva em produtividade (GALRÃO, 1994). Segundo Galrão (1996), para o milho as aplicações via foliar ou na semente raramente são recomendadas devido à falta de dados de pesquisa.

O tratamento de sementes tem como princípio enriquecer a reserva desse micronutriente nas sementes, podendo prevenir os sintomas iniciais de deficiência nas plantas. Além disso, é uma técnica importante porque coloca o elemento em contato imediato com as primeiras raízes emitidas pelas plântulas (BARBOSA FILHO et al., 1982). Nas sementes, a aplicação de Zn estimula o desenvolvimento inicial do sistema radicular das plantas, aumentando a área de contato, propiciando maior desenvolvimento da planta (RIBEIRO; SANTOS, 1996).

Os efeitos da aplicação de zinco em sementes de sorgo e o crescimento inicial da plantas indicam efeitos benéficos com emprego de óxido (PRADO; MOURO, 2007) e efeito depressivo com uso do micronutriente na forma de sulfato (YAGI et al., 2006). Portanto, os efeitos benéficos da nutrição de zinco em sementes dependerá do fertilizante empregado, pois o uso de doses elevadas com produto solúvel (sal), poderá causar toxicidade nas plântulas e prejudicar o crescimento inicial da cultura. Assim, o sucesso do tratamento de sementes com uso de zinco dependerá da dose e da fonte utilizada.

No tocante a modos de aplicação de zinco no sorgo, não foram encontrados trabalhos na literatura.

Já para a cultura do milho, Galrão (1994) relata que a resposta desta cultura à aplicação de Zn, via foliar, nem sempre é positiva, sendo que, muitas vezes é necessária a aplicação deste elemento via solo especialmente a lanço e incorporado, e observou que, para uma mesma dose ($1,2 \text{ kg ha}^{-1}$), a produtividade de grãos atingida foi maior no tratamento a lanço. Hibberd (1970) e Pumphrey et al. (1963), constataram que aplicações de zinco (sulfato) no solo proporcionaram

maiores rendimentos de grãos de milho do que via foliar. A adubação foliar possui restrições devido à baixa mobilidade do Zn no floema, além dos custos extras especialmente com a necessidade de várias pulverizações.

Martens et al. (1973) observaram que a aplicação localizada de 0,3 a 1,3 kg ha⁻¹ de Zn, na forma de sulfato de zinco apresentou a mesma produção de milho que a aplicação incorporada em área total de 27 kg de Zn ha⁻¹.

Souza et al. (1998), observaram que as doses de Zn, no sulco de semeadura da cultura do milho, promoveu incrementos significativos na produção de grãos. Galvão (1996), realizando experimento sobre métodos de aplicação de zinco em milho, durante três anos consecutivos, num LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO, verificou que a dose de 1,2 kg ha⁻¹ de zinco aplicada à lanço apenas no primeiro cultivo proporcionou rendimentos máximos de grãos nos três cultivos. Já a aplicação da mesma dose no sulco, porém parcelada (0,4 kg ha⁻¹ de zinco por cultivo), obteve rendimento máximo de grãos somente a partir do segundo cultivo.

No Brasil, foram conduzidos trabalhos com aplicação de Zn na cultura do milho, via tratamento de sementes, com incrementos significativos na produção quando comparado com a testemunha, atingindo 39% (SILVA, 1989) e até 56% (GALRÃO, 1994). Galvão (1996) avaliou modos de aplicação de zinco na cultura do milho e observou que a incorporação ao solo (à lanço) teve efeito superior no primeiro cultivo e, no segundo cultivo, as aplicações tanto no solo, como na folha ou semente proporcionaram os mesmos efeitos na produção da cultura.

Pela revisão de literatura, observou-se alguns estudos de modos de aplicação de zinco na cultura do milho. Entretanto, as informações disponíveis não estão consolidadas, enquanto, para a cultura do sorgo, os resultados disponíveis são incipientes.

Estudos com fertilizantes focalizando especificamente o aumento da concentração de Zn no grão (ou outras partes comestíveis) são, contudo, muito raros, apesar de um grande número de estudos estarem disponíveis, sobre o papel dos fertilizantes aplicados via solo e foliar, para correção da deficiência de

zinco, e por consequência efeitos no crescimento das plantas e no rendimento (RENGEL et al., 1999).

No futuro, novos estudos serão centrados no desenvolvimento de métodos de aplicação de Zn mais eficientes para promover absorção de Zn e maximizar o acúmulo deste micronutriente nos grãos. Estudar a biodisponibilidade do Zn dos grãos derivado de aplicações foliares é uma estratégia útil para combater a deficiência de Zn de forma eficaz, relacionado com problemas de saúde a nível global (CAMAK, 2008).

Deste modo, este estudo avaliou experimentos em condições de campo, para fundamentar a partir da pesquisa, uma indicação adequada da adubação com zinco em milho e sorgo, visando incrementar a produtividade e também a qualidade dos produtos agrícolas, com reflexos diretos, inclusive na qualidade alimentar da população. É sabido que um dos principais problemas de deficiências minerais da população brasileira e mundial, é o Zn. Assim, os grãos dos cereais constituem a principal fonte alimentar enriquecida de Zn aos seres humanos. Neste contexto, as técnicas agronômicas adequadas para elevar o teor de Zn nos grãos tornam-se importantes tanto quantitativamente como qualitativamente. Portanto, nessa proposta de trabalho em campo, foi possível acrescentar outras avaliações, como os efeitos dos tratamentos na qualidade do grão, fato importante diante da inexistência de pesquisa nessa área.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram instalados na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção (FEPP) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, localizada a 21° 15' 22" S e 48° 18' 58" W e altitude de 575 m. O clima da região é do tipo Cwa, sendo o mês mais quente o de janeiro (24,2 °C) e os mais frios os de junho e julho (17,9 °C), apresentando precipitação média anual de 1435 mm (ANDRÉ; VOLPE, 1982).

A precipitação pluvial e a temperatura da área experimental desde o preparo do solo (Dezembro/2009) até a colheita das culturas de milho e sorgo (Abril/2010) encontram-se na Figura 1. A temperatura média deste período correspondeu a 23,8 °C e a precipitação a 996mm, não havendo restrição do ambiente ao desenvolvimento das culturas.

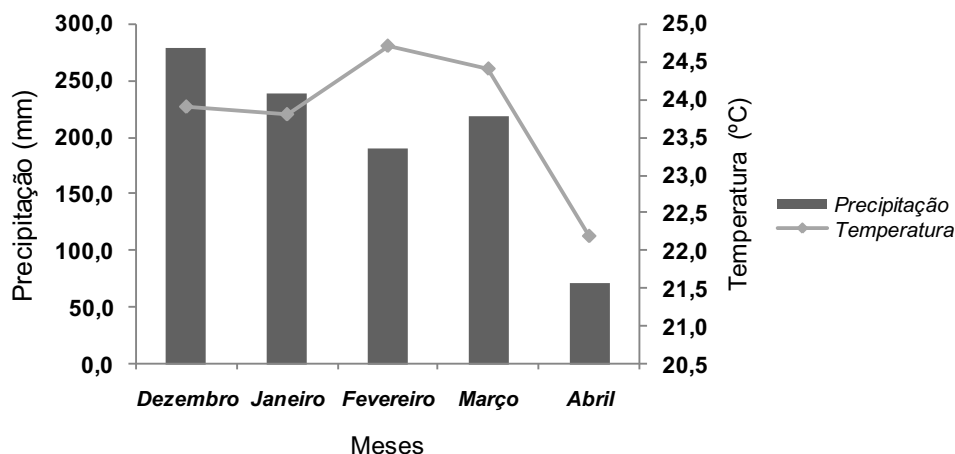


Figura 1. Precipitação pluvial (mm) e temperatura (°C) da área do experimento durante o período experimental. Fonte: Estação Agroclimatológica, Departamento de Ciências Exatas, FCAV/UNESP.

O solo da área experimental foi classificado por Andrioli e Centurion (1999), correspondendo a um LATOSSOLO VERMELHO distrófico, textura argilosa e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006). Antes da instalação do experimento, realizou-se a amostragem de solo da camada de 0–20 cm de profundidade, e realizou-se a análise química segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001), tendo os seguintes resultados: pH em CaCl₂: 5,5; MO: 16 g dm⁻³; P(resina): 31 mg dm⁻³; K: 1,1 mmol_c dm⁻³; Ca: 25 mmol_c dm⁻³; Mg: 12 mmol_c dm⁻³; H + Al: 22 mmol_c dm⁻³; SB: 38 mmol_c dm⁻³; CTC: 60 mmol_c dm⁻³ e V%: 63; B: 0,30 mg dm⁻³, Cu: 1,0 mg dm⁻³, Fe: 13,0 mg dm⁻³, Mn:16,1 mg dm⁻³, Zn:0,5 mg dm⁻³. Deste modo, o solo apresentava baixa fertilidade e, segundo a interpretação de Raij et al. (1997), o teor de zinco é considerado baixo, o que indica alta probabilidade de resposta das culturas com uso da adubação com este micronutriente.

Não foi realizada a aplicação do calcário, pois a área experimental já apresentava a saturação por bases adequada para a cultura do milho, conforme indicam Raij e Cantarella (1997) e Cantarella et al. (1997), para o sorgo.

A gradagem do solo (Figura 1a/Apêndice) e a semeadura do milho (híbrido simples Impacto) e do sorgo (híbrido simples Dow822) foram realizadas no dia 19 de dezembro de 2008.

No experimento com milho as parcelas foram constituídas de quatro linhas com 5 m de comprimento, com espaçamento de 0,90m entre linhas, tendo área de 18 m², sendo as duas linhas centrais consideradas úteis e as demais bordaduras. Para a cultura do sorgo as parcelas foram constituídas de oito linhas com 5 m de comprimento, com espaçamento de 0,45m entre linhas, tendo área de 18 m², sendo as quatro linhas centrais consideradas úteis e as demais bordaduras.

Foram utilizados nove tratamentos, constituídos por três doses de Zn em aplicação no solo localizada (sulco de semeadura) e mais três doses de Zn em aplicação no solo incorporado (camada de 0-20 cm de profundidade), aplicação foliar, aplicação em sementes e a testemunha (sem aplicação de Zn), tanto na

cultura do milho quanto na cultura do sorgo. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições.

Para estabelecer as doses de Zn localizada, adotou-se como referência a indicação de Rajj e Cantarella (1997), de 4 kg ha⁻¹ Zn, onde D1: metade da dose padrão; D2: a dose padrão e D3: duas vezes a dose padrão, correspondendo a 2; 4 e 8 kg ha⁻¹, respectivamente. Para as doses de Zn incorporadas estabeleceu-se o triplo da dose indicada para aplicação localizada, tendo como padrão, 12 kg ha⁻¹ Zn. Portanto, os tratamentos foram constituídos por: D1: metade da dose padrão; D2: a dose padrão e D3: duas vezes a dose padrão correspondendo a 6; 12 e 24 kg ha⁻¹, respectivamente.

A semeadura foi mecanizada com auxílio de uma semeadora-adubadora Jumil[®]2640PD (Figura 1b/Apêndice), excetuando-se as parcelas com aplicação de Zn em sementes, cuja semeadura foi manual (Figura 1d/Apêndice).

Nos tratamentos, constituídos pela aplicação de Zn incorporado no solo, foi utilizada a fonte sulfato de zinco (Zn: 22,7%), na dose 0,4 kg ha⁻¹ de Zn (GALRÃO, 2004), em solução a 0,5% em pulverizador costal (Figura 1e/Apêndice) para distribuição uniforme em toda a parcela. A incorporação foi realizada a 20 cm de profundidade com auxílio de grade leve. Já, os tratamentos constituídos pela aplicação de Zn localizada, foi realizada a adubação também na forma de sulfato de zinco (Zn: 22,7%) em solução. Foi feito um risco ao lado do sulco de semeadura a 5 cm abaixo e ao lado das sementes, com auxílio de enxada.

A aplicação de Zn nas sementes foi feita após aplicação de solução açucarada (para maior aderência), usando 40 g kg⁻¹ de Zn (GALRÃO, 1996), na forma de óxido (Zn: 79%) (Figura 1c/Apêndice).

A primeira aplicação foliar foi realizada no dia 08 de janeiro (Figura 2a/Apêndice), correspondendo ao estágio 1 (quatro folhas) do milho (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004) e estágio 1 (três folhas) do sorgo (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2009). A segunda no dia 22 de janeiro de 2009 (Figura 2b/Apêndice), correspondendo ao estágio 2 (oito folhas) do milho (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004) e estágio 2 (cinco folhas) do sorgo (FORNASIERI FILHO;

FORNASIERI, 2009). No tratamento com a aplicação foliar do micronutriente foi aplicado a dose de $0,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn (GALRÃO, 1996) na forma de sulfato de zinco (Zn = 22,7%) em solução a 0,5%, no volume de calda correspondente a 360 L ha^{-1} .

No momento da semeadura, realizou-se a adubação básica, aplicando-se 30 kg ha^{-1} de N, 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 50 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de uréia e do formulado 02-20-20, de forma uniforme em todos os tratamentos. As doses foram baseadas na análise química do solo, com uma produtividade esperada de 6 a 8 t para as duas culturas, seguindo a recomendação de adubação proposta por Raij e Cantarella (1997) para o milho e Cantarella et al. (1997b) para o sorgo.

O controle de plantas daninhas foi realizado no dia 30 de dezembro de 2008, com pulverização mecanizada do herbicida pós-emergente Atrazina SC[®] (2 kg ha^{-1}). Para o controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi realizada pulverização com os inseticidas Lannate BR[®] ($0,6 \text{ kg ha}^{-1}$) e Match EC[®] ($0,3 \text{ L ha}^{-1}$), no dia 5 de janeiro de 2009. Uma nova aplicação foi efetuada no dia 15 de janeiro com o inseticida Curion[®] ($0,4 \text{ L ha}^{-1}$), apenas na cultura do milho, por apresentar maior infestação desta praga, e também foi aplicado o herbicida 2,4-D[®] ($0,7 \text{ L ha}^{-1}$) nas duas culturas.

A adubação de cobertura foi realizada no dia 20 de janeiro (Figura 2c/Apêndice), aplicando-se 90 kg ha^{-1} de N (classe de resposta alta) e 20 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente, de forma uniforme em todos os tratamentos. As doses foram baseadas na análise química do solo, seguindo a recomendação de adubação proposta por Raij e Cantarella (1997) para o milho, e Cantarella et al. (1997b) para o sorgo.

No dia 3 de fevereiro de 2009 foi realizada a primeira avaliação de crescimento (30 dias após a emergência – DAE), medindo-se o comprimento de entrenós (distância do segundo ao terceiro entrenó), o número de folhas (completamente expandidas), a altura da planta (do solo até a última folha completamente expandida) e o diâmetro basal (do primeiro entrenó), em 10 plantas por parcela.

A segunda avaliação de crescimento (60 DAE) foi realizada no dia 3 de março (Figura 3/Apêndice), e a terceira avaliação (100 DAE), no dia 7 de abril de 2009.

Para avaliação do estado nutricional, foi realizada amostragem no dia 25 de fevereiro de 2009 (no florescimento das culturas). A amostragem de folhas seguiu as indicações de Cantarella et al. (1997): na qual para o milho coletou-se o terço central da folha da base da espiga, e, para o sorgo, a quarta folha com a bainha visível a partir do ápice (Figura 2d/Apêndice). Foram coletadas 10 folhas na área útil de cada parcela.

A colheita do sorgo foi realizada no dia 7 de abril, coletando-se as plantas de 2 m da linha da área útil de cada parcela.

As plantas de sorgo colhidas em cada parcela foram amarradas e identificadas, separadas em folha, colmo e grãos (retirados da panícula), e pesados. As amostras dos tecidos vegetais foram separadas e lavadas em água destilada corrente, solução de detergente, solução com ácido clorídrico e com água deionizada, para posterior secagem em estufa de circulação de ar forçado (65 a 70°C), até atingir massa constante, para a determinação da massa seca.

Foram retiradas seis amostras dos grãos de sorgo para o cálculo da porcentagem média de impurezas (7,3%), para em seguida obter a produção de grãos sem impurezas (Figura 4/Apêndice).

A colheita do milho foi realizada no dia 19 de maio de 2009, coletando-se as plantas de 2 m da linha da área útil de cada parcela. Em seguida, as plantas de milho foram separadas em folha, colmo e palha das espigas, e feito o preparo da amostra (lavagem e secagem) de forma semelhante da descrita para o sorgo, e em seguida determinou-se a massa seca (Figura 5/Apêndice).

As espigas foram separadas mecanicamente em sabugo e grãos. Os grãos foram colocados em sacos identificados e pesados para cálculo de produtividade (convertendo a produção da parcela em kg ha⁻¹). Além disso, foi determinado o número de grãos por espiga (Figura 5e/Apêndice) e a massa de 1.000 grãos (Figura 5d/Apêndice), realizado em doze espigas por parcela.

No dia 2 de junho de 2009 foi realizada a amostragem de solo (camada de 0-20 cm) nos experimentos, a partir de seis pontos, na entre linha (faixa de adubação) da área útil das culturas de milho e sorgo (Figura 6/Apêndice). Nos tratamentos em que o zinco foi aplicado de forma localizada, foram retirados pontos bem próximos a linha da cultura, local onde foi aplicado o tratamento. Nos outros tratamentos foi realizada a amostragem de forma convencional (“faixa de adubação”). As determinações analíticas das amostras de solo, para fins de fertilidade do solo e do Zn (em DTPA), seguirão os métodos descritos por Raij et al. (2001) e também o Zn (em Mehlich I)(NELSON; MEHLICH, 1953).

Em outubro de 2010 foi realizada a análise de carboidrato e de amido nos grãos das duas culturas no Laboratório de Tecnologia de Produção Agrícola (TPA), da UNESP/FCAV. O teor de carboidratos solúveis totais foi determinado conforme metodologia descrita por Nelson (1944) e adaptada por Somogyi (1952). O amido foi submetido previamente à hidrólise ácida e determinado pela metodologia citada anteriormente (carboidratos solúveis + amido = carboidratos totais).

Em novembro de 2010 foi realizada a análise de proteína bruta (PB) nos grãos das duas culturas no Laboratório de Nutrição Animal (LANA), da UNESP/FCAV. As amostras foram analisadas quanto aos teores de PB, pelo método de combustão de Dumas, utilizando-se o auto-analisador de nitrogênio, marca LECO®, modelo FP-528 (WILES et al., 1998).

Os resultados das variáveis analisadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F com desdobramento dos graus de liberdade de tratamentos em contrastes ortogonais, e ainda foi realizado para as doses dentro dos modos de aplicação de zinco no solo, estudo de regressão polinomial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito dos tratamentos no teor de zinco no solo

a) Cultura do milho

Em todos os contrastes testados não houve diferenças quanto aos atributos químicos do solo avaliados, exceto para o teor de Zn, (Tabela 1).

Para os teores de zinco, pode-se verificar pelo contraste Testemunha vs demais tratamentos que a aplicação de zinco, independentemente do modo, de aplicação promoveu maior teor deste nutriente no solo, corroborando Galvão (1994) em estudo com métodos de aplicação de Zn em solo, no qual a testemunha apresentou o menor teor deste micronutriente ($0,3 \text{ mg dm}^{-3}$). Contudo, Galvão (1996), em estudo semelhante, com zinco em milho, observou apenas diferença em algumas doses dos tratamentos nos quais o Zn foi aplicado de forma incorporada ao solo, sendo que a dose de $7,2 \text{ kg ha}^{-1}$ proporcionou o maior teor deste micronutriente no solo ($1,6 \text{ mg kg}^{-1}$). Porém, este efeito era esperado tendo em vista o emprego de altas doses do micronutriente no solo (2 até 24 kg ha^{-1}) comparado com aplicação na planta (até $0,4 \text{ kg ha}^{-1}$). Jamami et al. (2006) também verificaram que o aumento das doses de zinco proporcionou elevação nos teores no solo, em estudo em campo com milho, sendo que a dose de 2 kg ha^{-1} condicionou teores considerados médios, enquanto a dose de 4 kg ha^{-1} resultou em teores considerados altos para culturas anuais.

Quando comparado à aplicação do zinco na planta (foliar e sementes) com a aplicação no solo (Tabela 1), observou-se que a última forma de aplicação destacou-se atingindo maiores teores deste micronutriente no solo ($1,1 \text{ mg dm}^{-3}$ - DTPA), comparado à planta ($0,5$ a $0,7 \text{ mg dm}^{-3}$ - DTPA). Efeito semelhante foi obtido por Galvão (1996), que obteve valor máximo de $2,4 \text{ mg dm}^{-3}$ (média dos três cultivos), com aplicação do nutriente no solo.

Observa-se que o tratamento onde o zinco foi aplicado no solo e incorporado proporcionou maior teor deste micronutriente no solo para os dois extratores (DTPA e Mehlich-1), quando comparado à aplicação localizada (Tabela 1), corroborando Galvão (1994) em estudo com métodos de aplicação de Zn em solo, no qual as aplicações deste micronutriente de maneira incorporada proporcionaram maiores teores no solo. Possivelmente, isto ocorreu pela utilização de doses mais elevadas de zinco no tratamento incorporado. Assim, um maior volume de solo recebeu Zn (o sistema radicular entrou em contato com um volume de solo com maior disponibilidade deste elemento).

Houve efeito das doses de zinco aplicadas de forma localizada e incorporada no teor de Zn do solo extraído por Mehlich-1. Notou-se que este efeito do zinco aplicado de modo localizado ($P < 0,05$) e incorporado ($P < 0,01$) promoveu incremento com ajuste linear nos teores de Zn (Figura 2a e 2b).

Os teores de zinco apresentados no solo deste experimento são classificados, segundo Raij et al. (1997), como médios ($0,6-1,2 \text{ mg dm}^{-3}$) nos tratamentos em que o micronutriente foi aplicado ao solo, e baixo ($0-0,5 \text{ mg dm}^{-3}$) no solo da testemunha da aplicação foliar e em semente.

Tabela 1. Resumo da análise de variância dos atributos químicos do solo cultivado com a cultura do milho, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	pH CaCl ₂	MO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V	Zn	
											DTPA	Mehlich-1
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³			mmolc dm ⁻³				%	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	5,6	15	16	1,0	32	12	18	45	63	72	0,7	0,6
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	5,8	16	20	0,9	24	11	16	36	52	68	0,8	0,6
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	5,2	16	22	0,9	26	10	25	37	62	59	0,8	0,7
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	5,3	16	18	0,9	29	11	24	38	62	59	0,8	0,5
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	5,4	16	15	0,8	26	12	21	42	63	67	0,8	0,7
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	5,3	16	18	1,0	26	10	23	37	60	62	1,1	1,0
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	5,4	16	17	0,9	28	12	21	41	62	63	0,5	0,3
Semente, 40 g kg ⁻¹	5,3	16	15	0,9	24	11	23	36	59	58	0,7	0,3
Testemunha	5,6	16	20	0,9	24	10	21	35	56	64	0,3	0,3
Teste F												
Testemunha vs Demais	2,428 ^{NS}	0,053 ^{NS}	1,756 ^{NS}	0,117 ^{NS}	3,308 ^{NS}	0,394 ^{NS}	0,024 ^{NS}	3,221 ^{NS}	0,813 ^{NS}	0,017 ^{NS}	38,735 ^{**}	47,103 ^{**}
Solo vs (Foliar + Semente)	0,562 ^{NS}	0,443 ^{NS}	1,959 ^{NS}	0,039 ^{NS}	0,659 ^{NS}	0,603 ^{NS}	0,489 ^{NS}	0,256 ^{NS}	0,313 ^{NS}	2,454 ^{NS}	18,593 ^{**}	149,364 ^{**}
Foliar vs Semente	0,826 ^{NS}	0,850 ^{NS}	0,761 ^{NS}	0,052 ^{NS}	3,241 ^{NS}	1,576 ^{NS}	0,703 ^{NS}	3,073 ^{NS}	0,042 ^{NS}	1,152 ^{NS}	1,779 ^{NS}	0,233 ^{NS}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	3,512 ^{NS}	3,472 ^{NS}	3,413 ^{NS}	0,277 ^{NS}	0,004 ^{NS}	0,043 ^{NS}	2,781 ^{NS}	0,000 ^{NS}	3,337 ^{NS}	3,083 ^{NS}	4,008 [*]	6,278 ^{**}
Doses dentro Localizado	4,254 ^{NS}	3,545 ^{NS}	4,308 ^{NS}	0,75 ^{NS}	3,677 ^{NS}	0,874 ^{NS}	3,214 ^{NS}	3,729 ^{NS}	4,448 ^{NS}	2,378 ^{NS}	0,208 ^{NS}	7,518 [*]
Doses dentro Incorporado	0,840 ^{NS}	0,000 ^{NS}	1,081 ^{NS}	2,33 ^{NS}	1,754 ^{NS}	0,925 ^{NS}	1,881 ^{NS}	1,387 ^{NS}	1,437 ^{NS}	2,291 ^{NS}	4,154 ^{NS}	26,561 ^{**}
C.V.%	5,0	4,8	20,3	17,7	11,9	18,2	17,8	11,1	10,2	9,3	18,6	13,4

^{*,**} e ^{NS} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, pelo teste F.

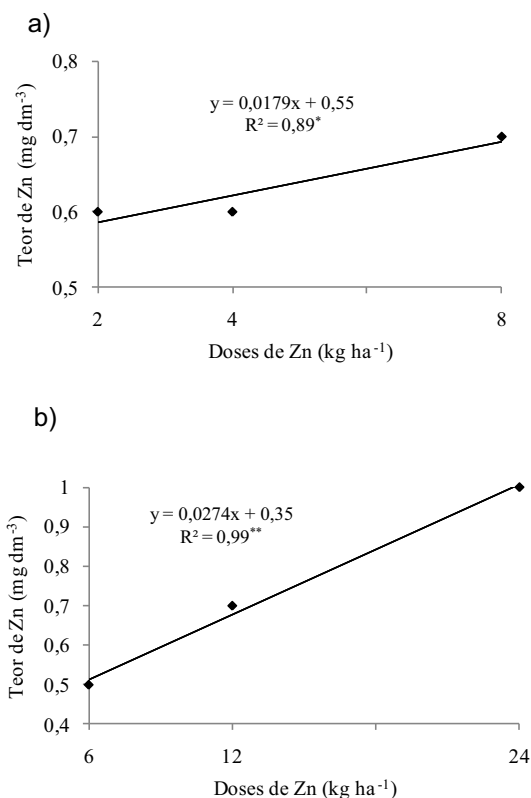


Figura 2. Teor de zinco no solo (Mehlich-1) cultivado com a cultura do milho em função da aplicação de zinco no solo de forma localizada (a) e incorporada (b). ** e * - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F.

b) Cultura do sorgo

Assim como a cultura do milho, em todos os contrastes testados não houve diferenças quanto aos atributos químicos do solo avaliado, exceto para o teor de Zn (Tabela 2).

Entretanto, para os teores de zinco, pode-se constatar pelo primeiro contraste (Testemunha vs Demais tratamentos) que a aplicação de zinco, independentemente do modo, promoveu maior teor deste nutriente no solo cultivado com a cultura do sorgo, concordando com Schöffel e Lúcio (2001), que observaram aumento significativo na concentração de zinco com a aplicação do mesmo num LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO, em vasos com plantas de arroz.

Quando comparado à aplicação do nutriente na planta com a realizada em solo, verificou-se que quando o zinco é aplicado ao solo, há elevação em seu teor (atingindo $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$ – DTPA) quando comparado aos tratamentos que receberam Zn de forma foliar ou em sementes. Entretanto, Galvão (1994), na maior dose aplicada no solo ($7,2 \text{ kg ha}^{-1}$), observou teor de $2,4 \text{ mg dm}^{-3}$.

Não houve diferenças nas aplicações em semente e nas folhas, assim como verificado por Correia et al. (2008), em estudos com modo de aplicação de Zn em arroz, em vasos.

Verificou-se que o tratamento onde o zinco foi aplicado no solo de modo incorporado proporcionou maior teor deste micronutriente no solo para o extrator Mehlich-1, quando comparado à aplicação localizada (Tabela 2), corroborando Galvão (1996), em estudo com métodos de aplicação de zinco em milho, verificou que o zinco aplicado de forma incorporada ao solo, independentemente da dose, proporcionou maior deste micronutriente no solo, comparado com a aplicação localizada, em todos os extratores estudados (HCl, Mehlich-1 e Mehlich-3). Provavelmente, assim como na cultura do milho, isto pode ter ocorrido pela utilização de doses mais elevadas de zinco no tratamento incorporado e baixa adsorção deste micronutriente ao solo.

A aplicação de zinco resultou diferenças entre as doses aplicadas de forma localizada e também de forma incorporada somente para o extrator Mehlich-1. Notou-se que este efeito do zinco aplicado de modo localizado ($P < 0,01$) e incorporado ($P < 0,01$) promoveu incremento com ajuste linear nos teores de Zn (Figura 3a e 3b), assim como observado para a cultura do milho.

Os teores de zinco apresentados no solo deste experimento são classificados segundo Raij et al. (1997), como médio ($0,6-1,2 \text{ mg dm}^{-3}$) nos tratamentos em que o micronutriente foi aplicado ao solo, e baixo ($0-0,5 \text{ mg dm}^{-3}$) no solo da testemunha e na aplicação foliar e em semente.

Tabela 2. Resumo da análise de variância dos atributos químicos do solo cultivado com a cultura do sorgo, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	pH CaCl ₂	MO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V	Zn	
											DTPA	Mehlich-1
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³			mmolc dm ⁻³				%	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	5,4	16	15	0,7	26	11	23	38	61	66	0,6	0,5
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	5,6	16	16	0,7	27	10	21	38	59	63	0,7	0,7
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	5,5	16	16	0,7	24	9	20	34	54	63	0,9	0,9
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	5,4	16	16	0,6	27	12	22	40	62	64	0,7	0,6
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	5,6	17	16	0,8	27	12	20	40	60	65	0,8	0,8
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	5,4	15	15	0,6	25	10	21	36	57	63	1,2	1,1
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	5,4	15	15	0,7	26	9	22	36	58	63	0,5	0,4
Semente, 40 g kg ⁻¹	5,4	15	15	0,7	26	10	22	37	59	62	0,5	0,4
Testemunha	5,4	15	16	0,6	26	11	21	38	59	68	0,4	0,3
Teste F												
Testemunha vs Demais	0,052 ^{NS}	0,675 ^{NS}	0,002 ^{NS}	1,939 ^{NS}	0,042 ^{NS}	0,392 ^{NS}	0,004 ^{NS}	0,004 ^{NS}	0,007 ^{NS}	2,763 ^{NS}	14,828 ^{**}	68,341 ^{**}
Solo vs (Foliar + Semente)	0,619 ^{NS}	3,163 ^{NS}	0,542 ^{NS}	0,034 ^{NS}	0,007 ^{NS}	2,152 ^{NS}	0,517 ^{NS}	0,168 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,545 ^{NS}	18,015 ^{**}	141,476 ^{**}
Foliar vs Semente	0,116 ^{NS}	0,095 ^{NS}	0,080 ^{NS}	0,413 ^{NS}	0,036 ^{NS}	0,195 ^{NS}	0,069 ^{NS}	0,000 ^{NS}	0,029 ^{NS}	0,102 ^{NS}	0,176 ^{NS}	0,337 ^{NS}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	0,348 ^{NS}	0,285 ^{NS}	0,027 ^{NS}	1,239 ^{NS}	0,027 ^{NS}	1,318 ^{NS}	0,143 ^{NS}	0,225 ^{NS}	0,000 ^{NS}	0,001 ^{NS}	2,882 ^{NS}	16,604 ^{**}
Doses dentro Localizado	0,735 ^{NS}	0,042 ^{NS}	0,089 ^{NS}	0,051 ^{NS}	2,026 ^{NS}	3,588 ^{NS}	0,736 ^{NS}	2,499 ^{NS}	1,958 ^{NS}	1,317 ^{NS}	3,372 ^{NS}	103,993 ^{**}
Doses dentro Incorporado	1,058 ^{NS}	2,333 ^{NS}	0,163 ^{NS}	2,492 ^{NS}	0,432 ^{NS}	2,087 ^{NS}	0,572 ^{NS}	1,358 ^{NS}	2,905 ^{NS}	0,110 ^{NS}	3,800 ^{NS}	22,399 ^{**}
C.V.%	3,8	7,3	16,0	16,4	14,4	15,6	12,7	12,8	7,1	8,7	24,7	12,7

^{**} e ^{NS} - Significativo a 1% de probabilidade e não-significativo, pelo teste F.

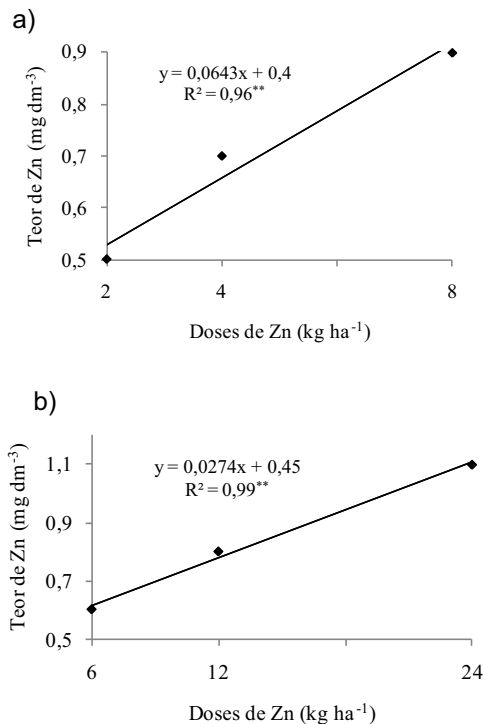


Figura 3. Teor de zinco no solo (Mehlich -1) cultivado com a cultura do sorgo em função da aplicação de zinco no solo de forma localizada (a) e incorporada (b). ** - Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Segundo Abreu e Raij (1996), os resultados da literatura indicam, de maneira geral, pequena superioridade da solução de DTPA em relação às ácidas na avaliação da disponibilidade de Zn em solos que receberam ou não a aplicação deste elemento.

Nos teores de zinco extraídos pelo extrator DTPA houve variação de 0,5 a 1,1 mg dm⁻³ e para o extrator Mehlich-1, de 0,3 a 1,0 mg dm⁻³ (cultura do milho). Entretanto, Abreu e Raij (1996) em estudo com efeito da reação do solo no Zn extraído por diferentes métodos, verificaram que o LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO apresentou uma amplitude de 0,9 a 1,2 mg dm⁻³ (DTPA) e de 2,1 a 2,6 mg dm⁻³ (Mehlich-1). Essas diferenças podem ser explicadas pelo teor de matéria orgânica presentes nos solos, entre outros fatores (material de origem, textura, etc). No trabalho citado o teor de matéria orgânica do solo era de aproximadamente 37 g dm⁻³, enquanto que no presente trabalho o teor é de 16 g

dm⁻³, e, a solução de DTPA extrai, preferencialmente, o micronutriente presente no compartimento da matéria orgânica.

Para Silva et al. (2009), a metodologia-padrão para análise do Zn do solo no Estado do Paraná, em que se usa Mehlich-1, apresenta boa correlação com a metodologia na qual emprega o extrator DTPA. Contudo, Menezes et al. (2010), verificaram que o extrator Mehlich-1 obteve maior capacidade de extração de Zn do que o DTPA, para os sete solos (LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO, LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTROFÉRRICO TÍPICO, LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ÁCRICO, LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO HÚMICO, ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO CÂMBICO, ORGANOSSOLO MÉSICO e LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO textura média) provenientes de municípios de Minas Gerais, corroborando Consolini e Coutinho (2004), em estudo com efeito da aplicação de zinco em solo (em vasos), puderam verificar que os extratores ácidos (HCl, Mehlich-1 e Mehlich-3) apresentaram maior capacidade de extração, retirando maiores quantidades de zinco que o complexante (DTPA) em três solos (LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO, LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO).

4.2 Efeito dos tratamentos no crescimento das culturas

a) Cultura do milho

Avaliando-se o contraste (Testemunha vs Demais), foi observado diferença significativa apenas para o número de folhas, aos 30 dias após a emergência (DAE), tendo a testemunha menor número quando comparado aos modos de aplicação de zinco (Tabela 3). Estudos desenvolvidos em casa de vegetação com milho indicaram semelhança para o número de folhas entre a testemunha e os modos de aplicação de zinco para o cv. BRS 1001 (PRADO et al., 2008) e para cv. P30K75 (ROMUALDO, 2008). Provavelmente esta diferença deve-se às condições de cultivo.

Para a avaliação da aplicação de zinco no solo e na planta (foliar e semente), verificou-se que quando o micronutriente foi adicionado ao solo

proporcionou maior altura das plantas de milho nas duas primeiras avaliações (trinta e sessenta dias após a emergência da cultura, respectivamente).

Entretanto, Romualdo (2008) verificou maior altura das plantas de milho nos tratamentos que receberam Zn na planta comparado aqueles que receberam no solo. Prado et al. (2008) na cultura do milho e Orioli Júnior et al. (2008) no cultivo de trigo não verificaram influência destes tratamentos na altura das plantas, aos 42 e 52 dias após a emergência, respectivamente, corroborando Jamami et al. (2006), em estudo com doses de zinco em milho em condições de campo, no qual não observaram resposta da altura e do diâmetro do colmo das plantas nas avaliações realizadas.

Quando comparado os tratamentos em que o zinco foi aplicado em semente e via foliar, não foram observadas diferenças para nenhuma variável de crescimento, assim como as doses dentro do tratamento localizado e do incorporado, corroborando com Romualdo (2008), que também não verificou diferenças entre estes tratamentos.

Tabela 3. Efeito dos tratamentos na altura (A), comprimento de entrenós (CE), diâmetro basal do colmo (DB) e número de folhas das plantas de milho (NF), aos trinta, sessenta e cem dias após a emergência da cultura e resumo da análise de variância

Tratamentos	30 dias						60 dias						100 dias												
	A		CE		DB		NF		A		CE		DB		NF		A		CE		DB		NF		
	cm		cm		mm				cm		cm		mm				cm		cm		mm				
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	75	15	23,05	6	206	13	19,65	13	207	15	20,68	13	19,65	13	207	15	20,68	13	207	15	20,68	13	207	15	20,68
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	73	14	21,67	6	205	15	20,09	15	209	15	21,06	13	20,09	15	209	15	21,06	13	209	15	21,06	13	209	15	21,06
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	72	14	22,75	7	198	13	20,02	13	202	14	20,48	10	20,02	13	202	14	20,48	10	202	14	20,48	10	202	14	20,48
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	76	14	23,77	7	201	13	20,10	13	209	14	20,60	10	20,10	13	209	14	20,60	10	209	14	20,60	10	209	14	20,60
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	73	14	23,57	7	203	14	21,18	13	206	15	20,36	10	21,18	13	206	15	20,36	10	206	15	20,36	10	206	15	20,36
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	73	14	22,97	7	205	13	21,08	13	205	14	21,45	10	21,08	13	205	14	21,45	10	205	14	21,45	10	205	14	21,45
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	73	14	22,22	6	199	13	20,24	13	204	14	20,20	10	20,24	13	204	14	20,20	10	204	14	20,20	10	204	14	20,20
Semente, 40 g kg ⁻¹	70	13	23,55	7	195	13	20,01	13	197	12	20,49	10	20,01	13	197	12	20,49	10	197	12	20,49	10	197	12	20,49
Testemunha	76	15	22,80	5	204	13	20,15	13	206	14	20,67	9	20,15	13	206	14	20,67	9	206	14	20,67	9	206	14	20,67
Teste F																									
Testemunha vs Demais	1,22 ^{NS}	1,96 ^{NS}	0,06 ^{NS}	46,02 ^{**}	0,55 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,00 ^{NS}
Solo vs (Foliar + Semente)	0,78 ^{NS}	0,65 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,56 ^{NS}	5,73 [*]	0,85 ^{NS}	0,33 ^{NS}	0,85 ^{NS}	8,50 ^{**}	8,70 ^{NS}	1,65 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,33 ^{NS}	0,85 ^{NS}	8,50 ^{**}	8,70 ^{NS}	1,65 ^{NS}	0,05 ^{NS}	8,50 ^{**}	8,70 ^{NS}	1,65 ^{NS}	0,05 ^{NS}	8,50 ^{**}	8,70 ^{NS}	1,65 ^{NS}
Foliar vs Semente	0,73 ^{NS}	3,48 ^{NS}	2,70 ^{NS}	0,75 ^{NS}	0,76 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,03 ^{NS}	3,92 ^{NS}	2,01 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,03 ^{NS}	3,92 ^{NS}	2,01 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,00 ^{NS}	3,92 ^{NS}	2,01 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,00 ^{NS}	3,92 ^{NS}	2,01 ^{NS}	0,26 ^{NS}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	0,04 ^{NS}	0,29 ^{NS}	4,17 ^{NS}	1,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,09 ^{NS}	4,67 [*]	0,09 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,67 ^{NS}	0,03 ^{NS}	4,64 [*]	0,09 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,67 ^{NS}	0,03 ^{NS}	4,64 [*]	0,13 ^{NS}	0,67 ^{NS}	0,03 ^{NS}	4,64 [*]	0,13 ^{NS}	0,67 ^{NS}	0,03 ^{NS}
Doses dentro Localizado	0,21 ^{NS}	1,89 ^{NS}	1,61 ^{NS}	2,00 ^{NS}	2,13 ^{NS}	1,77 ^{NS}	0,23 ^{NS}	1,77 ^{NS}	2,17 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,52 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,23 ^{NS}	1,77 ^{NS}	2,17 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,52 ^{NS}	0,00 ^{NS}	2,17 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,52 ^{NS}	0,00 ^{NS}	2,17 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,52 ^{NS}
Doses dentro Incorporado	0,50 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,53 ^{NS}	0,50 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,76 ^{NS}	1,46 ^{NS}	0,76 ^{NS}	0,77 ^{NS}	0,21 ^{NS}	2,05 ^{NS}	1,48 ^{NS}	1,46 ^{NS}	0,76 ^{NS}	0,77 ^{NS}	0,21 ^{NS}	2,05 ^{NS}	1,48 ^{NS}	0,77 ^{NS}	0,21 ^{NS}	2,05 ^{NS}	1,48 ^{NS}	0,77 ^{NS}	0,21 ^{NS}	2,05 ^{NS}
C.V. %	6,7	5,2	4,9	5,9	3,0	14,5	4,8	14,5	2,5	8,5	3,9	3,5	4,8	14,5	2,5	8,5	3,9	3,5	2,5	8,5	3,9	3,5	2,5	8,5	3,9

^{**} e ^{*} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, pelo teste F.

b) Cultura do sorgo

Verificando-se o contraste (Testemunha vs Demais), foi observado que apenas o número de folhas, aos 60 dias após a emergência (DAE), foi significativo, tendo a testemunha menor número quando comparado aos modos de aplicação de zinco (Tabela 4). Entretanto, Romualdo (2008) não observou diferenças entre os tratamentos, independentemente da forma de aplicação de Zn para esta variável de crescimento.

Não foram observadas diferenças quando comparado à aplicação de zinco em solo com a aplicação na planta, do mesmo modo não foi significativo quanto estudado a aplicação nas folhas e nas sementes. Porém, Romualdo (2008) observou que no segundo cultivo de sorgo cv. BR 304, os tratamentos que receberam aplicação de Zn no solo (localizado/incorporado) promoveram maior altura das plantas de sorgo quando comparado à aplicação na planta (semente/foliar). Todavia, Correia et al. (2008), estudando as formas de aplicação de Zn na cultura do arroz, em casa de vegetação, não verificaram influência dos tratamentos na altura das plantas, aos 42 dias após a emergência.

Comparando-se a adição de zinco ao solo, constatou-se que o fornecimento de Zn de forma localizada promoveu maior diâmetro do colmo aos 30 DAE e maior comprimento de entrenós aos 100 DAE. Resultados semelhantes foram obtidos por Prado et al. (2008), observaram que a aplicação localizada de Zn promoveu maior diâmetro da cultura do milho cv. BRS 1001, cultivado em casa de vegetação. Já Santos et al. (2009), em estudo com efeitos de doses de Zn no solo da cultura do sorgo, em vasos, puderam verificar que não houve influência das doses na altura, diâmetro do colmo e comprimento de entrenós das plantas.

Quando estudado as doses dentro do tratamento incorporado não foram observadas diferenças entre os tratamentos, contudo o Zn aplicado de maneira localizada promoveu incremento com ajuste quadrático ($P < 0,01$) na altura das plantas (Figura 4). A dose de $5,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn propiciou a maior altura das plantas de sorgo. Entretanto, Romualdo (2008) observou que a aplicação de Zn desta forma não afetou o primeiro cultivo do sorgo cv. BR 304, aos 55 dias após a emergência das plantas.

Tabela 4. Efeito dos tratamentos na altura (A), comprimento de entrenós (CE), diâmetro basal do colmo (DB) e número de folhas das plantas de sorgo (NF), aos trinta, sessenta e cem dias após a emergência da cultura e resumo da análise de variância

Tratamentos	30 dias					60 dias					100 dias					
	A		CE		DB		NF		A		CE		DB		NF	
	cm	mm	cm	mm	cm	mm	cm	mm	cm	mm	cm	mm	cm	mm	cm	mm
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	33	19,46	6	19,46	5	17,13	83	6	17,13	7	17,13	89	6	13,72	2	13,72
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	36	20,51	6	20,51	5	17,00	82	6	17,00	7	17,00	91	6	13,62	2	13,62
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	33	19,75	5	19,75	5	17,47	83	6	17,47	7	17,47	89	5	13,71	2	13,71
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	34	18,35	6	18,35	5	16,61	80	5	16,61	7	16,61	87	5	13,73	2	13,73
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	35	18,70	5	18,70	5	17,06	80	6	17,06	7	17,06	88	5	13,55	2	13,55
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	35	19,27	5	19,27	5	17,01	80	5	17,01	7	17,01	87	5	13,35	2	13,35
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	34	19,47	6	19,47	5	16,38	79	6	16,38	7	16,38	89	5	13,27	2	13,27
Semente, 40 g kg ⁻¹	35	18,70	6	18,70	5	16,32	82	6	16,32	7	16,32	91	5	13,27	2	13,27
Testemunha	34	18,57	6	18,57	5	16,92	80	6	16,92	6	16,92	88	5	13,04	2	13,04
Teste F																
Testemunha vs Demais	0,02 ^{NS}	2,40 ^{NS}	1,55 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,63 ^{NS}	0,75 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,78 ^{NS}	0,04 ^{NS}	1,91 ^{NS}	0,61 ^{NS}	0,04 ^{NS}	1,91 ^{NS}	0,61 ^{NS}	0,61 ^{NS}
Solo vs (Foliar + Semente)	0,06 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,45 ^{NS}	0,49 ^{NS}	0,49 ^{NS}	0,09 ^{NS}	2,09 ^{NS}	1,38 ^{NS}	1,08 ^{NS}	1,61 ^{NS}	0,46 ^{NS}	1,08 ^{NS}	1,61 ^{NS}	0,46 ^{NS}	0,46 ^{NS}
Foliar vs Semente	2,87 ^{NS}	0,00 ^{NS}	1,05 ^{NS}	0,59 ^{NS}	3,02 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,36 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,36 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,34 ^{NS}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	0,66 ^{NS}	2,49 ^{NS}	6,76 ^{NS}	0,00 ^{NS}	4,03 ^{NS}	0,40 ^{NS}	3,26 ^{NS}	0,40 ^{NS}	2,91 ^{NS}	5,88 ^{NS}	0,27 ^{NS}	1,03 ^{NS}	5,88 ^{NS}	0,27 ^{NS}	1,03 ^{NS}	1,03 ^{NS}
Doses dentro Localizado	6,42 ^{**}	1,39 ^{NS}	1,04 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,32 ^{NS}	0,72 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,39 ^{NS}	1,68 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,23 ^{NS}	1,68 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,23 ^{NS}
Doses dentro Incorporado	0,37 ^{NS}	0,60 ^{NS}	0,76 ^{NS}	1,19 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,24 ^{NS}	0,32 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,24 ^{NS}	0,32 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,23 ^{NS}
C.V. %	3,5	10,7	5,5	8,7	3,7	10,9	7,0	4,1	3,2	10,1	4,9	23,9	10,1	4,9	23,9	23,9

^{NS} - Significativo a 1% de probabilidade e não-significativo, pelo teste F.

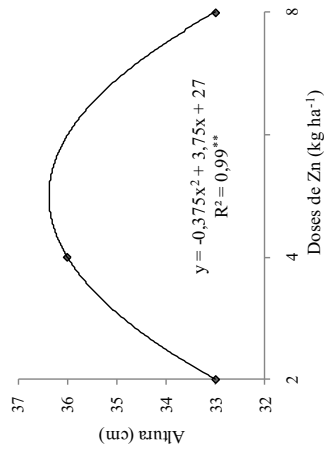


Figura 4. Altura das plantas de sorgo em função da aplicação de zinco no solo de forma localizada. ^{**} - Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

4.3. Efeito dos tratamentos nos teores foliares de macro e micronutrientes das culturas

a) Cultura do milho

Em todos os contrastes testados não houve diferenças quanto aos teores foliares de macro e micronutrientes avaliados na cultura do milho, exceto o zinco (Tabela 5). Para os teores foliares de zinco não houve diferença entre a testemunha e os demais tratamentos com zinco, tratamento foliar e semente, e, solo incorporado e localizado. Entretanto, houve para os contrastes tratamentos com zinco no solo, via foliar mais sementes e doses dentro do localizado e doses dentro do incorporado (Tabela 5).

Decaro et al. (1983), em experimento com doses e fontes de Zn na cultura do milho, observaram que os teores foliares aumentaram com as doses de Zn aplicadas no solo, corroborando o presente trabalho.

Igue et al. (1962), estudando a aplicação de Zn na cultura do milho, em condições de campo, não observaram diferenças no teor foliar de zinco nos tratamentos em que o micronutriente foi aplicado via foliar e no sulco de plantio (5 e 10 kg ha⁻¹), assim como o presente trabalho.

As doses do zinco aplicadas de forma localizada e também de forma incorporada afetaram o teor foliar deste micronutriente nas plantas de milho. Notou-se que este efeito do zinco aplicado de forma localizada promoveu incremento com ajuste quadrático ($P < 0,05$) [(Figura 5a)] nos teores foliares de Zn, atingindo máximo na dose de 6,0 kg ha⁻¹. Já, o zinco aplicado de forma incorporada promoveu incremento com ajuste linear ($P < 0,01$) (Figura 5b) nos teores foliares de Zn. Estes incrementos nos teores foliares ocorreram pelo efeito da aplicação do Zn no solo (Figura 2a e 2b), ou seja, com maior disponibilidade deste micronutriente no solo há maior absorção de Zn pelas plantas.

Embora a aplicação de zinco tenha aumentado os teores foliares do mesmo nas plantas, observou-se que os valores estiveram no intervalo de 15-100 mg kg⁻¹ considerado adequado por Cantarella e Raij (1997). Korndörfer et al. (1995), observaram que os teores de Zn na folha do milho aumentaram com as doses de Zn aplicadas no solo e os teores médios de Zn na folha variaram de 13 mg kg⁻¹ no

tratamento sem Zn (testemunha) até 23 mg kg⁻¹ no tratamento com este micronutriente (4 kg de Zn ha⁻¹). No presente experimento foram obtidos teores de Zn entre 15 e 22 mg kg⁻¹.

Tabela 5. Resumo da análise de variância referente aos teores foliares de macro e micronutrientes das plantas de milho, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	g kg ⁻¹										mg kg ⁻¹				
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn				
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	26,6	2,5	21,6	5,9	2,5	1,7	12,0	9	90	35	16				
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	25,3	2,7	21,5	6,1	2,5	1,9	8,8	10	83	37	18				
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	26,5	2,5	21,5	6,1	2,5	1,7	10,8	9	89	37	18				
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	25,6	2,4	19,8	6,5	2,6	1,7	10,3	9	85	37	16				
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	26,2	2,6	21,4	6,0	2,4	1,4	8,7	10	85	36	17				
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	25,4	2,5	20,8	6,5	2,5	1,7	11,5	10	90	40	22				
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	26,2	2,5	19,9	6,2	2,3	1,6	11,3	9	88	40	17				
Semente, 40 g kg ⁻¹	26,2	2,6	21,2	5,9	2,5	1,8	10,0	9	84	40	15				
Testemunha	26,2	2,6	21,2	5,9	2,5	1,8	10,0	9	85	37	17				
	----- Teste F -----														
Testemunha vs Demais	0,199 ^{NS}	0,202 ^{NS}	0,184 ^{NS}	0,768 ^{NS}	0,210 ^{NS}	0,917 ^{NS}	0,172 ^{NS}	0,197 ^{NS}	0,769 ^{NS}	0,003 ^{NS}	2,799 ^{NS}				
Solo vs (Foliar + Semente)	0,522 ^{NS}	0,269 ^{NS}	0,853 ^{NS}	0,001 ^{NS}	1,317 ^{NS}	0,120 ^{NS}	0,516 ^{NS}	0,591 ^{NS}	0,633 ^{NS}	3,244 ^{NS}	19,302 ^{**}				
Foliar vs Semente	1,906 ^{NS}	0,454 ^{NS}	3,310 ^{NS}	0,011 ^{NS}	1,145 ^{NS}	0,018 ^{NS}	0,097 ^{NS}	0,579 ^{NS}	1,004 ^{NS}	0,027 ^{NS}	3,775 ^{NS}				
Solo Incorporado vs Solo Localizado	0,300 ^{NS}	0,824 ^{NS}	3,280 ^{NS}	1,279 ^{NS}	0,070 ^{NS}	2,379 ^{NS}	0,129 ^{NS}	3,909 ^{NS}	0,633 ^{NS}	1,519 ^{NS}	4,229 ^{NS}				
Doses dentro Localizado	3,091 ^{NS}	0,871 ^{NS}	0,015 ^{NS}	0,383 ^{NS}	0,009 ^{NS}	1,000 ^{NS}	0,818 ^{NS}	1,000 ^{NS}	0,490 ^{NS}	0,504 ^{NS}	5,949 [*]				
Doses dentro Incorporado	0,460 ^{NS}	2,440 ^{NS}	1,522 ^{NS}	0,524 ^{NS}	1,547 ^{NS}	0,714 ^{NS}	0,861 ^{NS}	1,235 ^{NS}	0,446 ^{NS}	2,600 ^{NS}	18,176 ^{**}				
C.V.%	3,2	6,3	5,4	11,1	9,3	15,8	21,8	10,1	6,5	11,5	6,2				

^{**}, ^{*} e ^{NS} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, pelo teste F.

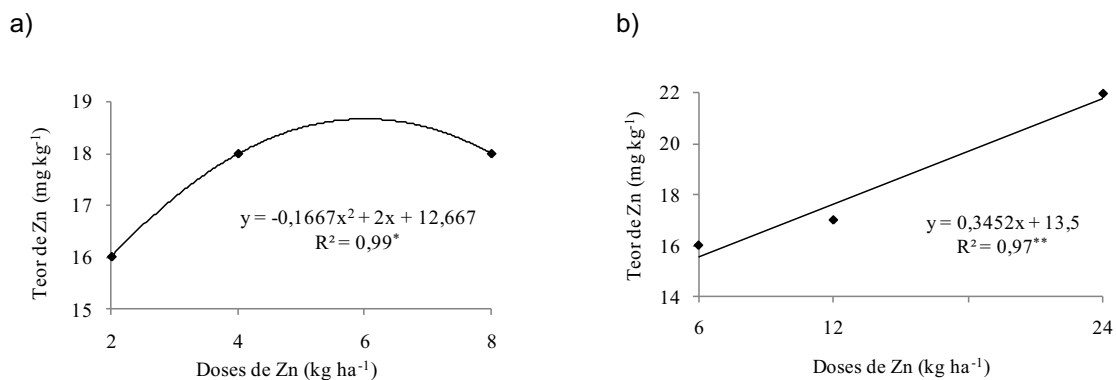


Figura 5. Teores foliares de zinco das plantas de milho em função da sua aplicação no solo de forma localizada (a) e incorporada (b). ** e * - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F.

b) Cultura do sorgo

Em todos os contrastes testados não houve diferenças quanto aos teores foliares de macro e micronutrientes avaliados na cultura do sorgo, exceto o zinco (Tabela 6). Para os teores foliares dos micronutrientes não houve diferença entre a testemunha e os demais tratamentos com zinco; tratamento foliar e semente, e, solo incorporado e localizado (Tabela 6), porém, houve para os contrastes tratamentos com zinco no solo, via foliar mais sementes e doses dentro do localizado e doses dentro do incorporado (Tabela 6).

Todos os tratamentos, independentemente do modo de aplicação, promoveram maiores teores de Zn da folha diagnose quando comparado à testemunha.

A aplicação de zinco no solo (incorporado e localizado) proporcionou maiores teores de zinco nas folhas diagnose das plantas de sorgo quando comparado ao tratamento em que o zinco foi aplicado via foliar e semente, assim como ocorreu com a cultura do milho. Contudo, Engler et al. (2006) em estudo com modos de aplicação de Zn em arroz, constataram que a concentração deste elemento foi maior quando este foi aplicado por pulverização foliar quando comparado às plantas que receberam zinco via solo.

O modo de aplicação de zinco via foliar promoveu maiores teores de zinco nas folhas diagnose das plantas de sorgo quando comparado ao tratamento em que o zinco foi aplicado via semente.

Não houve diferença significativa apenas para o tratamento cujo zinco foi aplicado no solo de forma incorporada quando comparado à aplicação localizada.

A aplicação de zinco demonstrou diferenças entre as doses do zinco aplicadas de forma localizada e também de forma incorporada, assim como ocorreu na cultura do milho. Notou-se que este efeito do zinco aplicado de forma localizada promoveu incremento com ajuste linear ($P < 0,05$) (Figura 6a) nos teores de Zn, e, o zinco aplicado de forma incorporada promoveu incremento com ajuste linear ($P < 0,01$) (Figura 6b) nos teores de Zn. Estes incrementos nos teores foliares ocorreram pelo efeito da aplicação do Zn no solo (Figura 3a e 3b), ou seja, com maior disponibilidade deste micronutriente no solo, maior sua absorção pelas plantas.

Mesmo que a aplicação de zinco tenha proporcionado maiores teores foliares do mesmo nas plantas, observou-se que os valores estiveram no intervalo de $15-50 \text{ mg kg}^{-1}$, considerado adequado por Cantarella e Rajj (1997). Santos et al. (2009) em estudo com doses de Zn em sorgo, puderam observar aumento no teor foliar deste micronutriente com aumentos das doses do mesmo no solo (LATOSSOLO AMARELO), porém a média dos teores foi de aproximadamente 22 mg kg^{-1} .

Tabela 6. Resumo da análise de variância referente aos teores foliares de macro e micronutrientes das plantas de sorgo, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	g kg ⁻¹										mg kg ⁻¹			
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn			
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	28,4	4,0	18,4	6,1	3,4	1,7	9	12	91	28	18			
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	28,4	4,1	18,2	6,2	3,1	1,8	10	12	86	28	19			
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	28,6	4,5	20,2	6,1	3,0	1,9	9	13	90	29	21			
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	28,5	4,1	17,8	6,7	3,4	1,7	10	13	87	27	19			
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	29,0	4,3	19,0	6,2	3,1	1,6	10	12	88	27	18			
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	28,5	4,1	18,2	6,3	2,8	1,7	9	12	88	28	21			
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	28,9	3,9	19,2	6,2	3,0	1,6	10	12	88	27	20			
Semente, 40 g kg ⁻¹	29,3	4,4	19,5	6,7	3,4	1,8	9	13	99	32	17			
Testemunha	28,7	4,1	17,9	7,0	3,6	1,8	9	13	88	25	16			
	----- Teste F -----													
Testemunha vs Demais	0,001 ^{NS}	0,242 ^{NS}	1,876 ^{NS}	3,602 ^{NS}	3,473 ^{NS}	0,123 ^{NS}	0,132 ^{NS}	0,155 ^{NS}	0,253 ^{NS}	4,008 ^{NS}	35,740 ^{**}			
Solo vs (Foliar + Semente)	0,691 ^{NS}	0,023 ^{NS}	1,835 ^{NS}	0,209 ^{NS}	0,124 ^{NS}	0,027 ^{NS}	0,099 ^{NS}	0,000 ^{NS}	3,041 ^{NS}	1,856 ^{NS}	7,748 ^{**}			
Foliar vs Semente	0,102 ^{NS}	3,319 ^{NS}	0,124 ^{NS}	1,043 ^{NS}	1,456 ^{NS}	2,346 ^{NS}	0,074 ^{NS}	1,398 ^{NS}	3,929 ^{NS}	4,152 ^{NS}	18,000 ^{**}			
Solo Incorporado vs Solo Localizado	0,084 ^{NS}	0,063 ^{NS}	1,202 ^{NS}	0,946 ^{NS}	0,216 ^{NS}	3,532 ^{NS}	0,617 ^{NS}	0,000 ^{NS}	0,107 ^{NS}	0,648 ^{NS}	0,000 ^{NS}			
Doses dentro Localizado	0,023 ^{NS}	1,962 ^{NS}	2,534 ^{NS}	0,057 ^{NS}	0,830 ^{NS}	1,750 ^{NS}	0,051 ^{NS}	0,310 ^{NS}	0,760 ^{NS}	0,429 ^{NS}	21,800 ^{**}			
Doses dentro Incorporado	0,186 ^{NS}	0,429 ^{NS}	3,253 ^{NS}	0,864 ^{NS}	1,525 ^{NS}	0,429 ^{NS}	0,429 ^{NS}	0,170 ^{NS}	0,046 ^{NS}	0,200 ^{NS}	46,500 ^{**}			
C.V.%	5,4	9,8	6,9	10,9	13,4	10,7	13,7	9,7	8,3	11,8	4,8			

^{**}, ^{*}, ^{NS} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, pelo teste F.

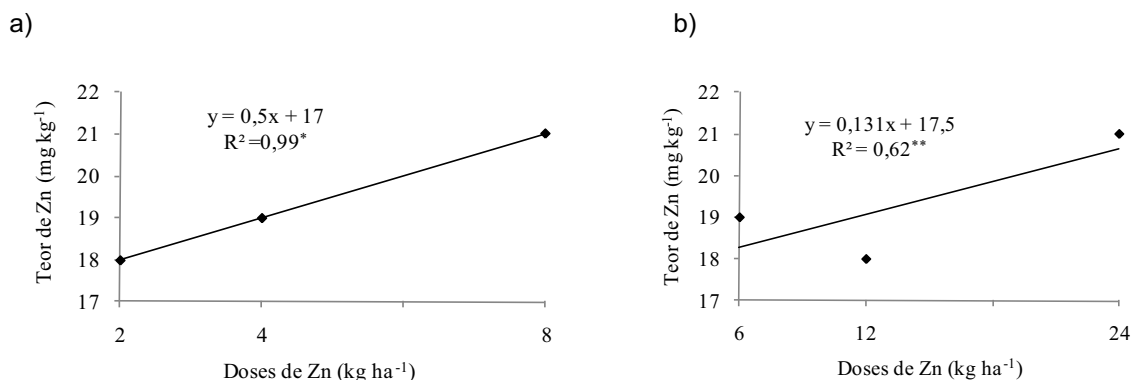


Figura 6. Teores foliares de zinco das plantas de sorgo em função da sua aplicação no solo de forma localizada (a) e incorporada (b). ** e * - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F.

4.4. Efeito dos tratamentos na produção de matéria seca de diferentes órgãos das plantas

a) Cultura do milho

A aplicação de zinco independentemente do modo proporcionou maior produção de matéria seca apenas das folhas quando comparado com a testemunha (Tabela 7).

A confrontação destes resultados com trabalhos de campo da literatura com uso do zinco em milho (GALRÃO, 1994; GALRÃO, 1996; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2007) fica prejudicada, pois nestes trabalhos não foram avaliadas a matéria seca dos órgãos das plantas, apenas a produtividade. Entretanto, existem alguns trabalhos com milho cultivado em condições de vasos (plantas jovens), no qual os autores observaram efeitos benéficos do zinco na produção de matéria seca da parte aérea onde predominam as folhas (FAGERIA, (2000); COUTINHO et al., (2001); LEITE et al., (2003); JAMAMI et al., (2006); PRADO et al., (2008)). Contudo, Leal et al. (2007) estudando os efeitos da aplicação de zinco em sementes de milho, em casa de vegetação, não constataram aumento significativo na produção da massa seca das plantas de milho. Andreotti et al. (2001) em casa de vegetação com aplicação de calcário e zinco, puderam observar que a produção de matéria seca das folhas das plantas de milho não foram afetadas por este micronutriente nos dois cultivos realizados.

Já quando se comparou a aplicação no solo com a aplicação na planta (semente e foliar), constatou-se que o Zn adicionado ao solo promoveu maior matéria seca do sabugo e dos grãos (Tabela 7). Porém, no contraste que estuda a aplicação de zinco via foliar e em semente, verificou-se que esta última proporcionou maior matéria seca de grãos. Romualdo (2008), estudando as formas de aplicação de zinco na cv. de milho P30 K75, em casa de vegetação, verificou que as aplicações de zinco nas sementes proporcionaram maior incremento da massa seca das plantas de milho, comparada às aplicações foliares. No mesmo sentido, Prado et al. (2007), estudando a aplicação de Zn em sementes de milho em casa de vegetação, observaram aumento na produção de matéria seca das plantas de milho cv. Fort. Contudo, Rosolem e Franco (2000), em experimento com translocação de zinco em milho cultivado em solução nutritiva, não observaram diferenças na produção de matéria seca das folhas das plantas de milho que receberam aplicação de zinco foliar.

Quando se estudou a aplicação de forma localizada com a incorporada, constatou-se que o Zn aplicado de maneira localizada ao solo promoveu maior matéria seca de folha, colmo e sabugo, quando comparado à aplicação do micronutriente incorporado.

No entanto, quando estudadas doses dentro do tratamento incorporado e localizado do micronutriente, não foram observadas diferenças entre elas.

Tabela 7. Resumo da análise de variância referente à matéria seca da folha, colmo, palha, sabugo e grãos, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	Matéria Seca				
	Folha	Colmo	Palha	Sabugo	Grãos
			kg ha ⁻¹		
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	1865	5203	500	690	1625
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	1979	5532	564	672	1662
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	1743	5467	523	667	1660
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	1397	3532	521	523	1614
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	1660	3928	425	629	1508
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	1332	4097	528	688	1669
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	1675	4226	407	478	1337
Semente, 40 g kg ⁻¹	1386	4322	522	574	1631
Testemunha	1074	4581	490	612	1529
			Teste F		
Testemunha vs Demais	11,211 ^{**}	0,019 ^{NS}	0,037 ^{NS}	0,009 ^{NS}	1,575 ^{NS}
Solo vs (Foliar + Semente)	0,285 ^{NS}	2,303 ^{NS}	1,728 ^{NS}	18,219 ^{**}	17,296 ^{**}
Foliar vs Semente	2,081 ^{NS}	0,057 ^{NS}	3,698 ^{NS}	3,971 ^{NS}	25,689 ^{**}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	4,985 [~]	44,403 ^{**}	1,206 ^{NS}	5,170 [~]	2,155 ^{NS}
Doses dentro Localizado	0,673 ^{NS}	0,279 ^{NS}	0,821 ^{NS}	0,295 ^{NS}	2,383 ^{NS}
Doses dentro Incorporado	3,165 ^{NS}	2,425 ^{NS}	1,866 ^{NS}	3,380 ^{NS}	1,195 ^{NS}
C.V.%	18,0	12,5	16,9	11,0	5,4

^{**}, [~] e ^{NS} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, pelo teste F.

b) Cultura do sorgo

Observando-se o primeiro contraste (Testemunha vs demais tratamentos) (Tabela 8), verificou-se que a aplicação de zinco independentemente do modo, promoveu maior matéria seca das folhas de sorgo comparado à testemunha. Entretanto, Yagi et al. (2006) em casa de vegetação, verificaram que a aplicação de zinco nas sementes de sorgo não afetou o acúmulo de matéria seca da parte aérea. Do mesmo modo Orioli Júnior et al. (2008), estudando os modos de aplicação de Zn na cultura do trigo, em casa de vegetação, verificaram que os modos de aplicação Zn não afetaram a massa seca da parte aérea. Consolini e Coutinho (2004), em estudo com efeito da aplicação de zinco em vasos, puderam verificar que a aplicação de zinco não proporcionou efeitos na matéria seca das plantas de milho cultivadas em LATOSSOLO. Contudo, Coutinho et al. (2007) em experimento com crescimento de milho em função de doses de zinco (em vasos), observaram aumento da massa seca da parte aérea das plantas com aumento das doses de zinco no solo.

Já quando se compara a adição ao solo com a adição na planta, verifica-se que a aplicação de Zn no solo fez com que houvesse elevação da matéria seca

das folhas. Contudo, Romualdo (2008) observou que a aplicação de Zn via foliar e semente proporcionou maior massa, comparada ao tratamento em que o zinco foi aplicado no solo (incorporado e localizado). Correia et al. (2008), estudando as formas de aplicação de Zn na cultura do arroz, em casa de vegetação, verificaram que a aplicação de Zn via foliar proporcionou maior produção de matéria seca no primeiro cultivo. Entretanto, no segundo cultivo o tratamento que obteve maior produção de matéria seca foi à aplicação de zinco no solo incorporado.

Logo, quando se testou o tratamento de zinco via foliar com o tratamento via sementes, observou-se que a aplicação em sementes proporcionou maior matéria seca das folhas de sorgo comparado ao Zn adicionado nas folhas.

Comparando-se a aplicação deste micronutriente no solo, constatou-se que o Zn aplicado de maneira incorporada promoveu aumento da matéria seca das folhas, do que o tratamento localizado.

A aplicação de zinco resultou em diferenças entre as doses do zinco aplicadas de forma localizada. Notou-se que este efeito do zinco aplicado de forma localizada promoveu incremento com ajuste quadrático ($P < 0,01$) (Figura 7) na matéria seca das folhas, e o ponto de máximo foi de $5,3 \text{ kg ha}^{-1}$.

Para a aplicação de zinco no solo de forma incorporada, observou-se diferenças entre as doses do zinco. Notou-se que o efeito do zinco aplicado de forma incorporada promoveu incremento com ajuste quadrático ($P < 0,05$) (Figura 8) na matéria seca dos grãos, e a dose de $13,2 \text{ kg ha}^{-1}$ proporcionou o maior valor para a matéria seca.

Tabela 8. Resumo da análise de variância referente à matéria seca das plantas de sorgo, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	Folha	Colmo	Grãos
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	2310	2324	1458
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	3373	3094	1675
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	2742	2890	1489
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	2987	3077	1570
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	3070	3911	1777
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	3072	3189	1296
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	2267	2931	1404
Semente, 40 g kg ⁻¹	2889	3202	1612
Testemunha	1879	3036	1498
	Teste F		
Testemunha vs Demais	21,617 ^{**}	0,017 ^{NS}	0,148 ^{NS}
Solo vs (Foliar + Semente)	4,308 [*]	0,004 ^{NS}	0,245 ^{NS}
Foliar vs Semente	5,305 [*]	0,419 ^{NS}	2,703 ^{NS}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	3,304 ^{NS}	6,643 [*]	0,009 ^{NS}
Doses dentro Localizado	12,716 ^{**}	2,033 ^{NS}	2,989 ^{NS}
Doses dentro Incorporado	0,066 ^{NS}	2,995 ^{NS}	5,863 [*]
C.V.%	14,0	19,2	11,7

^{**}, ^{*} e ^{NS} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, pelo teste F.

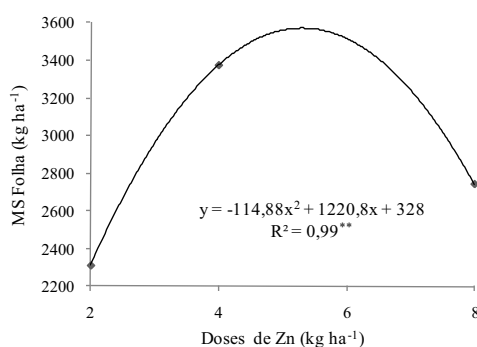


Figura 7. Matéria seca das folhas de sorgo em função da aplicação de zinco no solo de forma localizada. ^{**} - Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

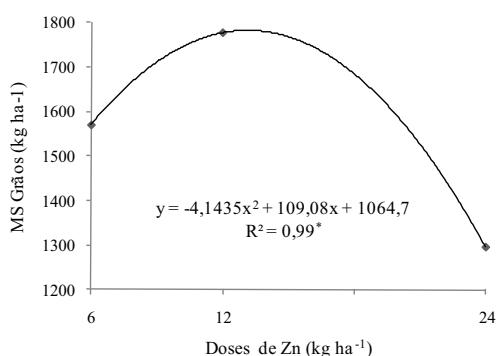


Figura 8. Matéria seca dos grãos de sorgo em função da aplicação de zinco no solo de forma incorporada no solo. ^{*} - Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

4.5. Efeito dos tratamentos no teor de Zn em diferentes órgãos das plantas

a) Cultura do milho

As plantas de milho foram divididas em folha, colmo, palha, sabugo e grãos, para determinação do teor de zinco. O teor de Zn nos grãos será discutido no item 4.8 (Efeito dos tratamentos nos teores de nutrientes dos grãos).

Observando o primeiro contraste Testemunha vs demais tratamentos, pôde-se observar que para todos os órgãos da planta a aplicação de zinco promoveu maior teor comparado à testemunha, excetuando-se a folha (Tabela 9). Consolini e Coutinho (2004), em estudo com efeito da aplicação de zinco em vasos, puderam verificar que os teores de zinco da parte aérea das plantas aumentaram em função da aplicação de Zn no solo.

A aplicação na planta (foliar e semente) proporcionou maior teor de Zn apenas na folha. Nos outros órgãos, a aplicação no solo promoveu maior teor deste micronutriente. Gonçalves Jr. et al. (2006), em estudo com disponibilidade de zinco para plantas de milho (em campo), observaram que os teores de Zn nas folhas do milho aumentaram com as doses de Zn aplicadas no solo, concordando com outros trabalhos com milho cultivado em vasos (LEITE et al., 2003) e na parte aérea (COUTINHO et al., 2001), que observaram que a aplicação de Zn incrementou o teor de zinco nas folhas.

Já quando se compara a aplicação na planta, pôde-se verificar que a aplicação foliar proporcionou maiores teores de Zn na folha e na palha da espiga, comparado com a aplicação em sementes. Notou-se que a aplicação de Zn nas sementes não foi efetivo para aumentar o teor deste nutriente nas folhas das plantas de milho. Entretanto, Prado et al. (2007), estudando a aplicação de Zn em sementes de milho em casa de vegetação, observaram que as doses de Zn elevaram o teor do nutriente na parte aérea das plantas. Essa diferença se deve possivelmente ao fato de que a aplicação em sementes é efetiva apenas para aumentar o teor foliar na fase inicial da cultura, e, no presente trabalho avaliou-se a fase final do ciclo da cultura. Neste sentido, Rosolem e Franco (2000), em experimento com milho cultivado em solução nutritiva, observaram maior teor de

Zn na parte aérea das plantas que receberam aplicação de zinco foliar comparado àquelas que não receberam a aplicação.

Observando o contraste que compara a aplicação no solo de forma localizada com incorporada, constatou-se que só não ocorreu diferença para os grãos, sendo que o zinco aplicado de modo incorporado elevou os teores nos órgãos das plantas de milho.

Notou-se que o efeito do zinco aplicado de forma localizada promoveu incremento com ajuste linear ($P < 0,01$) (Figura 9) no teor de Zn da palha da espiga das plantas de milho.

Contudo, entre as doses de zinco aplicadas de forma incorporada, notou-se incremento, com ajuste linear, ($P < 0,01$) para o colmo (Figura 10a) e a palha da espiga (Figura 10b).

Tabela 9. Resumo da análise de variância referente ao teor de zinco nos órgãos das plantas de milho, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	Folha	Colmo	Palha	Sabugo
	mg kg ⁻¹			
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	7	7	7	15
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	7	8	9	14
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	7	9	13	15
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	8	9	17	19
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	8	11	16	21
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	10	14	28	20
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	17	7	15	12
Semente, 40 g kg ⁻¹	7	8	9	11
Testemunha	8	6	7	12
	Teste F			
Testemunha vs Demais	2,245 ^{NS}	11,526 ^{**}	42,672 ^{**}	20,214 ^{**}
Solo vs (Foliar + Semente)	89,502 ^{**}	10,092 ^{**}	8,525 ^{**}	72,947 ^{**}
Foliar vs Semente	162,841 ^{**}	0,877 ^{NS}	14,387 ^{**}	1,183 ^{NS}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	12,364 ^{**}	25,017 ^{**}	136,407 ^{**}	58,701 ^{**}
Doses dentro Localizado	0,250 ^{NS}	3,212 ^{NS}	37,390 ^{**}	0,568 ^{NS}
Doses dentro Incorporado	2,753 ^{NS}	9,783 ^{**}	22,692 ^{**}	0,447 ^{NS}
C.V.%	13,4	17,4	16,7	10,5

^{**} e ^{NS} - Significativo a 1% de probabilidade e não-significativo, pelo teste F.

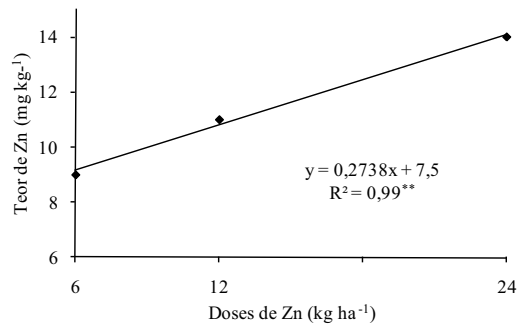
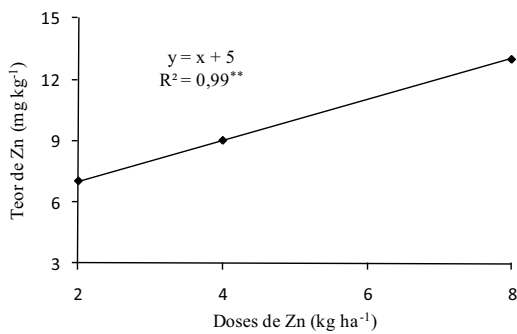


Figura 9. Teor de zinco do colmo do milho em função da sua aplicação no solo de forma incorporada. ** - Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

a)



b)

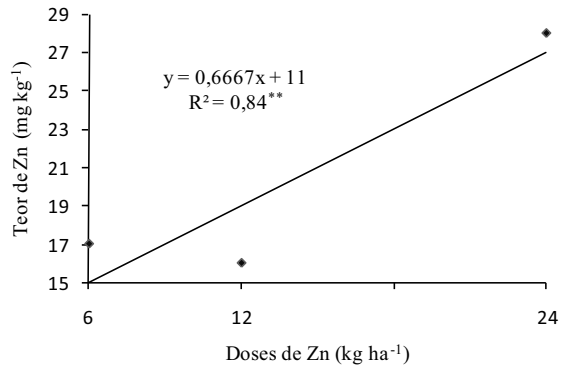


Figura 10. Teor de zinco palha da espiga de milho em função da sua aplicação no solo de forma localizada (a) e incorporada (b). ** - Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

b) Cultura do sorgo

As plantas de sorgo foram divididas em folha, colmo e grãos, para determinação do teor de zinco. O teor de Zn nos grãos será discutido no item 4.8 (Efeito dos tratamentos nos teores de nutrientes dos grãos).

Verificando o primeiro contraste (Tabela 10), pôde-se observar que a aplicação de zinco promoveu maior teor comparado à testemunha, para a folha.

Contudo, no contraste que compara a aplicação no solo com a aplicação na planta, não foram observadas diferenças do teor de Zn em nenhuma parte das plantas de sorgo.

Já quando se compara a aplicação na planta, pôde-se verificar que a aplicação de forma foliar fez com que houvesse maiores teor de Zn na folha e no colmo, comparado com a aplicação em sementes. Assim como Orioli Jr. et al. (2008), em estudo com modos de aplicação de zinco em trigo em vasos, constataram que o maior teor de Zn na parte aérea das plantas foi proporcionado pela aplicação foliar de zinco, corroborando Correia et al. (2008), em experimento com modos de aplicação de Zn em arroz (em vasos), verificaram que o maior teor deste elemento na parte aérea das plantas foi promovido pela aplicação de Zn via foliar.

Observando o contraste que compara a aplicação no solo de forma localizada com incorporada, constata-se que o zinco aplicado de modo incorporado elevou os teores nos órgãos das plantas de sorgo.

A aplicação de zinco demonstrou diferenças entre as doses do zinco aplicadas de forma localizada. Notou-se que este efeito do zinco aplicado desta forma promoveu incremento com ajuste linear ($P < 0,01$) (Figura 11a) no teor de Zn da folha e incremento com ajuste quadrático ($P < 0,05$) (Figura 11b) no teor de Zn do colmo das plantas de sorgo, sendo que a dose de $5,7 \text{ kg ha}^{-1}$ foi a que proporcionou maior teor.

Entretanto, entre as doses do zinco aplicadas de modo incorporado, notou-se que o zinco aplicado deste modo, promoveu incremento com ajuste linear ($P < 0,01$) para a folha (Figura 12).

Tabela 10. Resumo da análise de variância referente ao teor de zinco nos órgãos das plantas de sorgo, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	Folha	Colmo
	mg kg ⁻¹	
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	15	9
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	18	13
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	19	12
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	20	15
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	22	15
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	28	20
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	24	15
Semente, 40 g kg ⁻¹	14	11
Testemunha	13	13
	Teste F	
Testemunha vs Demais	47,147 ^{**}	0,833 ^{NS}
Solo vs (Foliar + Semente)	2,679 ^{NS}	0,625 ^{NS}
Foliar vs Semente	60,036 ^{**}	5,419 [*]
Solo Incorporado vs Solo Localizado	66,964 ^{**}	26,406 ^{**}
Doses dentro Localizado	9,404 ^{**}	6,169 [*]
Doses dentro Incorporado	40,429 ^{**}	2,208 ^{NS}
C.V.%	9,7	18,9

^{**}, e ^{NS} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, pelo teste F.

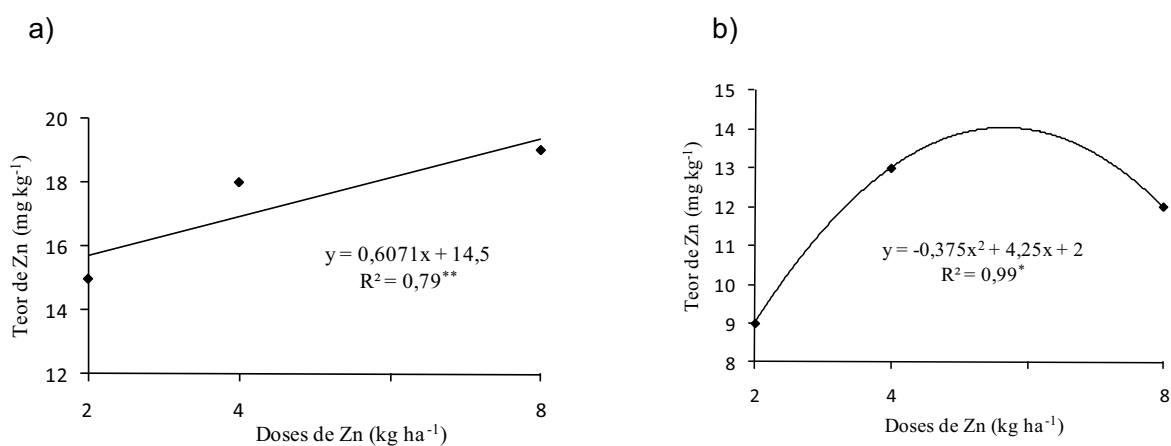


Figura 11. Teor de zinco da folha (a) e do colmo (b) de sorgo em função da sua aplicação no solo de forma localizada. ^{**} e ^{*} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F.

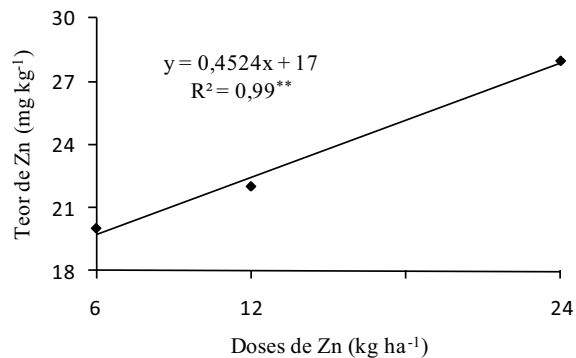


Figura 12. Teor de zinco da folha de sorgo em função da sua aplicação no solo de forma incorporada. ** - Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

4.6. Efeito dos tratamentos no acúmulo de zinco em diferentes órgãos das plantas

a) *Cultura do milho*

Observando o contraste Testemunha vs demais tratamentos, pôde-se observar que para todos os órgãos da planta a aplicação de zinco promoveu maior acúmulo comparado à testemunha (Tabela 11). Entretanto, Prado et al. (2008), estudando os modos de aplicação de Zn em milho cv. BRS 1001 (em casa de vegetação), verificaram que os tratamentos diferenciaram significativamente da testemunha, com exceção dos tratamentos localizado e na semente, no acúmulo de Zn na parte aérea.

Contudo, no contraste que compara a aplicação no solo com a aplicação na planta, observou-se que ocorreu diferença para todos os órgãos. A aplicação na planta (foliar e semente) proporcionou maior acúmulo de Zn apenas na folha, entretanto, nos outros órgãos a aplicação no solo promoveu maior acúmulo deste micronutriente.

Já quando se compara a aplicação na planta, pôde-se verificar que a aplicação foliar proporcionou maiores acúmulo de Zn na folha e a aplicação via sementes promoveu maior acúmulo de zinco nos grãos, comparado com a aplicação foliar.

Observando o contraste que compara a aplicação no solo de forma localizada com incorporada, constata-se diferença significativa somente para a

palha da espiga, sabugo e parte aérea das plantas de milho. Verifica-se que a aplicação de zinco de forma incorporada ao solo, proporcionou maior acúmulo do micronutriente.

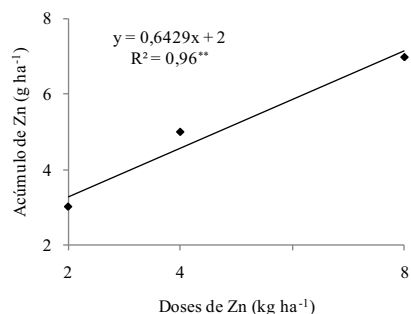
Notou-se que o efeito do zinco aplicado de forma localizada promoveu incremento com ajuste linear ($P < 0,01$) no teor de Zn da palha da espiga (Fig. 13a) e na parte aérea (Fig. 13b) das plantas de milho. Contudo, entre as doses do zinco aplicadas de forma incorporada, notou-se que o zinco aplicado deste modo, promoveu incremento com ajuste linear ($P < 0,05$) para o colmo (Fig. 14a), palha da espiga ($P < 0,01$) (Fig. 14b) e parte aérea (Fig. 14c). Leite et al. (2009), em estudo com nível crítico de Zn em milho em vasos, relataram que o conteúdo de zinco acumulado na folha aumentou em correspondência ao incremento das doses aplicadas. Assim, Coutinho et al. (2001), observaram que a aplicação de zinco promoveu incrementos no zinco acumulado na parte aérea do milho doce.

Tabela 11. Resumo da análise de variância referente ao acúmulo de Zn nos órgãos das plantas de milho, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	Folha	Colmo	Palha	Sabugo	Grão	Parte Aérea
	g ha ⁻¹					
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	13	34	3	10	41	101
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	14	44	5	9	39	111
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	11	50	7	10	43	121
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	10	30	9	10	42	101
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	13	44	7	13	38	115
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	14	55	15	14	47	145
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	30	30	6	6	32	104
Semente, 40 g kg ⁻¹	10	34	5	6	40	95
Testemunha	9	29	3	7	31	70
	Teste F					
Testemunha vs Demais	10,484 ^{**}	7,372 ^{**}	22,453 ^{**}	8,333 ^{**}	28,440 ^{**}	50,844 ^{**}
Solo vs (Foliar + Semente)	27,564 ^{**}	10,989 ^{**}	10,778 ^{**}	51,391 ^{**}	19,832 ^{**}	19,899 ^{**}
Foliar vs Semente	66,643 ^{**}	0,573 ^{NS}	2,021 ^{NS}	0,044 ^{NS}	9,651 ^{**}	1,824 ^{NS}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	0,004 ^{NS}	0,001 ^{NS}	67,360 ^{**}	11,381 ^{**}	1,033 ^{NS}	5,580 [*]
Doses dentro Localizado	1,800 ^{NS}	4,637 ^{NS}	30,176 ^{**}	0,636 ^{NS}	0,951 ^{NS}	14,993 ^{**}
Doses dentro Incorporado	0,880 ^{NS}	6,125 [*]	15,324 ^{**}	2,296 ^{NS}	3,463 ^{NS}	22,186 ^{**}
C.V.%	24,9	20,4	22,7	17,7	8,7	8,1

^{**}, ^{*} e ^{NS} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, pelo teste F.

a)



b)

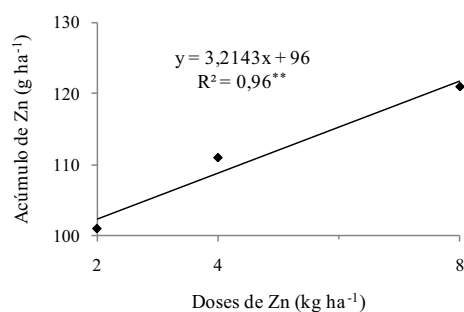
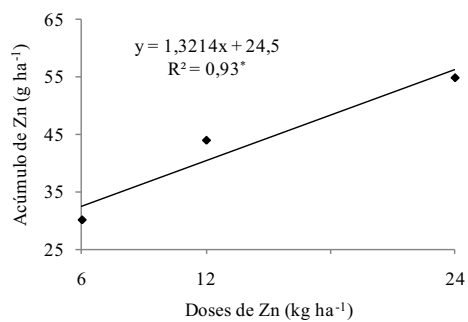
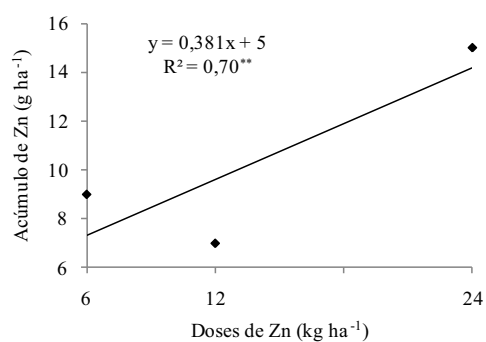


Figura 13. Acúmulo de zinco na palha da espiga (a) e na parte aérea (b) do milho em função da sua aplicação no solo de forma localizada. ** - Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

a)



b)



c)

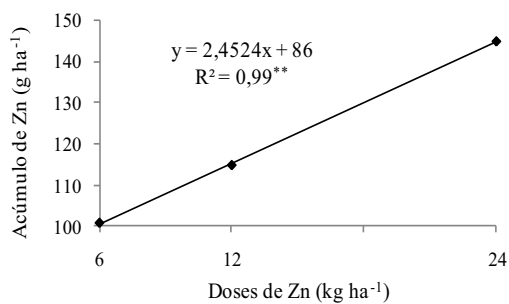


Figura 14. Acúmulo de zinco no colmo (a), na palha da espiga (b) e na parte aérea (c) das plantas de milho em função da sua aplicação no solo de forma incorporada. ** - Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

b) Cultura do sorgo

Observando o contraste Testemunha vs demais tratamentos, pôde-se observar que somente na folha e na parte aérea a aplicação de zinco promoveu maior acúmulo comparado à testemunha (Tabela 12). Contudo, Prado et al. (2008), estudando os modos de aplicação de Zn em milho cv. BRS 1001, em casa de vegetação, verificaram que os tratamentos diferenciaram significativamente da testemunha, com exceção dos tratamentos localizado e na semente, no acúmulo de Zn na parte aérea.

No contraste que compara a aplicação no solo com a aplicação na planta, observou-se que a aplicação no solo proporcionou maior acúmulo de Zn apenas na folha e na parte aérea.

Já quando se compara a aplicação na planta, pôde-se verificar que a aplicação foliar proporcionou maiores acúmulo de Zn na folha, comparado com a aplicação via sementes.

Observando o contraste que compara a aplicação no solo de forma localizada com incorporada, constata-se que tanto para a folha, colmo e parte aérea das plantas de sorgo, a aplicação de zinco de forma incorporada ao solo, proporcionou maior acúmulo do micronutriente.

Notou-se que o efeito do zinco aplicado de forma localizada promoveu incremento com ajuste quadrático no acúmulo de Zn na folha ($P < 0,01$) (Fig. 15a), no colmo ($P < 0,05$) (Fig. 15b) e na parte aérea ($P < 0,01$) (Fig. 15c) das plantas de sorgo, e as doses de 5,4; 5,8 e 5,5 kg ha^{-1} , respectivamente, foram as que proporcionaram maior acúmulo. Contudo, entre as doses do zinco aplicadas de forma incorporada, notou-se que o zinco aplicado deste modo, promoveu incremento com ajuste linear no acúmulo de Zn na folha ($P < 0,01$) (Fig. 16a), no colmo ($P < 0,05$) (Fig. 16b) e na parte aérea ($P < 0,05$) (Fig. 16c) das plantas de sorgo. Coutinho et al. (2001), observaram que a aplicação de zinco promoveu incrementos no zinco acumulado na parte aérea do milho doce.

Tabela 12. Resumo da análise de variância referente ao acúmulo de Zn nos órgãos das plantas de sorgo, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	Folha	Colmo	g ha ⁻¹	
			Grãos	Parte Aérea
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	34	20	54	108
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	62	39	61	162
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	49	36	54	139
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	61	45	55	161
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	68	57	70	195
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	87	65	52	204
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	55	45	53	153
Semente, 40 g kg ⁻¹	41	36	56	133
Testemunha	25	38	48	111
Teste F				
Testemunha vs Demais	38,341 ^{**}	0,688 ^{NS}	3,840 ^{NS}	16,740 ^{**}
Solo vs (Foliar + Semente)	9,623 ^{**}	0,651 ^{NS}	0,899 ^{NS}	4,711 [*]
Foliar vs Semente	4,525 [*]	1,263 ^{NS}	0,420 ^{NS}	1,827 ^{NS}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	36,931 ^{**}	28,515 ^{**}	0,678 ^{NS}	35,058 ^{**}
Doses dentro Localizado	15,940 ^{**}	5,538 [*]	0,962 ^{NS}	19,307 ^{**}
Doses dentro Incorporado	8,918 ^{**}	4,865 [*]	3,224 ^{NS}	8,914 [*]
C.V.%	18,1	26,0	14,7	13,8

^{**}, ^{*} e ^{NS} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, pelo teste F.

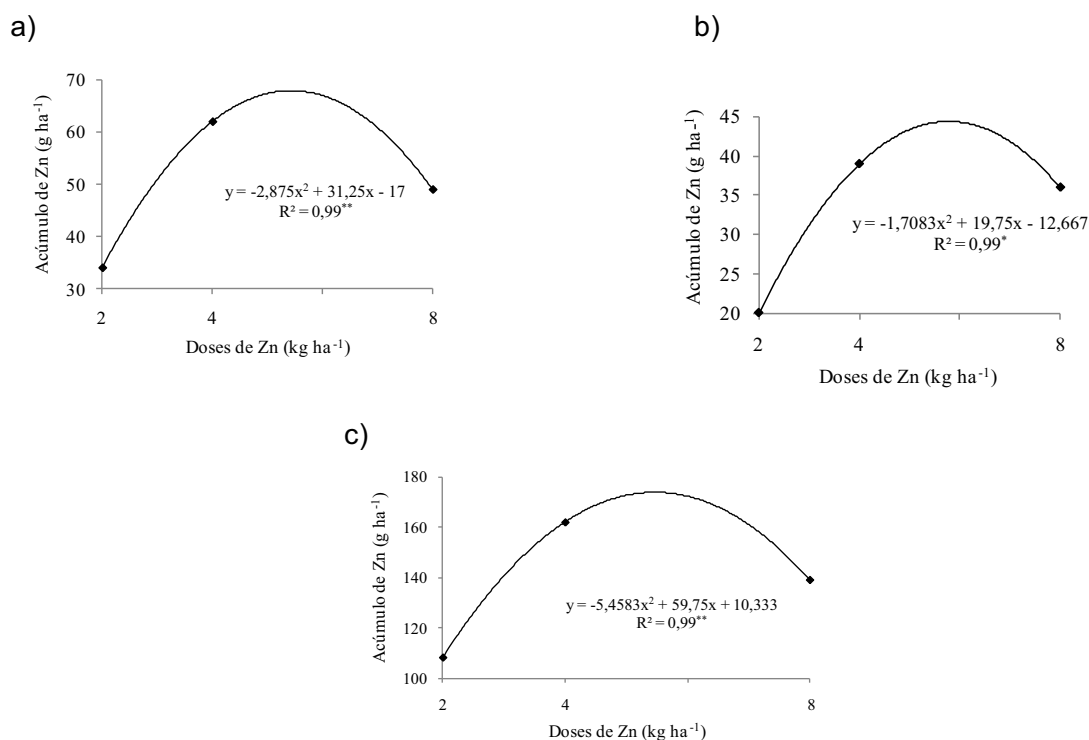


Figura 15. Acúmulo de zinco na folha (a), no colmo (b) e na parte aérea (c) das plantas de sorgo em função da sua aplicação no solo de forma localizada. ^{**} e ^{*} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F.

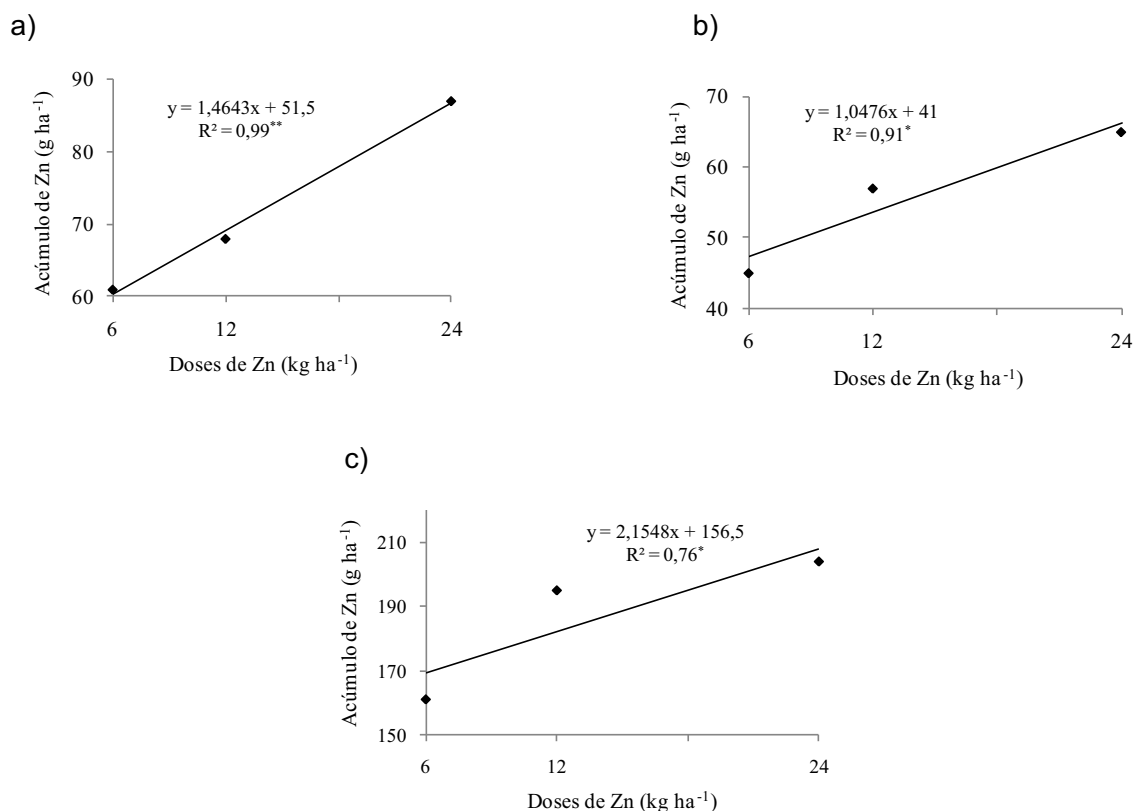


Figura 16. Acúmulo de zinco na folha (a), no colmo (b) e na parte aérea (c) das plantas de sorgo em função da sua aplicação no solo de forma incorporada. ^{**} e ^{*} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F.

4.7. Efeito dos tratamentos nos componentes de produção e na produtividade das culturas

a) Cultura do milho

Quanto aos grãos da cultura do milho, pôde-se observar na Tabela 13 que não houve diferenças entre os tratamentos para o número de grãos por espiga e a massa de 1000 grãos, corroborando Galvão (1994) em experimento com métodos de correção da deficiência de Zn em milho, em condições de campo, que observou que o número de grãos por espiga não apresentou variações significativas entre os tratamentos (aplicação de Zn no solo, semente e folhas). Decaro et al., em experimento com doses (5, 10 e 15 kg ha⁻¹) e fontes de Zn na cultura do milho, não observaram diferenças quanto ao peso de 100 sementes. Ferreira et al. (2001) em experimento em campo com características do milho adubado com zinco, relataram que o peso de mil grãos não foi influenciado pela

aplicação de Zn. Assim como Ávila et al. (2006) em estudo com aplicação de micronutrientes nas sementes do milho em um ARGISSOLO, observaram que o tratamento das sementes não afetou o número de sementes por espiga.

Quanto à produtividade das plantas de milho observou-se que não houve diferenças quando testou-se a aplicação de Zn e a testemunha (Tabela 13) corroborando Jamami et al. (2006) em estudo com aplicação de zinco na cultura do milho, que verificaram que a aplicação deste micronutriente no solo não aumentou a produção. Da mesma forma, Korndörfer (1995), que testou formas de adição de Zn a um formulado NPK sobre a produção de milho, observou que não houve efeito sobre a produção de grãos de milho, independentemente da dose ou da fonte empregada. Entretanto, Galvão (1994) em experimento com métodos aplicação de Zn em milho, em condições de campo, observou que em relação à produtividade todos os tratamentos (aplicação no solo, na semente e na folha) com exceção do que recebeu $0,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn no sulco, responderam significativamente à aplicação de zinco. No mesmo sentido, Decaro et al. (1983) em experimento com doses (5 até 15 kg ha^{-1}) de Zn na cultura do milho, observaram aumentos significativos na produção de grãos.

Quando se compara a aplicação no solo com a aplicação na planta (foliar e semente), verifica-se que a aplicação de zinco no solo promoveu maior produtividade de milho. Porém, Igue et al. (1962), estudando a influência de Zn na produção do milho, em condições de campo, não observaram diferenças na produção quando estudadas a aplicação de Zn no solo e foliar. No entanto, Ávila et al. (2006), em estudo em campo com aplicação de micronutrientes nas sementes do milho em um ARGISSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO de textura argilosa, observaram que o tratamento das sementes não apresentou resultados satisfatórios em aumentar a produtividade de sementes nos cinco híbridos avaliados. Contudo, Potarzycki e Grzebisz (2006) em experimento sobre zinco aplicado via foliar (oxissulfato) em milho num LUVISSOLO em três anos consecutivos, obtiveram resposta da produção com doses de $1,0$ a $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn, com aumento do rendimento de grãos em torno de 18% (média de três anos) em comparação com o tratamento que não recebeu o micronutriente.

O Zn aplicado na forma incorporada no solo proporcionou maior produtividade do milho quando comparado à aplicação localizada. Isto possivelmente se deve ao fato da aplicação incorporada ter recebido maiores doses de zinco, havendo maior disponibilidade deste micronutriente. O solo deste tratamento apresentou maiores teores de zinco no solo e maiores teores foliares, conseqüentemente maior produtividade. Entretanto, Souza et al. (1998) em ensaio com doses de zinco aplicados em sulco de semeadura em milho num LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO (Zn: 0,39 mg dm⁻³), constataram que a adição de Zn promoveu incrementos significativos na produção de grãos de milho e nas concentrações deste micronutriente nas folhas. Porém não houve vantagens em empregar doses superiores a 5 kg ha⁻¹ de Zn. Já Ferreira et al. (2001) em experimento em campo com cultivo de milho adubado com zinco, relataram que não houve aumento de produção com a aplicação de 3 kg ha⁻¹ de Zn no sulco de plantio. Porém, Kanwal et al. (2010) em estudo com doses de zinco aplicadas no solo, verificaram máxima produtividade do híbrido de milho cultivado (FHY-421) quando aplicado 18 kg ha⁻¹ de zinco, enquanto que a variedade utilizada (Golden) atingiu máxima produtividade com 9 kg ha⁻¹ de zinco.

A produtividade da cultura do milho não foi afetada pelos tratamentos, o que já era esperado pelo fato de não ter havido diferença nas variáveis de crescimento (exceto número de folhas aos 30 DAE) (Tabela 3) e na produção de matéria seca (exceto matéria seca de folhas) (Tabela 7), além do que o estado nutricional em zinco da testemunha e dos demais tratamentos (Tabela 5) indicaram teor adequado deste micronutriente.

Embora a produtividade da cultura do milho não apresente diferenças em relação aos tratamentos aplicados, observa-se que a média de produtividade deste experimento (10304 kg ha⁻¹) foi maior que a média da safra brasileira 2009/2010, que foi aproximadamente 3830 kg ha⁻¹.

Tabela 13. Resumo da análise de variância referente à produtividade das plantas de milho, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	Grãos por espiga	Massa de 1000	Produtividade
		grãos	
		g	kg ha ⁻¹
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	474	355,1	10795
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	431	357,8	9681
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	470	376,4	10275
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	460	356,2	11228
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	453	353,3	10113
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	473	350,0	11085
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	443	346,0	9467
Semente, 40 g kg ⁻¹	476	360,7	10126
Testemunha	452	350,7	9965
----- Teste F -----			
Testemunha vs Demais	0,239 ^{NS}	0,352 ^{NS}	0,198 ^{NS}
Solo vs (Foliar + Semente)	0,004 ^{NS}	0,352 ^{NS}	8,193 ^{**}
Foliar vs Semente	2,220 ^{NS}	1,112 ^{NS}	2,205 ^{NS}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	0,082 ^{NS}	1,521 ^{NS}	4,756 [*]
Doses dentro Localizado	1,279 ^{NS}	1,151 ^{NS}	2,426 ^{NS}
Doses dentro Incorporado	0,650 ^{NS}	0,058 ^{NS}	3,368 ^{NS}
C.V.%	6,6	5,5	6,0

^{**}, ^{*} e ^{NS} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, pelo teste F.

b) Cultura do sorgo

Quanto à produtividade das plantas de sorgo observou-se que não houve diferenças quando testou-se a aplicação de Zn com a testemunha (Tabela 14), porém em um estudo na Anatólia Central (Turquia), a combinação de aplicação de zinco no solo e via foliar em trigo maximizou o acúmulo de Zn nos grãos (YILMAZ et al., 1998). Neste sentido, Engler et al. (2006) estudando os modos de aplicação de zinco em arroz de terras altas, constataram que a produtividade do arroz também não foi influenciada pela aplicação e nem pela forma de aplicação de Zn no solo. Gonçalves Júnior et al. (2007) em ensaio com resposta do milho em dois solos (ARGISSOLO e LATOSSOLO), não observaram diferenças para a produtividade, tanto para o LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO como para o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO. Provavelmente isto pode ser atribuído aos teores adequados no solo, para a cultura do milho (2,7 e 2,8 mg dm⁻³, respectivamente, por Mehlich-1).

Cabe salientar que já era esperado não haver diferenças quanto à produtividade do sorgo, pelo fato de não ter havido diferença nas variáveis de crescimento (exceto número de folhas aos 60 DAE) (Tabela 4) e na produção de

matéria seca (exceto matéria seca de folhas) (Tabela 8), além do que o estado nutricional e zinco da testemunha e dos demais tratamentos (Tabela 6) indicaram teores adequados deste micronutriente na cultura.

Tabela 14. Resumo da análise de variância referente à produtividade das plantas de sorgo, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	Produtividade
	kg ha ⁻¹
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	5398
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	6436
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	6305
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	6569
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	5821
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	6001
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	6393
Semente, 40 g kg ⁻¹	5425
Testemunha	5409
	Teste F
Testemunha vs Demais	2,266 ^{NS}
Solo vs (Foliar + Semente)	0,304 ^{NS}
Foliar vs Semente	2,965 ^{NS}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	0,067 ^{NS}
Doses dentro Localizado	18,322 ^{NS}
Doses dentro Incorporado	2,744 ^{NS}
C.V.%	13,3

^{NS} - Não-significativo, pelo teste F.

Embora a produtividade da cultura do sorgo não apresente diferenças em relação aos tratamentos aplicados, observa-se que a média de produtividade deste experimento (5973 kg ha⁻¹) foi maior que a média da safra brasileira 2009/2010, que foi aproximadamente 2385 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010).

4.8. Efeito dos tratamentos nos teores de nutrientes dos grãos

a) Cultura do milho

Quanto ao teor de zinco nos grãos, observou-se que a aplicação de zinco promoveu maior teor de zinco (24 a 28 mg kg⁻¹) comparado à testemunha (19 mg kg⁻¹) (Tabela 15). Galvão (1994) em estudo com a correção de deficiência de Zn em milho observou que os teores deste micronutriente nos grãos variou pouco entre os tratamentos (métodos de aplicação de zinco) como no presente trabalho. Ferreira et al. (2001) relataram que o teor de zinco nos grãos aumentou em 7% devido à sua aplicação no sulco de plantio, enquanto no presente trabalho este

incremento atingiu 32%. Neste sentido, Kanwal et al. (2010) em estudo com doses de zinco aplicadas no solo da cultura do milho, verificaram incremento significativo no teor deste micronutriente nos grãos de milho (21,8 a 30,7 mg kg⁻¹).

Segundo Welch (2002) o aumento da aplicação de Zn no solo aumenta significativamente a sua concentração nas partes de plantas comestíveis de culturas alimentares. Relativamente maior teor de Zn nos grãos de milho é vital para a nutrição humana, ou seja, para a biofortificação de cultivos de alimentos básicos (GRAHAM et al., 1992). No entanto acúmulo de Zn nos grãos ou sementes é um processo complexo e intrincado que compreende uma série de etapas a partir de sua translocação das raízes para a parte aérea e, finalmente, a descarga do floema no desenvolvimento de grãos (WELCH, 1986).

Tabela 15. Resumo da análise de variância referente aos teores de nutrientes dos grãos de milho, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	g kg ⁻¹										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	15,0	3,4	4,9	0,2	1,6	1,1	3	2	24	7	25
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	15,1	3,2	4,6	0,2	1,5	1,1	3	2	23	6	24
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	15,2	3,3	4,9	0,2	1,5	1,1	3	2	27	6	26
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	15,0	3,1	4,6	0,3	1,5	1,1	4	2	22	6	26
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	15,1	3,2	4,8	0,2	1,6	1,2	3	2	23	6	26
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	15,0	3,1	4,6	0,2	1,4	1,1	3	2	24	6	28
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	15,1	3,2	4,8	0,2	1,5	1,1	4	3	26	7	24
Semente, 40 g kg ⁻¹	15,1	3,0	4,2	0,3	1,4	1,1	3	2	27	6	24
Testemunha	14,9	3,1	4,6	0,2	1,5	1,1	4	2	22	6	19
----- Teste F -----											
Testemunha vs Demais	0,513 ^{NS}	0,085 ^{NS}	0,124 ^{NS}	0,035 ^{NS}	0,036 ^{NS}	0,054 ^{NS}	1,284 ^{NS}	0,117 ^{NS}	1,930 ^{NS}	0,767 ^{NS}	21,051 ^{**}
Solo vs (Foliar + Semente)	0,092 ^{NS}	0,906 ^{NS}	1,485 ^{NS}	0,106 ^{NS}	0,583 ^{NS}	0,018 ^{NS}	0,079 ^{NS}	0,352 ^{NS}	3,608 ^{NS}	0,159 ^{NS}	2,767 ^{NS}
Foliar vs Semente	0,000 ^{NS}	0,602 ^{NS}	2,507 ^{NS}	2,859 ^{NS}	1,284 ^{NS}	0,216 ^{NS}	2,122 ^{NS}	0,000 ^{NS}	0,192 ^{NS}	0,306 ^{NS}	0,000 ^{NS}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	0,246 ^{NS}	1,016 ^{NS}	0,548 ^{NS}	0,106 ^{NS}	0,048 ^{NS}	0,288 ^{NS}	0,079 ^{NS}	0,157 ^{NS}	1,299 ^{NS}	0,637 ^{NS}	3,416 ^{NS}
Doses dentro Localizado	0,232 ^{NS}	0,106 ^{NS}	0,396 ^{NS}	0,000 ^{NS}	0,073 ^{NS}	0,000 ^{NS}	0,000 ^{NS}	0,200 ^{NS}	3,972 ^{NS}	0,529 ^{NS}	1,280 ^{NS}
Doses dentro Incorporado	0,056 ^{NS}	0,064 ^{NS}	0,113 ^{NS}	2,739 ^{NS}	0,548 ^{NS}	3,000 ^{NS}	0,724 ^{NS}	1,000 ^{NS}	0,111 ^{NS}	0,130 ^{NS}	0,843 ^{NS}
C.V.%	2,5	11,6	10,1	24,6	12,6	6,9	21,7	21,4	13,2	20,4	8,9

^{**} e ^{NS} - Significativo a 1% de probabilidade e não-significativo, pelo teste F.

b) Cultura do sorgo

Quanto ao teor de nutrientes dos grãos, verificou-se que em todos os contrastes testados não houve diferenças quanto aos teores de macro e micronutrientes avaliados, exceto para o zinco (Tabela 16). Observou-se que a aplicação de zinco promoveu maior teor de zinco (35 a 40 mg kg⁻¹) comparado à testemunha (32 mg kg⁻¹).

Assim como na cultura do milho, observou-se apenas diferenças no primeiro contraste (Tabela 16), no qual pode-se observar que a aplicação de zinco promoveu maior teor de zinco comparado à testemunha. Ozturka et al. (2006), em estudo com aplicação foliar de zinco em trigo, constataram que o maior acúmulo de Zn durante o desenvolvimento dos grãos foi encontrado na fase inicial de formação dos grãos (fase de grãos leitosos), sugerindo que a aplicação foliar de zinco durante a fase final de crescimento do trigo, poderia ser uma forma eficaz de aumentar a concentração de zinco nos grãos.

Tabela 16. Resumo da análise de variância referente aos teores de nutrientes dos grãos de sorgo, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	g kg ⁻¹										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	17,4	5,6	7,1	0,2	3,7	1,2	8	12	141	34	37
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	16,9	5,1	6,5	0,3	3,1	1,2	7	11	137	30	36
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	17,3	5,5	7,1	0,4	3,4	1,2	7	11	144	34	37
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	16,6	5,5	6,6	0,3	3,4	1,2	8	12	147	29	35
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	16,9	5,6	7,1	0,3	3,5	1,2	7	12	150	29	39
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	17,2	5,2	6,4	0,4	3,2	1,2	6	11	126	29	40
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	17,2	4,8	6,0	0,3	3,0	1,1	6	11	142	28	38
Semente, 40 g kg ⁻¹	16,9	5,6	7,1	0,3	3,4	1,2	7	12	163	32	35
Testemunha	17,1	5,2	6,6	0,3	3,3	1,2	7	11	130	30	32
----- Teste F -----											
Testemunha vs Demais	0,014 ^{NS}	0,178 ^{NS}	0,100 ^{NS}	0,025 ^{NS}	0,003 ^{NS}	1,087 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,368 ^{NS}	1,853 ^{NS}	0,082 ^{NS}	5,069 ^{**}
Solo vs (Foliar + Semente)	0,028 ^{NS}	0,620 ^{NS}	0,299 ^{NS}	0,076 ^{NS}	0,525 ^{NS}	1,174 ^{NS}	1,563 ^{NS}	0,000 ^{NS}	2,133 ^{NS}	0,100 ^{NS}	0,461 ^{NS}
Foliar vs Semente	0,712 ^{NS}	2,069 ^{NS}	2,701 ^{NS}	0,229 ^{NS}	1,179 ^{NS}	3,522 ^{NS}	3,000 ^{NS}	0,828 ^{NS}	2,249 ^{NS}	1,569 ^{NS}	0,759 ^{NS}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	1,437 ^{NS}	0,013 ^{NS}	0,310 ^{NS}	0,076 ^{NS}	0,014 ^{NS}	1,174 ^{NS}	1,361 ^{NS}	0,276 ^{NS}	0,003 ^{NS}	3,603 ^{NS}	0,732 ^{NS}
Doses dentro Localizado	0,487 ^{NS}	0,840 ^{NS}	0,541 ^{NS}	2,280 ^{NS}	1,656 ^{NS}	1,800 ^{NS}	2,053 ^{NS}	0,500 ^{NS}	0,214 ^{NS}	1,080 ^{NS}	0,050 ^{NS}
Doses dentro Incorporado	1,151 ^{NS}	0,656 ^{NS}	0,690 ^{NS}	3,857 ^{NS}	0,392 ^{NS}	1,000 ^{NS}	0,704 ^{NS}	0,123 ^{NS}	1,289 ^{NS}	0,026 ^{NS}	2,082 ^{NS}
C.V.%	3,2	13,3	14,8	25,1	15,6	4,8	17,6	10,3	13,4	14,8	11,1

^{**} e ^{NS} - Significativo a 1% de probabilidade e não-significativo, pelo teste F.

4.9. Efeito dos tratamentos no teor de carboidratos dos grãos

a) Cultura do milho

No primeiro contraste testado (Testemunha vs Demais tratamentos) (Tabela 17), pôde-se verificar que não houve diferenças em todas as variáveis analisadas (carboidrato solúvel, amido e carboidrato total).

Não houve diferenças também no contraste que testou a aplicação no solo com a aplicação na planta (Tabela 17), assim como o que comparou a aplicação na planta. Contudo, Mousavi et al. (2007) em estudo com aplicação foliar de sulfato de zinco na cultura da batata verificaram que as maiores doses deste elemento promoveram aumento no teor de amido da batata.

Já no contraste que comparou as aplicações de zinco no solo, a aplicação de forma localizada proporcionou maiores teores de carboidrato solúvel, amido e carboidrato total. Segundo Dechen e Nachtigall (2006) na deficiência de zinco as plantas apresentam baixo conteúdo de amido.

A aplicação de zinco demonstrou diferenças entre as doses do zinco aplicadas no solo. Notou-se que o zinco aplicado de maneira localizada, promoveu decréscimo no teor com ajuste linear ($P < 0,01$) no teor de carboidrato solúvel (Fig. 17a), amido (Fig. 17b) e carboidrato total (Fig. 17c), nos grãos de milho. Já o zinco aplicado de forma incorporada, promoveu incremento com ajuste linear ($P < 0,05$) no teor de carboidrato solúvel (Fig. 18a), amido (Fig. 18b) e carboidrato total (Fig. 18c). Souza et al. (1991), em experimento com a cultura da mandioca, verificaram que a aplicação da dose de 4 kg ha^{-1} de Zn no solo não provocou diferença no conteúdo de amido.

Tabela 17. Resumo da análise de variância referente ao teor de carboidrato solúvel, amido e carboidrato total nos grãos da cultura do milho, em função dos modos de aplicação de zinco.

Tratamentos	Carboidrato Solúvel	Amido	Carboidrato Total
g glicose por 100g amostra			
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	8,20	55,77	63,97
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	8,17	55,88	64,05
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	6,56	49,46	56,02
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	7,78	47,15	54,94
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	7,28	46,97	54,25
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	8,96	50,22	59,18
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	10,38	49,56	59,93
Semente, 40 g kg ⁻¹	5,68	51,55	57,23
Testemunha	8,67	59,74	68,41
----- Teste F -----			
Testemunha vs Demais	0,026 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,000 ^{NS}
Solo vs (Foliar + Semente)	0,440 ^{NS}	0,113 ^{NS}	0,023 ^{NS}
Foliar vs Semente	76,208 ^{NS}	1,208 ^{NS}	2,487 ^{NS}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	1,358 ^{**}	28,378 ^{**}	27,925 ^{**}
Doses dentro Localizado	7,704 [*]	12,816 [*]	21,482 [*]
Doses dentro Incorporado	11,705 ^{**}	8,941 ^{**}	13,202 ^{**}
C.V.%	9,7	5,1	4,1

^{**}, ^{*} e ^{NS} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, pelo teste F.

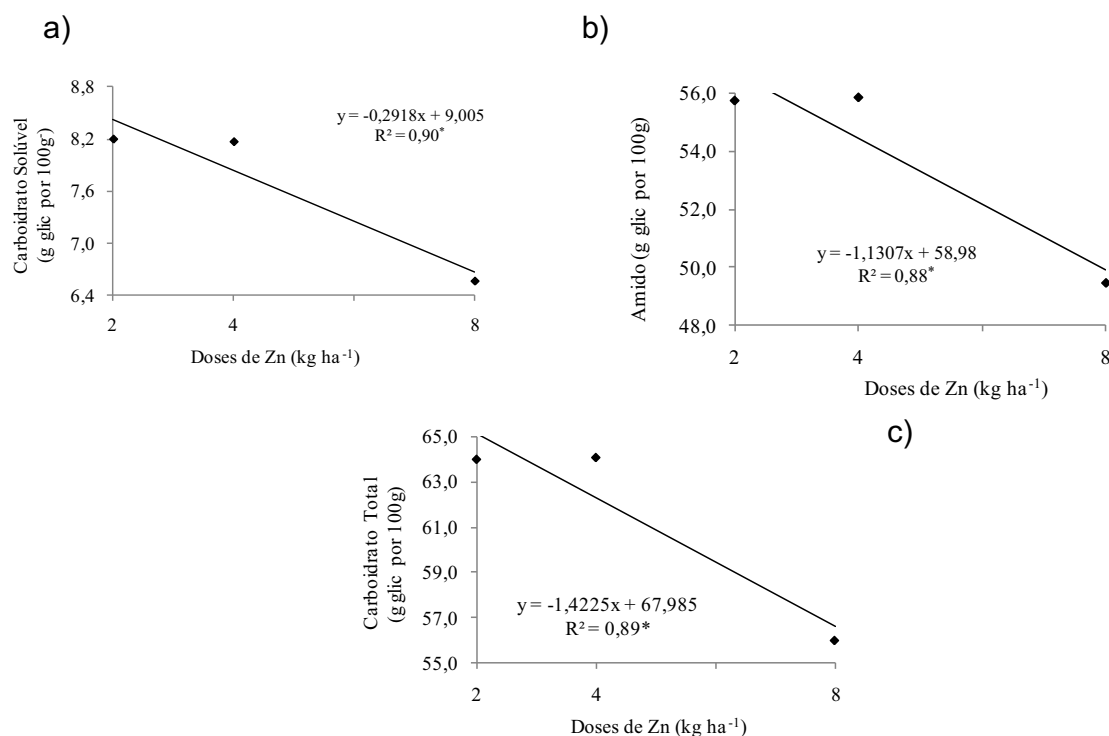


Figura 17. Carboidrato solúvel (a), amido (b) e carboidrato total (c) dos grãos da cultura de milho em função da sua aplicação no solo de forma localizada. * - Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

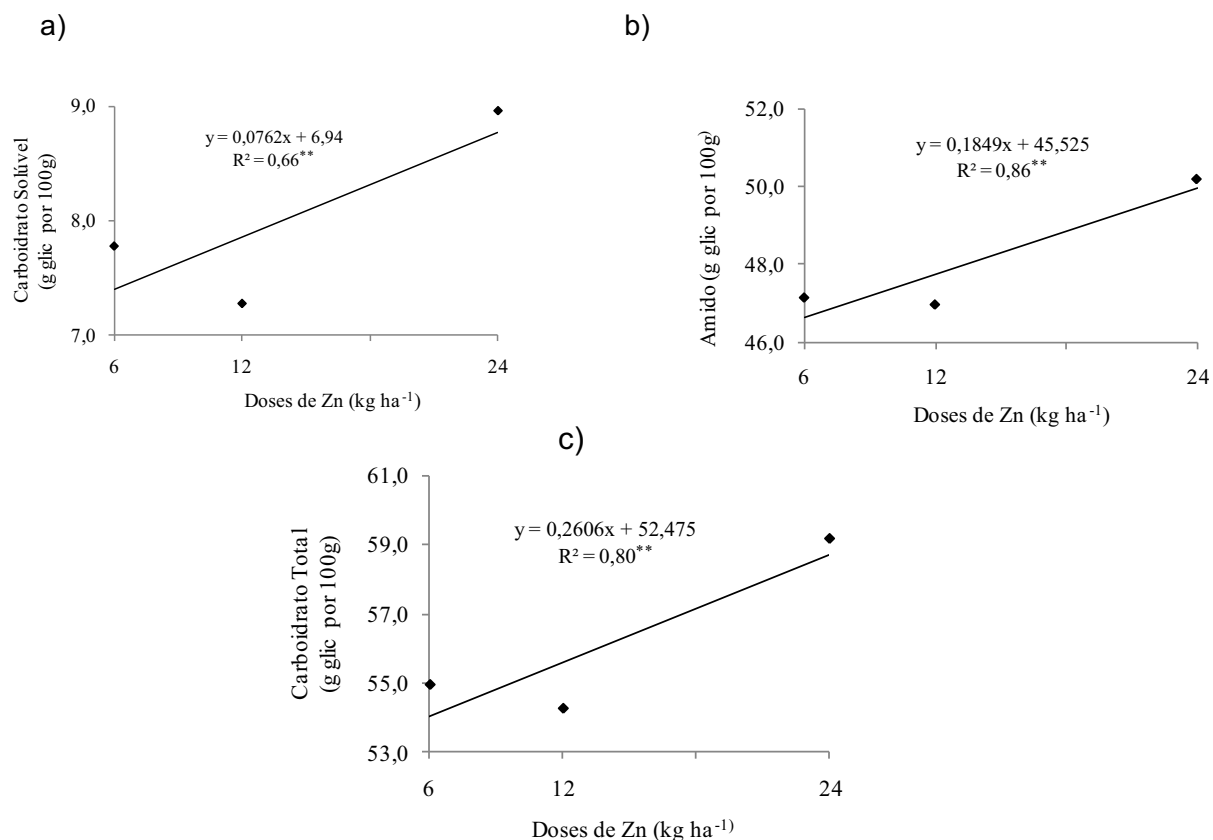


Figura 18. Carboidrato solúvel (a), amido (b) e carboidrato total (c) dos grãos da cultura de milho em função da sua aplicação no solo de forma incorporada. ** - Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

b) Cultura do sorgo

No primeiro contraste testado (Testemunha vs Demais tratamentos) (Tabela 18), pôde-se verificar que houve diferenças somente para os carboidratos solúveis. Estudos indicam o papel do zinco no metabolismo de carboidratos (SHARMA et al., 1990), no qual este elemento pode inibir o transporte de fotoassimilados (SAMARAKOON; RAUSER, 1979). No entanto, pouco se sabe sobre os efeitos do Zn no conteúdo de carboidratos nas plantas (GHNAYA et al., 2010).

No contraste que testou a aplicação no solo com a aplicação na planta, a aplicação no solo promoveu maior teor de carboidrato solúvel nos grãos de milho, enquanto que a aplicação na planta promoveu maior teor de amido e carboidrato total (Tabela 18).

Quando comparado a aplicação de Zn na planta, pôde-se verificar que a aplicação nas folhas proporcionou maior teor de carboidrato solúvel, amido e carboidrato total.

Já no contraste que comparou as aplicações de zinco no solo, a aplicação de forma localizada proporcionou maiores teores de amido e carboidrato total, enquanto que a aplicação incorporada aumentou os teores de carboidrato solúvel.

A aplicação de zinco demonstrou diferenças entre as doses do zinco aplicadas no solo. Notou-se que o zinco aplicado de maneira localizada, promoveu incremento com ajuste quadrático no teor de carboidrato solúvel ($P < 0,05$) (Fig. 19a), amido ($P < 0,01$) (Fig. 19b) e carboidrato total ($P < 0,01$) (Fig. 19c), nos grãos de sorgo, sendo que as doses que proporcionaram maiores teores foram 5,6; 4,1 e 4,3 kg ha⁻¹, respectivamente. Já o zinco aplicado de forma incorporada, promoveu incremento com ajuste linear ($P < 0,01$) no teor de amido (Fig. 20a) e carboidrato total (Fig. 20b). Em várias funções nas plantas, o zinco é integrante de diversos processos, tais como permeabilidade de membranas, absorção iônica, respiração e síntese de amido (MALAVOLTA, 2006).

Tabela 18. Resumo da análise de variância referente ao teor de carboidrato solúvel, amido e carboidrato total nos grãos da cultura do sorgo, em função dos modos de aplicação de zinco.

Tratamentos	Carboidrato solúvel	Amido	Carboidrato total
g glicose por 100g amostra seca			
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	9,13	58,74	67,87
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	11,56	66,39	77,95
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	10,77	41,66	52,43
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	11,74	45,42	57,16
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	11,23	45,32	56,55
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	11,63	48,29	59,92
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	11,37	61,70	73,07
Semente, 40 g kg ⁻¹	9,49	48,17	57,65
Testemunha	10,62	60,02	70,64
----- Teste F -----			
Testemunha vs Demais	3,630 [*]	0,177 ^{NS}	0,869 ^{NS}
Solo vs (Foliar + Semente)	3,736 ^{**}	19,038 ^{**}	10,501 ^{**}
Foliar vs Semente	13,173 ^{**}	73,969 ^{**}	72,718 ^{**}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	12,165 ^{**}	103,681 ^{**}	61,819 ^{**}
Doses dentro Localizado	8,223 [*]	104,171 ^{**}	61,491 ^{**}
Doses dentro Incorporado	0,462 ^{NS}	10,566 [*]	13,824 [*]
C.V.%	6,8	4,3	4,1

^{**}, e ^{NS} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, pelo teste F.

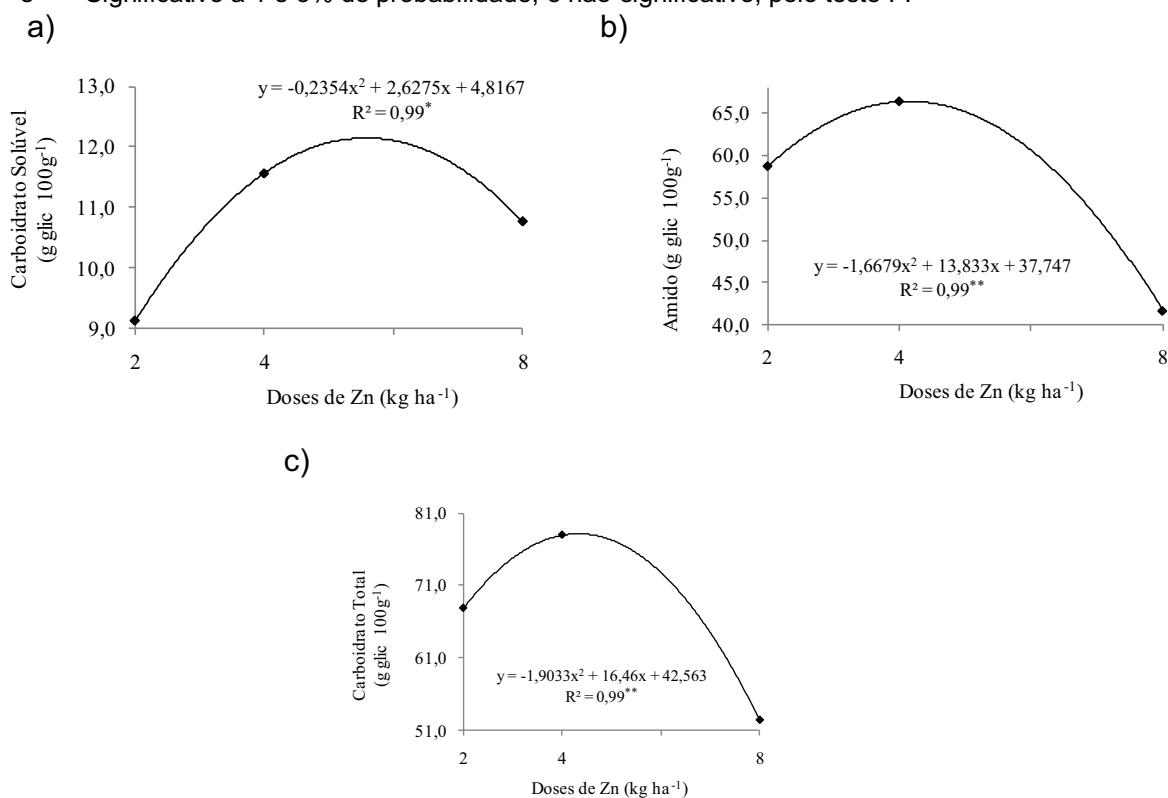


Figura 19. Carboidrato solúvel (a), amido (b) e carboidrato total (c) dos grãos da cultura de sorgo em função da sua aplicação no solo de forma localizada. ^{**} e ^{*} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F.

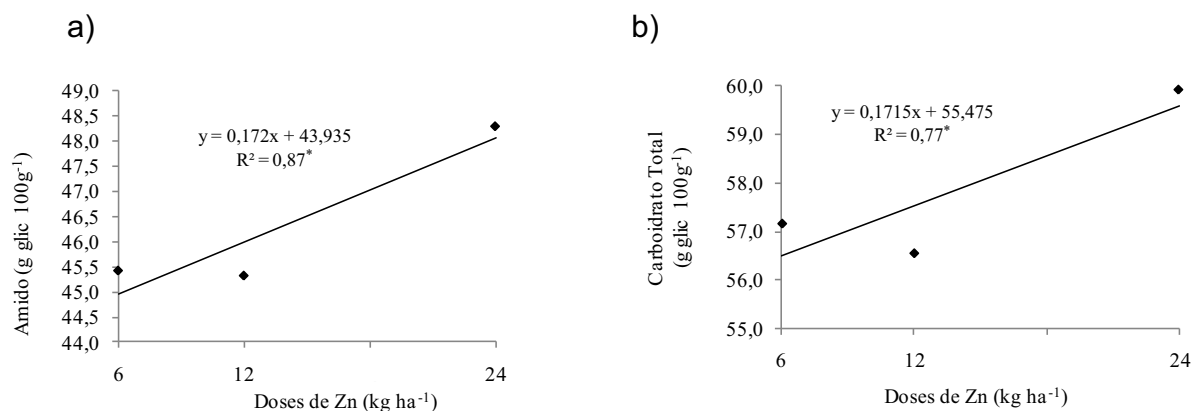


Figura 20. Amido (a) e carboidrato total (b) dos grãos da cultura de sorgo em função da sua aplicação no solo de forma incorporada. * - Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

4.10. Efeito dos tratamentos no teor de proteínas dos grãos

a) Cultura do milho

Observando-se o primeiro contraste (Testemunha vs Demais tratamentos) na Tabela 19, verificou-se que a aplicação de zinco, independentemente do modo, promoveu maior teor de proteína dos grãos de milho comparado à testemunha. O zinco é o micronutriente que mais afeta a síntese de proteínas em plantas (OBATA et al., 1999). Existem mais de 300 enzimas que exigem Zn para a integridade estrutural e função biológica (MARSCHNER, 1995). Segundo Sharma et al. (1982) a taxa de síntese de proteína e o teor de proteínas nas plantas com deficiência de zinco são drasticamente reduzidos. A quantidade de proteína em plantas com deficiência de zinco é muito reduzida, e isto está atribuído à redução do RNA e a deformação e redução dos ribossomos (BROWN et al., 1993).

Quando se comparou a adição ao solo com a adição na planta, verificou-se que não houve diferença.

Logo, quando se testou o tratamento de zinco via foliar com o tratamento via sementes, observou-se que a aplicação foliar proporcionou maior teor de proteínas dos grãos comparado ao Zn adicionado nas sementes.

Comparando-se a aplicação deste micronutriente no solo, constatou-se que o Zn aplicado de maneira localizada promoveu maior aumento do teor de proteínas, do que o tratamento incorporado.

A aplicação de zinco demonstrou diferenças entre as doses do zinco aplicadas de forma incorporada no solo. Notou-se que este efeito do zinco aplicado deste modo, promoveu incremento com ajuste linear no teor de proteína dos grãos de milho ($P < 0,01$) (Fig.21). Cakmak et al. (1989) em ensaio com zinco na nutrição do feijão, em solução nutritiva, observaram que o suprimento de Zn aumentou o teor de proteínas das folhas desta cultura comparado as plantas que não receberam este nutriente. Este incremento do teor de proteína ocorreu pelo fato da aplicação de Zn ter aumentado também a absorção pela planta (Tabela 9), refletindo na síntese de proteína, pelo zinco sintetizar a RNA polimerase e inibir a RNAase, além de fazer parte dos ribossomos (PRADO, 2008).

Tabela 19. Resumo da análise de variância referente ao teor de proteína dos grãos de milho, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	Proteína
	g kg ⁻¹
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	8,69
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	8,45
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	8,69
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	7,71
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	7,95
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	8,53
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	8,37
Semente, 40 g kg ⁻¹	7,92
Testemunha	7,93
	Teste F
Testemunha vs Demais	6,258**
Solo vs (Foliar + Semente)	3,020 ^{NS}
Foliar vs Semente	5,786*
Solo Incorporado vs Solo Localizado	24,405**
Doses dentro Localizado	0,943 ^{NS}
Doses dentro Incorporado	20,638**
C.V.%	3,3

*, e ^{NS} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, pelo teste F.

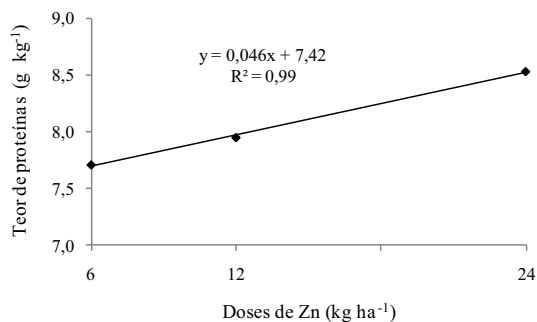


Figura 21. Teor de proteína dos grãos da cultura de milho em função da sua aplicação no solo de forma incorporada. ** - Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

b) Cultura do sorgo

Analisando o primeiro contraste (Testemunha vs Demais tratamentos), verificou-se que em todos os contrastes testados não houve diferenças quanto ao teor de proteína dos grãos de sorgo (Tabela 20), assim como o contraste que comparou a adição de zinco ao solo com a adição na planta. Contudo, a deficiência de Zn provoca o desarranjo na síntese protéica (RNA) e redução de nitrato, promovendo diminuição no nível de RNA, o que resulta em menor síntese de proteínas e dificuldade na divisão celular. Isto é explicado pelo fato de o Zn inibir a RNAase (desintegradora de RNA), e ainda fazer parte da RNA polimerase, que sintetiza RNA (MALAVOLTA, 2006).

Quando se testou o tratamento de zinco via foliar com o tratamento via sementes, observou-se que a aplicação foliar proporcionou maior teor de proteínas dos grãos comparado ao Zn adicionado nas sementes. Mousavi et al. (2007) em estudo com aplicação foliar de sulfato de zinco na cultura da batata verificaram que as maiores doses deste elemento promoveram aumento no teor de proteína desta cultura.

Comparando-se a aplicação deste micronutriente no solo, constatou-se que ele aplicado de maneira localizada promoveu aumento no teor de proteínas, do que o tratamento incorporado.

A aplicação de zinco no solo demonstrou diferenças no teor de proteínas nos grãos. Notou-se que este efeito do zinco aplicado de modo localizado, promoveu incremento com ajuste quadrático no teor de proteína dos grãos ($P < 0,01$) (Fig. 22a), sendo que a dose de $4,8 \text{ kg ha}^{-1}$ foi a que proporcionou maior teor. Já a aplicação incorporada proporcionou ajuste linear ($P < 0,01$) (Fig. 22b). Em condições de deficiência de Zn vários processos metabólicos nas plantas são prejudicados, como o metabolismo de RNA e síntese de proteínas (KITAGISHI; OBATA, 1986). Cakmak et al. (1989) em estudo com efeito do zinco em feijão, observaram que em plantas deficientes em Zn há diminuição da concentração de proteína extraível, nas folhas médias e pequenas das plantas de feijão.

Tabela 20. Resumo da análise de variância referente ao teor de proteína dos grãos de sorgo, em função dos modos de aplicação de zinco

Tratamentos	Proteína
	g kg ⁻¹
Solo, localizado, 2 kg ha ⁻¹	9,81
Solo, localizado, 4 kg ha ⁻¹	10,03
Solo, localizado, 8 kg ha ⁻¹	9,72
Solo, incorporado, 6 kg ha ⁻¹	9,04
Solo, incorporado, 12 kg ha ⁻¹	9,44
Solo, incorporado, 24 kg ha ⁻¹	10,07
Foliar, 0,4 kg ha ⁻¹	9,95
Semente, 40 g kg ⁻¹	9,20
Testemunha	9,61
	Teste F
Testemunha vs Demais	0,077 ^{NS}
Solo vs (Foliar + Semente)	0,850 ^{NS}
Foliar vs Semente	12,783 ^{**}
Solo Incorporado vs Solo Localizado	7,804 ^{**}
Doses dentro Localizado	47,237 ^{**}
Doses dentro Incorporado	60,073 ^{**}
C.V.%	3,1

^{**}, ^{*} e ^{NS} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, pelo teste F.

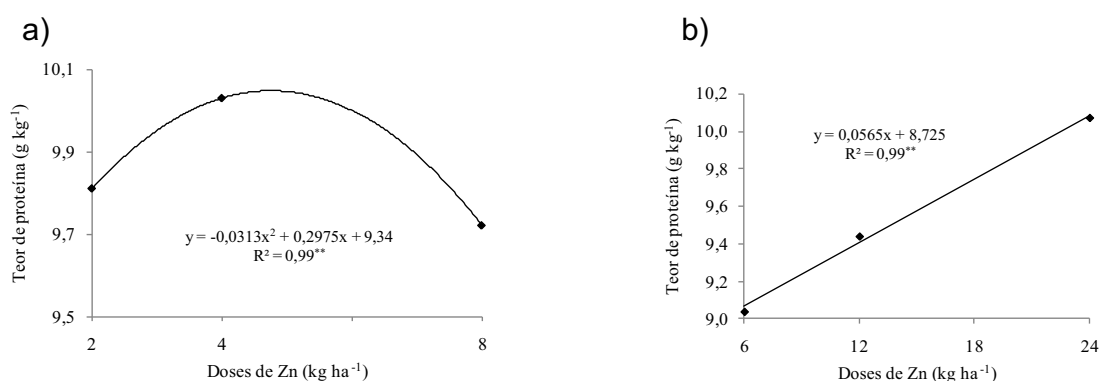


Figura 22. Teor de proteína dos grãos da cultura de milho em função da sua aplicação no solo de forma localizada (a) e incorporada (b). ^{**} - Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

5. CONCLUSÕES

A aplicação de zinco, independentemente do modo, promoveu maior teor deste micronutriente no solo e maior acúmulo na parte aérea das plantas e refletiu nos grãos de milho e de sorgo.

A aplicação de zinco no solo proporcionou maior absorção de zinco e produtividade da cultura do milho, comparado com aplicação do micronutriente na planta via semente ou foliar. No solo, a forma incorporada, na dose de zinco de 6 kg ha⁻¹, destacou-se da forma localizada.

A aplicação de zinco no solo incrementou a produção de matéria seca de folhas, o teor e acúmulo de Zn das plantas de sorgo, entretanto, não afetou a produtividade.

O modo de aplicação de Zn no solo de forma incorporada promoveu maiores teores de carboidrato, amido e proteína nos grãos de milho e sorgo.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, C.A.; RAIJ, B. van. Efeito da reação do solo no zinco extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich-1. **Bragantia**, v.55, p.357-363, 1996.

ABREU, C.A.; FERREIRA, M.E.; BORKERT, C.M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E. et al. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/Fapesp/Potafos, 2001, p.125-150.

ADRIANO, D.C.; PAULSEN, G.M.; MURPHY, L.S. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationship in corn (*Zea mays* L.) seedlings as affected by mineral nutrition. **Agronomy Journal**, v.63, p.36-39, 1971.

ANDRÉ, R.G.B.; VOLPE, C.A. **Dados meteorológicos de Jaboticabal no Estado de São Paulo durante os anos de 1971 a 1980**. Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 1982. (Boletim técnico).

ANDREOTTI, M.; SOUZA, E.C.A.; CRUSCIOL, C.A.C. Componentes morfológicos e produção de matéria seca de milho em função da aplicação de calcário e zinco. **Scientia Agricola**, v.58, p.321-327, 2001.

ANDRIOLI, I., CENTURION, J.F. **Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, Brasília, 1999. Anais..., Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 32p. (T025-3 CD-ROM).

ÁVILA, M.R.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; MARTORELLI, D.T.; ALBRECHT, L.P.; FACIOLLI, F.S. Qualidade fisiológica e produtividade das sementes de milho tratadas com micronutrientes e cultivadas no período de safrinha. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, p.535-543, 2006.

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; CARVALHO, J.R.P. Fontes de zinco e modos de aplicação sobre a produção de arroz em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, p.1713-1719, 1982.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Método de análises química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).

BORKERT, C.M. Micronutrientes na planta. In: BÜLL, L. T.; ROSOLEM, C. A., Ed. **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu, Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, p.309-29, 1989.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Disponibilidade de cobre e zinco em solos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.647-658, 2009.

BOWEN, H.J.M. **Environmental Chemistry of the Elements**. Academic Press; New York, 1979. 273p.

BROWN A.L.; QUIRK J.; EDDING J.L. A comparison of analytical methods for soil zinc. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.35, p.105-107, 1971.

BROWN, P.H.; CAKMAK, I.; ZHANG, Q. Form and function of zinc in plants. In: **Zinc in Soils and Plants**, ed. A. D. Robson, p. 90–106. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H.; BANGERTH, F. Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean. **Journal of Experimental Botany**, v.40, p.405-412, 1989.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Decrease in nitrate uptake and increase in proton release in zinc-deficient cotton, sunflower and buckwheat plants. **Plant and Soil**, v.129, p.261-268, 1990.

CAKMAK, I. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. **Journal of Plant Nutrition**, v.20, p.461–47, 1997.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant Soil**, v.308, p.1-17, 2008.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Decrease in nitrate uptake and increase in proton release in zinc-deficient cotton, sunflower and buckwheat plants. **Plant and Soil**, v.129, p.261-268, 1990.

CAKMAK, I.; KALAYCI, M.; EKIZ, H.; BRAUN, H.J.; YILMAZ, A. Zinc deficiency as an actual problem in plant and human nutrition in Turkey: A NATO-Science for Stability Project, **Field Crops Research**, v.60, p.175–188, 1999.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C., Ed(s). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2 ed. rev. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997a. p.47.(Boletim técnico, 100).

CANTARELLA, H., RAIJ, B. van., SAWAZAKI, E. Sorgo-granífero, forrageiro e vassora. In: RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2ª ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997b. p.66-67 (Boletim técnico, 100).

CLARKSON, D.T.; HANSON, J.B. The mineral nutrition of higher plants. **Plant Physiology**, v.31, p.239-293,1980.

CONAB – Companhia Nacional de Desenvolvimento. **Acompanhamento de Safra Brasileira: Grãos - 4º Levantamento**. Jan, 2010. 43p.

CONSOLINI, F.; COUTINHO, E.L.M. Efeito da aplicação de Zn e do pH do solo na disponibilidade do micronutriente. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.26, p.7-12, 2004.

CORREIA, M.A.R.; PRADO, R.M.; COLLIER, L.S.; ROSANE, D.E.; ROMUALDO, L.M. Modos de aplicação de zinco na nutrição e no crescimento inicial da cultura do arroz. **Bioscience Journal**, v.24, p.1-7, 2008.

COUTINHO, E.L.M.; NATALE, W.; CONSOLINI, F.; SILVA, A.R.; FRANCO, H.C.J. Resposta do milho doce à adubação com zinco. **Revista Ecosystema**, v.26, p.181-186, 2001.

COUTINHO, E.L.M.; SILVA, E.J.; SILVA, A.R. Crescimento diferencial e eficiência de uso em zinco de cultivares de milho submetidos a doses de zinco em um Latossolo Vermelho. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.29, p.227-234, 2007.

DECARO, S.T.; VITTI, G.C.; FORNASIERI FILHO, D.; MELO, W.J. Efeitos de doses e fontes de zinco na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista de Agricultura**, v.58, p.25-36, 1983.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.327-354.

EDWARDS, J.H.; KAMPRATH, E.J. Zinc accumulation and growth of corn seedlings as affected by endosperm removal. **Agronomy Journal**, v.67, p.809-812, 1975.

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos. 2006. 306p.

ENGLER, M.P.C.; BUZETTI, S.; SILVA, F.C.; ARF, O.; SÁ, M.E. Modos de aplicação de boro e de zinco em dois cultivares de arroz de terras altas. **Científica**, v.34, p.129-135, 2006.

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**, v.4, p.390-395, 2000.

FAGERIA, N.K. Avaliação de genótipos de arroz na eficiência de uso de zinco. **Scientia agrícola**, v.58, p.623-626, 2001.

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

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2ª. ed. Piracicaba: Os Autores, 2004. 360 p.

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

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 2007. 576 p.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do sorgo**. Jaboticabal: Funep, 2009. 202p.

FREDERIKSEN, R.A. **Compendium of Sorghum diseases**. St. Paul: American Phytopathological Society, 2000.

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**, v.18, p.229-233, 1994.

GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo, fase cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.255-260, 1995.

GALRÃO, E.Z. Métodos de aplicação de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, fase cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.283-289, 1996.

GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: **Cerrado: correção do solo e adubação**. SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, p.185-226, 2004.

GHNAYA, A.B.; HOURMANT, A.; CERANTOLA, S.; KERVAREC, N.; CABON, J.Y.; BRANCHARD, M.; CHARLES, G. Influence of zinc on soluble carbohydrate and free amino acid levels in rapeseed plants regenerated in vitro in the presence of zinc. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.102, p.191-197, 2010.

GIBSON, R.S. Zinc: the missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries. **Proceedings of the Nutrition Society**, v.65, p.51-60, 2006.

GONÇALVES JR, A.C.; PRESTES, A.L.; TRAUTMANN, R.R.; SANTOS, A.L.; MARCELO ANDREOTTI, M., Avaliação de extratores e fitodisponibilidade de zinco para cultura do milho em Latossolo Vermelho eutrófico. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, p.7-12, 2006.

GONÇALVES JÚNIOR, A.C.; TRAUTMANN, R.R.; MARENGONI, N.G.; RIBEIRO, O.L.; SANTOS, A.L. Produtividade do milho em resposta a adubação com NPK e Zn em Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico e Latossolo Vermelho Eutrófico. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1231-1236, 2007.

GRAHAM, R.D.; ASCHER, J.S.; HYNES, S.C. Selecting zinc-efficient varieties for soils of low zinc status. **Plant Soil**, v.146, p.241-250, 1992.

GUIMARÃES, F.B. **Resistência dilatária à antracnose (*Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wilson) do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**. Viçosa (Dissertação de Mestrado) Fitopatologia, Universidade Federal de Viçosa. 1996.

HASLETT, B.S.; REID, R.J.; RENGEL, Z. Zinc mobility in wheat: uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. **Annals of Botany**, v.87, p.379–386, 2001.

HAVLIN J.L.; SOLTANPOUR. Evaluation of $\text{NH}_2\text{HCO}_3\text{--DTPA}$ soil test for iron and zinc. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, p.70-75, 1981.

HENDRICKSEN, R.E.; GILBERT, M.A.; PUNTER, L.D. Effect of superphosphate application on macronutrient and micronutrient concentrations in grazed stolonative grass pasture in tropical Australia. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.43, p.1725-1738, 1992.

HIBBERD, E.E. Methods of correcting zinc deficiency in irrigated maize grown on a Black earth soil. **Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences**, v.27, p.89-94, 1970.

HOTZ, C.; BROWN, K. H. (Ed.). Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. **Food and Nutrition Bulletin**, v.25, p.S91-S204, 2004.

IGUE, K.; BLANCO, H.G.; ANDRADE SOBRINHO, J. Influência do zinco na produção do milho. **Bragantia**, v.21, p.263-269, 1962.

JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1958. p.183-204: Nitrogen determinations for soil and plant tissue.

JAMAMI, N.; BÜLL, L.T.; CORRÊA, J.C.; RODRIGUES, J.D. Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à aplicação de boro e de zinco no solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, p.99-105, 2006.

KANWAL, S.; RAHMATULLAH, A.M.R.; RASHID AHMAD, R. Zinc partitioning in maize grain after soil fertilization with zinc sulfate. **International Journal of Agriculture & Biology**, v.12, p.299-302, 2010.

KIEKENS, L. Zinc. In: **Heavy metals in soils**. B. J. Alloway, ed. Blackie & John Wiley & Sons, Inc. Glasgow, 1993. p.261-278.

KITAGISHI, K.; OBATA, H. Effects of zinc deficiency on the nitrogen metabolism of meristematic tissues of rice plants with reference to protein synthesis. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.32, p.397-405, 1986.

KORNDÖRFER, G.H.; ALCÂNTARA, C.B.; HOROWITZ, N.; LANA, R.M.Q. Formas de adição de zinco a um formulado NPK e seu efeito sobre a produção de milho. **Scientia Agricola**, v.52, p.555-560, 1995.

LEAL, R.M. Efeito da aplicação de zinco em sementes sobre a nutrição e a produção de massa seca de plantas de milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.29, p.491-496, 2007.

LEITE, U.T.; AQUINO, B.F.; ROCHA, R.N.C.; SILVA, J. Níveis críticos de boro, cobre, manganês e zinco em milho. **Bioscience Journal**, v.19, p.115-125, 2003.

LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of America Journal**, v.42, p.421-428, 1978.

LONGNECKER, N.E.; ROBSON, A.D. Distribution and transport of zinc in plants. In: ROBSON, A.D., ed. **Zinc in soils and plants**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1993. p.436-469.

LOPES, A.S. **Solos sob cerrado**: características propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFÓS, 1983. 162p.

LOPES, A.S. **Micronutrientes, filosofias de aplicação e eficiência agrônômica**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1999. 70 p. (Boletim Técnico, 8).

LOPES, A.B.R.C. **Silagem de grãos úmidos de sorgo com alto e baixo tanino para suínos em fase inicial**. 2004. 125f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

LOPES, P.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilizantes e corretivos agrícolas: Sugestões de manejo para uso eficiente. In: DECHEN, A.R.; BOARETO, A.E.; VERDADE, F.C., **Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas**, 20, Piracicaba, 1992. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1992. p.39-70

LUCAS, R. E.; KNEZEK, B. D. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p. 265-288.

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

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

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

MARET, W.; SANDSTEAD, H.H. Zinc requirements and the risks and benefits of zinc supplementation. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v.20, p.3-18, 2006.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MARTENS, D.C.; HAWKINS, G.W.; MCCART, G.D. Field response of corn to ZnSO₄ and Zn-EDTA placed with the seed. **Agronomy Journal**, v.65, p.135-136, 1973.

MELARATO, M. **Micronutrientes no sistema plantio direto**. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, Ponta Grossa: Associação de Engenheiros Agrônomos de Campos Gerais, 2000. P.161-174.

MENEZES, A.A. **Disponibilidade de zinco, para milho, pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA**. 1998. Dissertação (Mestrado) - UFV, Viçosa, 1998.

MENEZES, A.A.; DIAS, L.E.; NEVES, J.C.L.; SILVA, J.V.O. Disponibilidade de zinco para milho pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em solos de minas gerais, na presença e ausência de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.417-424, 2010.

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

NELSON, N.A. Fotometric adaptation of Somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, v.153, p.375-80, 1944.

MOLINAL, E.; BORNEMISZA, E. Nivel crítico de zinc en suelos de Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, v. 30, p.45-59, 2006.

MOUSAVI, S.R.; GALAVI, M.; AHMADVAND, G. Effect of zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato (*Solanum tuberosum* L.). **Asian Journal of Plant Sciences**, v.8, p.1256-1260, 2007.

NELSON, W. L.; MEHLICH, A. The Development, evaluation, and use of soil tests for phosphorus availability. **Agronomy**, v.4, p.153-188, 1953.

NOUR, A.; WEIBEL, D. Evaluation of root characteristics in grain sorghum. **Agronomy Journal**, v.70, p.217-218, 1978.

OBATA, H.; KAWAMURA, S.; SENOO, K.; TANAKA, A. Changes in the level of protein and activity of Cu/Zn-superoxide dismutase in zinc deficient rice plant, *Oryza sativa* L. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.45, p.891–896, 1999.

OLIVEIRA, D.S. **Efeitos do calcário dolomítico e do zinco nas culturas de soja e do milho, em sucessão e em condições de campo**. 1993. 49p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1993.

ORIOLO JÚNIOR, V.O.; PRADO, R.M.; LEONEL, C.L.; CAZETTA, D.A.; SILVEIRA, C.M.; QUEIROZ, R.J.B.; BASTOS, J.C.H.A.G. Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de massa seca de plantas de trigo. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**, v.8, p.28-36, 2008.

OZTURKA, L.; YAZICIA, M.A.; YUCELB, C.; TORUNB, A.; CEKICC, C.; BAGCID, A.; OZKANB, H.; BRAUNE, H.; SAYERSA, Z.; ICAKMAKA, I. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. **Physiologia Plantarum**, v.128, p.144–152, 2006.

POTARZYCKI, J.; GRZEBISZ, W. Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. **Plant, Soil and Environment**, v.55, p.519-527, 2009.

PRADO, R.M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP. 2008. 408p.

PRADO, R.M.; MOURO, M.C. Fontes de zinco aplicado em sementes de sorgo cv. BRS 310 e o crescimento inicial. **Semina: Ciências Agrárias**, v.28, p.355-364, 2007.

PRADO, R.M.; NATALE, W.; MOURO, M.C. Fontes de zinco aplicado via semente na nutrição e crescimento inicial do milho cv. FORT. **Bioscience Journal**, v.23, p.16-247, 2007.

PRADO, R.M.; ROMUALDO, L.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. **Bioscience Journal**, v.24, p.67-74, 2008.

PRASAD, A.S. Zinc: Mechanisms of host defense. **Journal of Nutrition**, v.137, p.1345–1349, 2007.

PUMPHREY, F.V.; KOEHLER, F.E.; ALLMARAS, R.R.; ROBERTS, S. Method and rate of applying zinc sulfate for corn on zinc deficient soil in Western Nebraska. **Agronomy Journal**, v.55, p.235-238, 1963.

RAIJ, B.van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química de solo para fins de fertilidade Campinas**: Fundação Cargill, 1987, 170p.

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van, CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C., Ed(s). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2 ed. rev. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 45-47.(Boletim técnico, 100).

RAIJ, B.van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H; ABREU, C.A. Interpretação de resultados de análises de solo. In: RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C., Ed(s). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2 ed. rev. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p.8-13.(Boletim técnico, 100).

RAIJ, B.van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RENGEL, Z.; BATTEN, G.D.; CROWLEY, D.E. Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. **Field Crops Research**, v.60, p.27–40, 1999.

RIBAS, P.M. **Sorgo**: introdução e importância econômica. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 16p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 26).

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

RITCHEY, K.D.; COX, F.R.; GALRÃO, E.Z.; YOST, R.S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.21, p.215-225, 1986.

ROMUALDO, L.M. **Modos de aplicação de zinco no crescimento inicial de plantas de milho e de sorgo em casa de vegetação**. 43f. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

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

SAMARAKOON, A.B.; RAUSER, W. Carbohydrate level and photoassimilate export from leaves of *Phaseolus vulgaris* exposed to excess cobalt, nickel and zinc. **Plant Physiology**, v.63, p.1165-1169, 1979.

SANTA MARIA, G.E.; COGLIATTI, D.H. Bidirectional Zn-fluxes and compartmentation in wheat seedling roots. **Journal of Plant Physiology**, v.132, p.312-325, 1988.

SANTOS, H.C.; FRAGA, V.S.; RAPOSO, R.W.C.; PEREIRA, W.E. Cu e Zn na cultura do sorgo cultivado em três classes de solos – (I) Crescimento vegetativo e produção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.125–130, 2009.

SANTOS, H.C.; VIANA, J.S.; GONÇALVES, E.P.; BRUNO, R.L.A.; FRAGA, V.S. Qualidade fisiológica de sementes de sorgo em resposta à adubação com cobre e zinco. **Caatinga**, v.21, p.64-70, 2008.

SCHÖFFEL, E.R.; LÚCIO, A.D. Comportamento de variedades de arroz sob diferentes doses de zinco aplicadas no solo. **Revista da FZVA**, v. 7/8, p.17-23, 2001.

SHARMA, C.P.; SHARMA, P.N.; BISHT, S.S.; NAUTIYAL, B.D. Zinc deficiency induced changes in cabbage. In: **Proceedings of the Ninth Plant Nutrition Colloquium, Warwick**, England, A. Scaife ed.. Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal Bucks, 1982.

SHARMA, P.N.; CHATTERJEE, C.; AGARWALA, S.C.; SHARMA, C.P. Zinc deficiency and pollen fertility in maize (*Zea mays*). **Plant Soil**, v.124, p.221-225, 1990.

SILVA, E.S. **Produção de grãos de milho em função de níveis de adubação com zinco e boro aplicados nas sementes e no solo**. Rio Verde, 1989. 43p. (Trabalho de Graduação em Agronomia – Escola Superior de Ciências Agrárias).

SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S.; NODA, A.Y.; MARCHETTI, M.E.; MATA, J.D.V.; LOURENTE, E.R.P. Metodologias e eficiência de extratores para zinco, cobre, ferro e manganês. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, p.537-545, 2009.

SLATON, N.A.; WILSON, JR., C.E., NTAMATUNGIRO, S., NORMAN, R.J.; BOOTHE, D.L. Evaluation of zinc seed treatments for rice. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 152-157, 2001.

SOMOGYI, M. Notes on sugar determination. **Journal of Biological Chemistry**, v.195, p.19-23, 1952.

SOUZA, E.C.A.; COUTINHO, E.L.M.; NATALE, W.; BARBOSA, J.C. Resposta do milho a adubação com fósforo e Zn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1031-1036, 1998.

SOUZA, L.D.; GOMES, J.D.; CALDAS, R.C. **Interação calagem, fósforo e zinco para a cultura da mandioca em SINOP – MT**. EMBRAPA – CNPMF. 1991. 21p.

TSUNECHIRO, A.; MARIANO, R.M.; MARTINS, V.A. Produção e preços de sorgo no Estado de São Paulo, 1991-2001. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, p.15-24, 2002.

VALE, F. **Avaliação e caracterização da disponibilidade do boro e zinco contidos em fertilizantes**. 2001. 91p. Piracicaba. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP.

VASCONCELLOS, C.A.; SANTOS, H.L.; FRANÇA, G.E. Calagem e adubação na cultura do sorgo. **Informe Agropecuário**, v.12, p.36-39, 1986.

VEIGA, A.C. Aspectos econômicos da cultura do sorgo. **Informe Agropecuário**, v.12, p.3-5. 1986.

WELCH, R.M. Effects of nutrient deficiencies on seed production and quality. **Advances in Plant Nutrition**, v.2, p.205–247, 1986.

WELCH, R.M. The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. **Plant Soil**, v.247, p.83–90, 2002.

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. **Journal of Experimental Botany**, v.55, p.353-364, 2004.

WHITE, M.C., BECKER, F.D.; CHANEY, R.L.; DECKER, A.M. Metal complexation in xylem fluid. **Plant Physiology**, v.67, p.292–300, 1981.

WHO - World Health Organization. **Reducing Risks, Promoting Healthy Life**, Geneva, Switzerland, 2002.

WILES, P.G.; GRAY, I.K.; KISSLING, R.C. Routine analysis of protein by Kjeldahl and Dumas methods: review and interlaboratory study using dairy products. **Journal of AOAC International**, v.81, p.620-632, 1998.

YAGI, R.; SIMILI, F.F.; ARAÚJO, J.C.; PRADO, R.M.; SANCHEZ, S.V.; RIBEIRO, C.E.R.; BARRETTO, V.C.M. Aplicação de zinco via sementes e seu efeito na germinação, nutrição e desenvolvimento inicial do sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.655-660, 2006.

YILMAZ, A.; EKIZ, H.; TORUN, B.; GULTEKIN, I.; KARANLIK, S.; BAGCI, S.A.; CAMAK, I. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. **Journal of Plant Nutrition**, v.20, p.461-471, 1997.

YILMAZ, A.; EKIZ, H.; GULTEKIN, I.; TORUN, B.; BARUT, H.; KARANLIK, S.; CAKMAK, I. Effect of seed zinc content on grain yield and zinc concentration of wheat grown in zinc-deficient calcareous soils. **Journal of Plant Nutrition**, v.21, p.2257–2264, 1998.

ZAGO, C.P. **Cultura de sorgo para produção de silagem de alto valor nutritivo**. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4, 1991, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", 1991. p.169-217.

7. APÊNDICE

a)



b)



c)



d)



e)



Figura 1. Fotos de algumas etapas realizadas durante a instalação dos experimentos com as culturas de milho e sorgo, como: preparo do solo (a), semeadora-adubadora utilizada (b), tratamento de sementes com Zn (c), semeadura manual dos tratamentos com Zn em sementes (d) e aplicação via pulverização do zinco incorporado ao solo (e).

a)



b)



c)



d)



Figura 2. Fotos de algumas etapas durante o desenvolvimento dos experimentos como: primeira (a) e segunda (b) aplicação foliar de Zn no milho, adubação de cobertura com N e K no milho (c) e as plantas na época do florescimento (d).

a)



b)



c)



Figura 3. Fotos da avaliação de crescimento realizada nas culturas de milho e sorgo, como: altura (a), comprimento de entrenós (b) e diâmetro basal (c).

a)



b)



c)



Figura 4. Fotos na época da colheita da cultura do sorgo: vista geral do experimento (a), detalhe das panículas (b) e amostras utilizadas para determinação da umidade dos grãos (c).

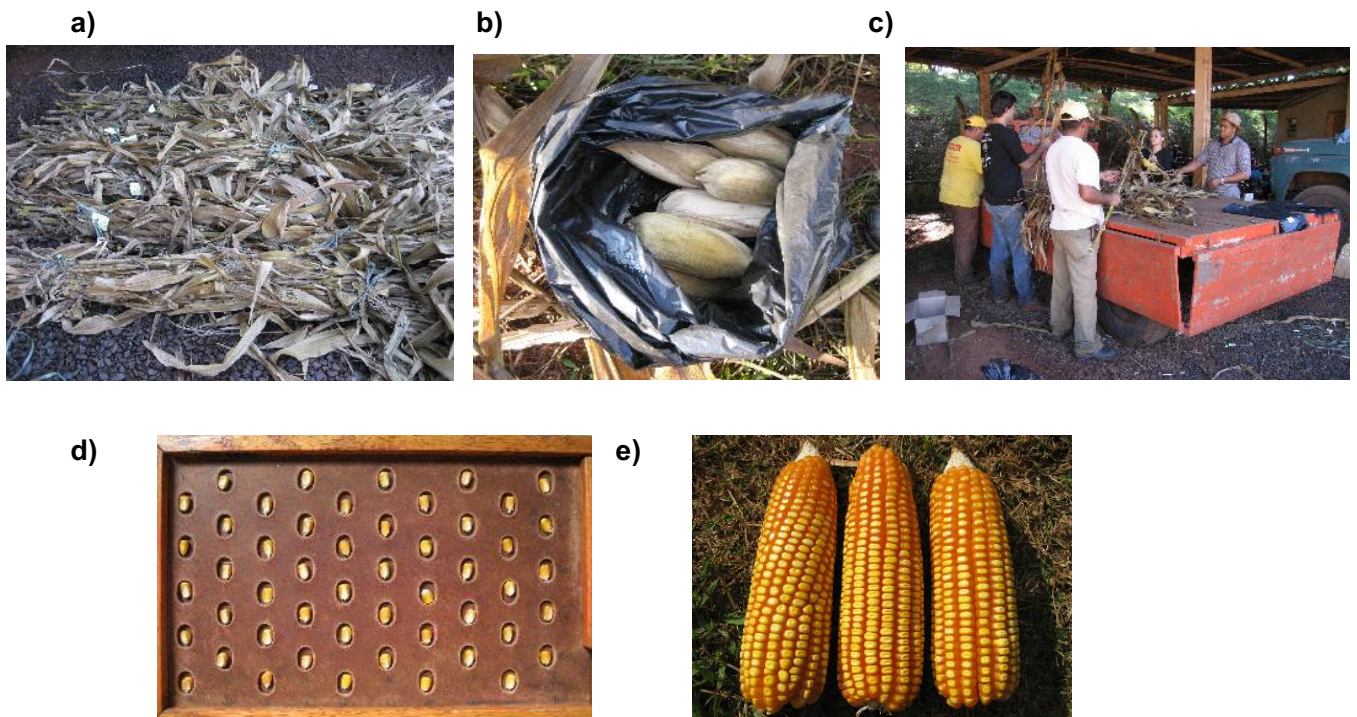


Figura 5. Fotos da época da colheita da cultura do milho: coleta das plantas de milho (a), separação das plantas em folha, colmo e espiga (b), detalhe da espiga coletada da área útil da parcela (c), contagem de 1000 grãos (d) e contagem de grãos por espiga (e).



Figura 6. Amostragem de solo nas culturas.

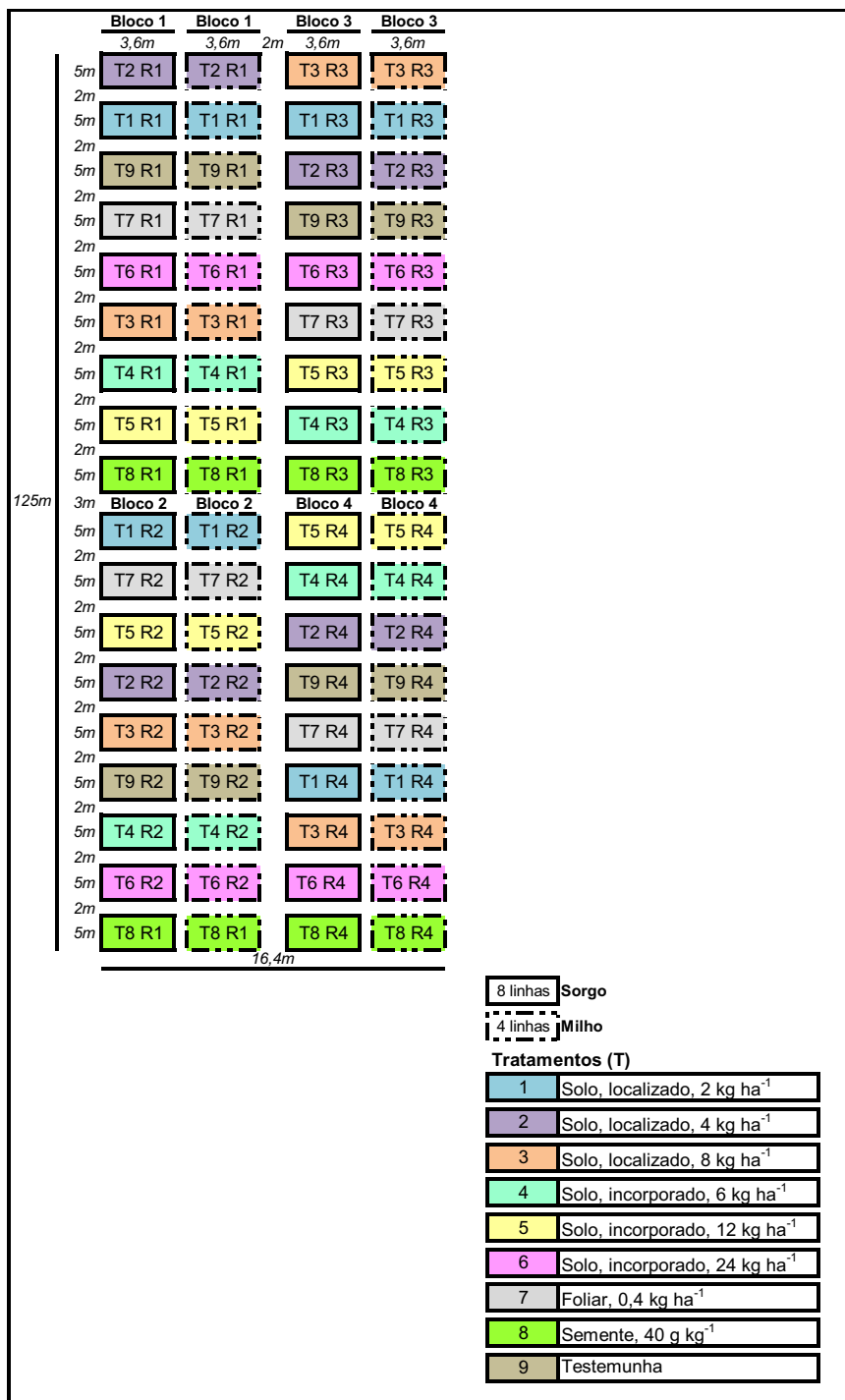


Figura 8. Croqui da área experimental ilustrando os dois experimentos com as culturas de milho e sorgo com os nove tratamentos (T) e quatro repetições (R) cultivados na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção (FEPP) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

TABELAS

Tabela A. Resultados dos tratamentos nos atributos químicos do solo cultivado com a cultura do milho

Tratamentos	Bloco	pH	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³			SB	CTC	V	Zn
			MO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	%				
L1	1	5,9	16	14	0,8	33	12	12	15	27	81	0,9	
L1	2	5,4	15	23	0,9	30	9	25	13	38	62	0,6	
L1	3	5,4	14	12	1,1	31	15	16	16	32	75	0,7	
L1	4	5,6	16	16	1,0	32	11	20	15	35	71	0,7	
L2	1	6,3	16	21	0,6	26	10	10	12	22	79	0,9	
L2	2	5,9	15	20	1,0	13	8	16	7	23	54	0,9	
L2	3	5,3	15	17	0,8	26	12	20	13	33	66	0,7	
L2	4	5,7	16	23	1,1	29	13	18	14	32	75	0,6	
L3	1	5,2	16	20	0,7	25	7	28	11	39	54	0,7	
L3	2	5,0	17	24	1,0	21	9	28	10	38	51	0,8	
L3	3	5,5	15	23	0,8	34	15	16	17	33	77	1,0	
L3	4	5,1	17	22	0,9	25	9	28	12	40	55	0,7	
I1	1	5,0	17	15	1,0	23	8	28	11	39	53	0,8	
I1	2	5,0	16	20	0,9	20	8	28	10	38	47	0,8	
I1	3	5,5	16	18	0,8	32	15	20	16	36	70	0,7	
I1	4	5,5	16	17	0,8	28	11	20	13	33	66	0,8	
I2	1	5,5	16	16	0,7	30	12	20	14	34	68	0,9	
I2	2	5,0	16	13	0,6	21	8	28	10	38	51	0,6	
I2	3	5,5	16	16	1,0	33	14	18	16	34	73	1,0	
I2	4	5,6	17	15	0,7	33	13	16	16	32	74	0,6	
I3	1	5,5	17	12	0,9	30	11	20	14	34	67	1,0	
I3	2	5,0	16	24	1,0	21	9	28	10	38	53	1,0	
I3	3	5,3	16	18	1,1	26	9	20	12	32	64	1,1	
I3	4	5,4	16	18	0,8	27	10	22	13	35	63	1,3	
F	1	5,5	16	10	1,0	27	12	22	13	35	65	0,6	
F	2	5,2	16	12	0,9	25	10	22	12	34	60	0,5	
F	3	5,6	16	24	0,7	32	16	18	16	34	63	0,5	
F	4	5,4	16	23	0,8	28	11	22	13	35	64	0,5	
S	1	5,1	17	16	1,0	25	10	25	12	37	59	0,8	
S	2	5,5	17	14	0,9	15	12	23	9	32	49	0,5	
S	3	5,4	14	14	1,0	25	12	20	13	33	65	0,7	
S	4	5,0	14	16	0,6	31	8	25	13	38	61	0,6	
T	1	5,8	17	22	1,0	25	11	16	12	28	70	0,4	
T	2	5,9	16	22	0,9	18	7	28	9	37	58	0,3	
T	3	5,2	16	17	1,0	23	10	20	11	31	63	0,3	
T	4	5,6	15	20	0,7	29	13	20	14	34	65	0,3	

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]

Tabela B. Resultados dos tratamentos nos atributos químicos do solo cultivado com a cultura do sorgo

Tratamentos	Bloco	pH	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³			SB	CTC	V	Zn
			MO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	%				
L1	1	5,6	13	18	0,9	28	11	22	40	31	64	0,7	
L1	2	5,0	16	14	0,7	20	8	26	29	27	50	0,5	
L1	3	5,5	18	16	0,7	26	15	22	42	32	69	0,6	
L1	4	5,5	17	13	0,5	30	11	20	42	31	67	0,5	
L2	1	5,8	16	18	0,8	29	10	20	40	30	67	0,7	
L2	2	5,4	16	15	0,8	27	9	25	37	31	60	0,9	
L2	3	5,7	15	17	0,7	27	12	18	40	29	73	0,5	
L2	4	5,4	16	14	0,6	26	9	20	36	28	64	0,8	
L3	1	5,4	16	12	0,6	25	10	22	36	29	61	0,9	
L3	2	5,3	15	16	0,7	22	8	25	31	28	55	0,7	
L3	3	6,0	16	17	0,7	24	10	12	35	23	74	0,8	
L3	4	5,3	16	18	0,8	25	8	22	34	28	61	1,2	
I1	1	5,1	17	19	0,5	21	11	28	33	30	51	0,6	
I1	2	5,4	17	15	0,7	25	11	22	37	29	63	1,0	
I1	3	5,6	15	15	0,6	29	12	20	42	31	68	0,5	
I1	4	5,6	16	16	0,6	32	12	16	45	30	74	0,7	
I2	1	5,3	18	12	0,9	24	10	22	35	28	61	0,7	
I2	2	5,3	16	15	0,7	23	9	22	33	27	60	0,7	
I2	3	5,9	16	19	0,7	28	15	16	44	30	65	1,0	
I2	4	5,7	17	18	0,8	32	12	18	45	31	73	0,6	
I3	1	5,5	14	17	0,4	29	11	20	40	30	67	1,2	
I3	2	5,0	16	13	0,8	19	8	25	28	26	52	1,2	
I3	3	5,4	15	16	0,6	27	9	20	37	28	65	1,2	
I3	4	5,5	16	15	0,6	23	10	20	34	27	67	1,3	
F	1	5,5	14	15	0,6	30	12	22	43	32	66	0,5	
F	2	5,4	15	16	0,7	25	7	24	33	28	62	0,4	
F	3	5,5	16	12	0,6	29	10	20	40	30	66	0,5	
F	4	5,3	15	18	0,7	21	8	22	30	26	57	0,5	
S	1	5,2	16	15	0,8	22	9	21	32	26	56	0,5	
S	2	5,4	16	18	0,7	26	10	23	37	30	62	0,6	
S	3	5,4	15	13	0,7	25	9	22	35	28	61	0,5	
S	4	5,5	14	13	0,6	30	11	20	42	31	67	0,5	
T	1	5,6	14	17	0,6	26	13	20	40	30	71	0,3	
T	2	5,4	15	18	0,8	27	11	22	39	30	64	0,5	
T	3	5,6	17	12	0,5	30	11	18	42	30	70	0,3	
T	4	5,1	15	15	0,5	19	8	25	28	26	68	0,4	

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]

Tabela C. Resultados dos efeitos dos tratamentos nas variáveis de crescimento Altura (Alt), Comprimento de Entrenós (Comp), Diâmetro do Colmo (Diâm) e Número de Folhas (Num) da cultura do milho ao longo do cultivo (3 avaliações)

Tratamentos	Bloco	1ª Avaliação				2ª Avaliação				3ª Avaliação			
		Alt cm	Comp cm	Diâm cm	Num	Alt cm	Comp cm	Diâm cm	Num	Alt cm	Comp cm	Diâm cm	Num
L1	1	76	15	24,40	7	205	13	20,04	13	204	16	21,07	9
L1	2	62	13	23,20	7	202	14	17,18	13	204	15	19,90	10
L1	3	79	16	21,20	7	209	13	20,96	13	209	15	20,71	10
L1	4	83	16	23,40	6	211	14	20,43	13	212	15	21,07	10
L2	1	78	15	22,10	6	207	22	21,47	13	217	16	22,15	9
L2	2	61	12	21,00	7	185	12	17,16	12	193	14	20,04	11
L2	3	77	15	19,90	7	214	14	20,56	14	212	15	19,97	10
L2	4	79	14	23,70	7	216	14	21,17	13	217	16	22,08	10
L3	1	70	14	24,00	8	191	13	19,30	13	195	15	21,14	11
L3	2	67	14	22,10	7	195	11	18,31	13	195	15	19,36	11
L3	3	80	15	22,50	7	203	14	22,26	13	209	14	20,40	10
L3	4	74	14	22,40	7	205	14	20,21	13	210	15	21,05	10
I1	1	68	14	24,30	7	199	13	19,76	13	206	16	20,98	10
I1	2	75	14	23,30	7	199	12	18,01	14	202	12	18,83	10
I1	3	79	14	23,80	7	210	15	22,39	14	214	15	21,44	10
I1	4	83	16	23,70	7	198	13	20,26	14	217	15	21,15	10
I2	1	63	14	23,30	7	193	14	20,13	13	200	17	19,89	11
I2	2	67	14	23,50	7	193	14	18,94	13	196	15	19,44	10
I2	3	84	16	24,10	7	219	16	22,26	13	216	14	20,17	10
I2	4	80	14	23,40	7	210	15	23,41	14	213	14	21,94	9
I3	1	66	14	22,00	7	194	10	20,88	13	195	15	20,98	10
I3	2	68	14	23,00	7	198	13	20,23	13	196	12	21,61	10
I3	3	83	15	21,50	8	213	16	21,85	14	214	15	21,62	10
I3	4	75	16	25,40	7	217	14	21,38	13	217	16	21,62	10
F	1	66	14	22,40	7	199	12	20,29	13	197	15	20,90	11
F	2	67	14	22,30	7	184	12	19,04	13	200	14	18,78	10
F	3	82	16	21,70	7	209	15	22,73	14	211	12	21,94	9
F	4	80	15	22,50	6	206	14	18,91	13	209	15	19,21	10
S	1	68	13	23,00	7	195	13	19,94	13	196	15	20,22	11
S	2	62	12	22,40	7	176	12	18,28	13	177	10	19,43	10
S	3	85	15	23,40	7	211	14	20,87	13	213	15	21,18	9
S	4	68	15	25,40	7	201	13	20,95	14	202	11	21,16	12
T	1	81	15	24,90	7	207	11	21,77	14	202	15	19,99	11
T	2	67	14	22,60	7	192	13	18,51	13	198	15	19,19	9
T	3	82	16	22,90	6	213	17	21,20	13	210	14	21,18	9

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]

Tabela D. Resultados dos efeitos dos tratamentos nas variáveis de crescimento Altura (Alt), Comprimento de Entrenós (Comp), Diâmetro do Colmo (Diâm) e Número de Folhas (Num) da cultura do sorgo ao longo do cultivo (3 avaliações)

Tratamentos	Bloco	1ª Avaliação				2ª Avaliação				3ª Avaliação			
		Alt cm	Comp cm	Diâm cm	Num	Alt cm	Comp cm	Diâm cm	Num	Alt cm	Comp cm	Diâm cm	Num
L1	1	34	8	21,05	5	86	8	19,33	8	89	8	15,57	3
L1	2	32	6	18,20	5	81	8	16,55	8	87	6	14,33	2
L1	3	35	6	21,00	6	83	6	17,24	7	89	6	12,74	4
L1	4	34	5	17,60	5	84	5	15,43	7	92	6	12,27	2
L2	1	37	7	22,46	4	83	8	17,80	8	92	8	15,23	2
L2	2	36	7	18,70	5	81	6	17,49	8	88	5	13,41	3
L2	3	37	6	21,70	6	81	6	15,76	7	98	6	12,29	3
L2	4	36	6	19,20	6	83	5	16,98	7	86	6	13,55	2
L3	1	34	6	21,10	6	79	7	17,71	8	90	6	14,66	4
L3	2	34	6	17,40	5	81	7	17,98	8	90	5	13,72	2
L3	3	33	5	20,30	5	89	6	18,06	7	95	6	12,95	3
L3	4	34	6	20,20	5	85	5	16,13	7	84	6	13,54	2
I1	1	35	7	19,00	5	84	6	15,64	8	88	6	14,38	3
I1	2	35	5	19,20	5	74	6	17,55	8	87	6	14,14	2
I1	3	34	6	18,10	5	84	6	16,74	7	86	5	13,24	2
I1	4	35	6	17,10	5	80	5	16,54	7	90	6	13,16	3
I2	1	35	6	20,70	5	78	8	16,67	8	90	6	13,94	2
I2	2	32	5	17,70	5	80	7	16,77	8	90	5	15,33	2
I2	3	37	6	17,90	6	87	6	18,29	8	85	5	12,06	3
I2	4	36	6	18,50	5	78	5	16,54	7	90	6	12,90	3
I3	1	34	7	21,50	6	76	6	16,85	8	89	6	14,43	2
I3	2	36	5	19,00	5	78	5	17,02	8	87	5	13,92	2
I3	3	36	5	18,80	6	86	6	15,61	7	88	6	12,02	3
I3	4	36	5	17,80	5	81	5	18,58	7	86	5	13,05	2
F	1	36	7	21,30	5	80	7	16,41	8	93	6	13,26	2
F	2	32	6	19,10	5	78	8	16,27	8	90	6	13,62	2
F	3	34	5	19,70	5	80	5	16,84	7	87	5	13,33	3
F	4	34	6	17,80	5	78	5	16,00	7	88	6	12,89	3
S	1	33	6	19,50	5	77	7	14,00	8	92	6	14,06	2
S	2	35	7	19,70	5	86	6	18,55	9	91	5	14,88	2
S	3	38	6	18,90	6	86	6	16,09	7	94	6	12,36	3
S	4	36	5	16,70	5	82	6	16,66	7	88	5	11,79	2
T	1	34	8	21,99	5	82	7	18,23	9	89	7	14,33	3
T	2	33	6	17,90	5	76	7	17,83	9	87	5	13,82	2
T	3	36	6	17,20	6	83	7	15,81	7	89	6	12,27	4
T	4	36	6	17,20	5	80	5	15,84	7	87	5	11,76	2

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]

Tabela E. Resultados dos efeitos dos tratamentos no estado nutricional da cultura do milho

Tratamentos	Bloco	Macronutrientes					Micronutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					
L1	1	27,7	2,5	21,4	5,5	2,9	2,0	12	10	90	32	16
L1	2	27,0	2,3	19,7	7,1	2,3	1,4	13	8	94	47	17
L1	3	25,9	2,4	22,0	5,0	2,5	1,6	9	8	86	25	15
L1	4	25,9	2,8	23,1	5,9	2,3	1,7	14	9	90	36	15
L2	1	24,5	2,6	22,1	6,3	2,6	2,0	9	10	82	31	19
L2	2	27,0	2,8	18,8	7,1	2,6	2,2	11	9	91	43	18
L2	3	24,9	2,4	22,3	4,8	2,3	1,7	7	8	90	28	20
L2	4	24,9	2,8	22,7	6,2	2,6	1,6	8	10	83	37	18
L3	1	25,6	2,5	21,1	7,0	2,3	2,0	13	9	98	40	18
L3	2	27,3	2,5	19,1	6,8	2,4	1,8	10	9	88	43	16
L3	3	26,6	2,6	24,0	5,0	3,0	1,6	8	7	86	28	20
L3	4	26,3	2,4	21,6	5,7	2,3	1,5	12	10	84	36	18
I1	1	25,9	2,3	18,1	7,8	2,6	1,5	14	9	90	40	16
I1	2	26,6	2,4	19,6	6,3	2,5	2,1	10	9	90	38	17
I1	3	24,9	2,4	19,1	5,5	2,5	1,5	9	9	75	38	16
I1	4	24,9	2,4	22,5	6,5	2,7	1,5	8	10	86	32	16
I2	1	26,2	2,6	21,4	6,0	2,4	1,4	9	10	85	36	17
I2	2	26,3	2,3	20,4	6,2	2,2	0,9	11	8	78	40	17
I2	3	25,9	2,9	22,8	6,4	2,4	1,8	8	10	94	34	18
I2	4	26,3	2,6	20,9	5,5	2,5	1,6	7	11	83	34	17
I3	1	28,4	2,6	19,5	7,8	2,6	1,7	13	10	98	45	24
I3	2	25,2	2,2	20,7	7,3	2,7	1,8	8	10	92	38	22
I3	3	25,6	2,7	21,5	5,7	2,4	1,8	9	10	91	40	19
I3	4	25,2	2,5	21,4	5,2	2,3	1,5	16	10	78	37	22
F	1	26,3	2,3	21,0	6,3	2,5	2,0	12	8	86	39	17
F	2	25,6	2,3	21,2	5,7	2,1	1,4	13	7	84	44	17
F	3	25,2	2,6	21,1	5,8	2,4	1,7	8	9	88	39	17
F	4	24,5	2,6	22,2	6,9	2,9	1,5	10	11	93	38	16
S	1	28,0	2,4	18,6	6,5	2,4	1,4	13	9	85	40	16
S	2	26,3	2,5	19,9	7,0	2,5	2,0	9	7	89	45	15
S	3	25,6	2,6	21,1	5,0	2,3	1,6	7	10	78	40	15
S	4	24,9	2,6	20,1	6,4	2,0	1,5	16	11	83	33	15
T	1	27,3	2,5	20,7	5,5	2,6	2,0	15	8	82	32	16
T	2	27,0	2,4	18,5	6,4	2,3	1,9	8	8	84	47	16
T	3	25,2	2,8	22,8	6,0	2,5	1,9	8	10	87	33	17
T	4	25,2	2,5	22,9	5,6	2,7	1,4	9	10	85	37	17

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]

Tabela F. Resultados dos efeitos dos tratamentos no estado nutricional da cultura do sorgo

Tratamentos	Bloco	Macronutrientes						Micronutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
L1	1	28,4	3,7	18,4	6,2	3,7	1,5	8	13	90	26	18	
L1	2	28,0	4,1	18,7	5,5	3,1	1,5	10	12	94	34	17	
L1	3	27,3	3,7	17,6	5,2	3,5	1,8	10	11	92	24	18	
L1	4	29,8	4,4	18,8	7,6	3,2	2,0	9	12	87	29	19	
L2	1	25,6	3,9	18,8	5,3	3,1	1,5	11	12	82	22	19	
L2	2	28,7	4,2	19,3	5,8	2,8	1,8	9	12	89	29	19	
L2	3	28,4	4,1	18,7	5,8	3,2	1,9	10	12	86	27	19	
L2	4	30,8	4,0	15,9	7,9	3,3	2,0	8	13	86	32	20	
L3	1	28,4	4,2	18,5	6,6	3,2	1,7	8	12	97	27	22	
L3	2	28,7	4,2	20,2	5,7	2,8	1,9	9	11	81	29	19	
L3	3	30,8	5,4	22,3	5,0	3,9	1,9	12	13	97	29	21	
L3	4	26,6	4,3	19,7	7,0	2,2	1,9	8	14	83	32	22	
I1	1	26,2	4,0	20,3	5,5	2,4	1,2	11	10	80	28	19	
I1	2	27,7	4,2	19,0	5,8	3,2	1,7	11	12	83	27	19	
I1	3	28,4	4,0	16,7	7,8	3,5	2,0	9	15	90	26	18	
I1	4	31,5	4,0	15,2	7,8	4,3	1,9	8	13	96	26	19	
I2	1	28,4	4,3	20,6	5,5	2,9	1,5	12	12	82	31	19	
I2	2	28,0	4,4	19,9	5,8	2,4	1,3	9	13	87	31	18	
I2	3	29,8	4,4	18,2	5,6	3,2	1,9	9	13	91	22	18	
I2	4	29,8	4,0	17,1	7,9	3,9	1,6	11	11	92	25	18	
I3	1	27,3	4,1	20,1	5,6	2,3	1,3	9	11	79	27	21	
I3	2	29,8	4,3	18,1	5,9	2,9	1,8	9	13	93	31	22	
I3	3	29,1	4,0	17,7	6,0	3,2	1,8	11	12	86	26	21	
I3	4	27,7	4,0	17,0	7,7	2,8	1,7	8	12	93	27	21	
F	1	27,3	3,6	18,2	6,1	2,6	1,4	11	11	81	23	19	
F	2	29,1	3,6	20,9	5,5	2,9	1,3	10	12	90	34	19	
F	3	27,3	4,0	18,2	5,4	3,0	1,8	8	11	82	22	21	
F	4	31,9	4,3	19,4	7,6	3,5	2,0	9	13	100	30	20	
S	1	29,4	5,0	20,8	5,8	3,2	1,7	11	13	96	35	19	
S	2	30,5	4,3	20,1	6,4	3,4	2,1	9	13	110	36	17	
S	3	30,1	4,6	17,6	7,9	3,4	1,9	9	13	109	32	17	
S	4	27,0	3,7	19,5	6,5	3,5	1,6	8	12	80	25	15	
T	1	27,7	4,0	18,1	7,0	3,6	1,4	9	11	78	24	16	
T	2	29,4	4,7	17,4	6,0	3,6	1,9	11	13	92	25	16	
T	3	27,7	3,2	17,8	7,1	3,7	1,8	9	11	89	23	16	
T	4	29,8	4,3	18,1	7,9	3,4	1,9	8	15	91	27	17	

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]

Tabela G. Resultados dos efeitos dos tratamentos na matéria seca da cultura do milho e do sorgo

Tratamentos	Bloco	Milho					Sorgo		
		Folha	Colmo	Palha	Sabugo	Grãos	Folha	Colmo	Grãos
		kg ha ⁻¹					kg ha ⁻¹		
L1	1	2272	5052	488	700	1700	2300	2842	1369
L1	2	1877	5200	430	688	1536	2112	1909	1310
L1	3	1900	5119	583	681	1640	2637	2000	1754
L1	4	1411	5440	500	690	1625	2192	2544	1400
L2	1	2573	6244	500	683	1662	3400	2519	1700
L2	2	1445	5500	600	635	1600	3773	3100	1554
L2	3	2000	6139	642	698	1724	3348	3100	1738
L2	4	1900	4246	513	672	1662	2972	3658	1708
L3	1	2994	5492	637	727	1700	2592	2016	1679
L3	2	1464	5500	460	700	1580	2749	3241	1448
L3	3	1311	5063	518	575	1700	3028	3404	1500
L3	4	1204	5813	478	667	1660	2600	2900	1327
I1	1	1969	3500	528	468	1600	3763	3457	1531
I1	2	1021	3289	658	562	1618	3000	3100	1471
I1	3	1400	3365	500	458	1666	1890	2160	1465
I1	4	1200	3975	398	605	1574	3297	3590	1815
I2	1	2418	3900	468	670	1634	3100	3900	1800
I2	2	1621	3584	399	594	1306	3092	3010	1952
I2	3	1600	3295	367	600	1500	2792	4242	1600
I2	4	1000	4932	467	651	1591	3296	4492	1754
I3	1	2200	4574	635	800	1700	3419	3306	1300
I3	2	971	3765	500	792	1884	2894	3230	1421
I3	3	1300	3951	428	459	1568	2874	3020	1442
I3	4	858	4100	547	700	1524	3100	3200	1019
F	1	2400	4800	400	500	1300	2117	3081	1167
F	2	1354	4115	450	442	1337	2300	2900	1398
F	3	1700	4200	259	419	1384	2442	3068	1631
F	4	1246	3789	521	553	1327	2208	2675	1419
S	1	2130	4900	459	567	1672	2900	3200	1600
S	2	1400	4300	522	561	1600	3216	3899	1773
S	3	1031	4265	522	648	1697	2956	3867	1260
S	4	983	3823	586	521	1556	2483	1842	1815
T	1	1100	4800	500	600	1659	1900	3000	1500
T	2	849	3900	600	664	1449	1819	3259	1433

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]

Tabela H. Resultados dos efeitos dos tratamentos no teor de zinco em diferentes órgãos das plantas de milho e sorgo

Tratamentos	Milho					Sorgo	
	Bloco	Folha	Colmo	Palha	Sabugo	Folha	Colmo
	mg kg ⁻¹					mg kg ⁻¹	
L1	1	8	7	7	16	13	8
L1	2	6	6	8	15	15	12
L1	3	7	6	7	15	16	9
L1	4	6	7	6	14	14	7
L2	1	6	9	8	14	17	12
L2	2	8	9	8	13	19	15
L2	3	8	6	8	14	18	9
L2	4	7	8	10	15	19	14
L3	1	5	12	12	12	21	11
L3	2	8	10	15	16	19	14
L3	3	7	9	13	18	17	12
L3	4	7	6	13	15	19	12
I1	1	6	10	16	16	21	15
I1	2	8	9	17	19	21	13
I1	3	8	8	18	19	18	16
I1	4	9	7	15	22	21	15
I2	1	7	11	14	19	22	15
I2	2	10	11	15	22	26	20
I2	3	8	10	16	21	20	9
I2	4	8	12	19	20	20	16
I3	1	11	15	21	22	28	15
I3	2	12	16	28	17	30	20
I3	3	9	13	33	21	27	18
I3	4	8	10	31	20	28	28
F	1	18	7	12	10	24	15
F	2	18	7	15	13	24	17
F	3	16	8	16	12	28	15
F	4	17	6	18	14	21	14
S	1	8	8	9	9	14	8
S	2	7	7	8	11	16	15
S	3	7	8	8	12	12	10
S	4	6	9	12	12	14	11
T	1	8	7	9	10	16	11
T	2	9	4	5	14	12	14

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]

Tabela I. Resultados dos efeitos dos tratamentos no acúmulo de zinco em diferentes órgãos das plantas de milho e sorgo

Tratamentos	Bloco	Milho					Sorgo		
		Folha	Colmo	Palha	Sabugo	Grãos	Folha	Colmo	Grãos
mg kg ⁻¹									
L1	1	18	35	3	11	44	30	23	51
L1	2	11	31	3	10	38	32	23	51
L1	3	13	31	4	10	41	42	18	61
L1	4	8	38	3	10	39	31	18	53
L2	1	15	56	4	10	38	58	30	63
L2	2	12	50	5	8	42	72	47	61
L2	3	16	37	5	10	41	60	28	50
L2	4	13	34	5	10	37	56	51	68
L3	1	15	66	8	9	37	54	22	49
L3	2	12	55	7	11	46	41	45	55
L3	3	9	46	7	10	49	51	41	63
L3	4	8	35	6	10	40	49	35	49
I1	1	12	35	8	7	43	79	52	49
I1	2	8	30	11	11	39	63	40	51
I1	3	11	27	9	9	43	34	35	57
I1	4	11	28	6	13	44	69	54	62
I2	1	17	43	7	13	36	68	59	72
I2	2	16	39	6	13	37	80	60	80
I2	3	13	33	6	13	39	56	38	58
I2	4	8	59	9	13	41	66	72	70
I3	1	24	69	13	18	39	96	50	48
I3	2	12	60	14	13	53	87	65	51
I3	3	12	51	14	10	52	78	54	68
I3	4	7	41	17	14	43	87	90	41
F	1	43	34	5	5	31	51	46	48
F	2	24	29	7	6	34	55	49	50
F	3	27	34	4	5	30	68	46	65
F	4	25	23	9	8	32	46	37	47
S	1	17	39	4	5	38	41	26	58
S	2	10	30	4	6	38	51	58	69
S	3	7	34	4	8	41	35	39	45
S	4	6	34	7	6	40	35	20	53
T	1	9	34	5	6	33	30	33	39
T	2	8	16	3	9	32	22	46	52
T	3	7	35	3	7	30	32	42	52
T	4	10	30	2	7	27	17	31	50

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]

Tabela J. Resultados dos tratamentos nos grãos da cultura do milho

Tratamentos	Bloco	Grãos/Espiga	Massa 1000 grãos
L1	1	521	342,6
L1	2	381	354,3
L1	3	502	355,5
L1	4	492	367,8
L2	1	407	363,4
L2	2	421	350,0
L2	3	421	362,8
L2	4	475	354,9
L3	1	427	393,5
L3	2	444	410,2
L3	3	519	359,2
L3	4	490	342,8
I1	1	461	325,8
I1	2	463	400,2
I1	3	448	351,8
I1	4	469	347,1
I2	1	482	372,8
I2	2	418	341,6
I2	3	458	345,6
I2	4	452	353,1
I3	1	523	360,3
I3	2	444	355,7
I3	3	493	367,9
I3	4	432	316,0
F	1	461	346,0
F	2	418	348,4
F	3	465	342,9
F	4	429	346,7
S	1	462	339,2
S	2	449	365,6
S	3	475	372,5
S	4	516	365,5
T	1	458	375,6
T	2	409	331,6
T	3	463	353,3

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]

Tabela K. Resultados dos tratamentos na produtividade da cultura do milho e do sorgo

Tratamentos	Bloco	Produtividade	
		Milho	Sorgo
kg ha ⁻¹			
L1	1	10211	5303
L1	2	10504	5846
L1	3	10800	5189
L1	4	11667	5253
L2	1	10070	5438
L2	2	9254	6611
L2	3	9700	6570
L2	4	9698	7123
L3	1	11033	5854
L3	2	10540	6380
L3	3	10300	6614
L3	4	9228	6372
I1	1	11200	5660
I1	2	11161	7207
I1	3	11404	6403
I1	4	11148	7004
I2	1	10665	5057
I2	2	10100	5409
I2	3	9226	6827
I2	4	10462	5990
I3	1	11100	5987
I3	2	12433	7287
I3	3	10320	6083
I3	4	10486	4646
F	1	9500	5585
F	2	9078	6766
F	3	10074	6129
F	4	9218	7093
S	1	10848	5628
S	2	9271	7474
S	3	10100	4037
S	4	10285	4561
T	1	9964	3831
T	2	10402	6720
T	3	10200	4770
T	4	9292	6313

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]

Tabela L. Resultados dos tratamentos nos teores de nutrientes dos grãos da cultura do milho

Tratamentos	Bloco	Macronutrientes						Micronutrientes				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
L1	1	15,1	3,3	5,0	0,1	1,6	1,1	4	2,2	24	8	26
L1	2	14,4	2,8	4,5	0,3	1,4	1,0	3	1,8	19	8	25
L1	3	15,4	3,4	5,1	0,3	1,5	1,2	3	3	26	5	25
L1	4	15,1	3,9	5,1	0,2	1,7	1,1	3	1,7	27	7	24
L2	1	15,4	3,7	5,0	0,1	1,7	1,2	2	3	23	6	23
L2	2	15,4	3,3	5,0	0,2	1,6	1,1	4	2,5	24	8	26
L2	3	14,7	2,9	4,6	0,4	1,4	1,0	3	1,6	22	4	24
L2	4	14,9	2,9	3,8	0,2	1,3	1,1	4	1,9	23	7	22
L3	1	15,4	2,7	4,1	0,1	1,2	1,2	2	3	28	4	22
L3	2	15,1	3,3	5,1	0,3	1,6	1,1	4	1,9	26	8	29
L3	3	15,1	3,4	5,3	0,3	1,5	1,1	3	1,7	26	6	29
L3	4	15,1	3,6	4,9	0,2	1,7	1,0	4	3	29	7	24
I1	1	14,9	2,7	3,6	0,1	1,3	1,1	3	2,4	20	8	27
I1	2	14,9	2,9	4,9	0,4	1,5	1,2	4	1,7	24	6	24
I1	3	14,7	3,3	4,7	0,3	1,5	1,1	4	1,9	22	5	26
I1	4	15,4	3,6	5,3	0,4	1,8	1,0	4	2,8	23	6	28
I2	1	15,1	3,0	4,4	0,1	1,4	1,2	3	1,7	21	8	27
I2	2	15,1	3,4	5,2	0,2	1,8	1,2	2	2,4	26	6	28
I2	3	14,7	3,1	4,9	0,3	1,5	1,1	4	1,9	23	3	26
I2	4	15,3	3,1	4,5	0,2	1,5	1,1	3	3	23	8	26
I3	1	15,1	3,1	4,6	0,1	1,4	1,1	3	2,5	22	5	23
I3	2	14,4	2,9	4,9	0,2	1,4	1,2	4	1,7	27	7	28
I3	3	15,4	3,4	5,0	0,3	1,6	1,1	2	2,2	24	6	33
I3	4	15,2	2,9	3,8	0,1	1,3	1,0	4	2,9	24	5	28
F	1	15,1	3,2	4,9	0,3	1,5	1,1	3	3	28	6	24
F	2	15,1	3,2	4,8	0,1	1,6	1,2	4	2,4	23	8	27
F	3	15,1	3,0	4,6	0,2	1,4	1,0	4	1,8	24	5	22
F	4	15,1	3,2	4,7	0,1	1,6	1,1	4	3	29	8	24
S	1	14,9	2,3	3,4	0,3	1,0	1,2	4	1,9	17	6	23
S	2	15,7	2,7	4,4	0,2	1,3	1,0	3	3	27	5	24
S	3	14,7	3,2	4,8	0,4	1,6	1,2	2	1,9	27	6	24
S	4	15,1	3,6	4,3	0,3	1,6	1,1	3	3	37	8	26
T	1	15,4	2,8	4,1	0,1	1,3	1,1	3	1,8	22	5	20
T	2	14,5	2,9	4,9	0,2	1,5	1,1	4	2,4	22	6	19
T	3	15,4	3,8	5,4	0,4	1,8	1,2	4	2,6	23	5	20
T	4	14,4	2,9	3,9	0,2	1,3	1,0	4	3	22	7	18

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]

Tabela M. Resultados dos tratamentos nos teores de nutrientes dos grãos da cultura do sorgo

Tratamentos	Bloco	Macronutrientes						Micronutrientes				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
L1	1	17,9	5,5	6,5	0,2	3,5	1,1	8	12	170	32	37
L1	2	16,8	5,9	7,4	0,2	3,7	1,2	9	11	156	36	39
L1	3	16,8	5,1	6,7	0,2	3,6	1,2	7	12	125	32	35
L1	4	17,9	6,0	7,6	0,3	3,8	1,1	8	12	113	36	38
L2	1	17,5	5,0	6,2	0,4	3,0	1,1	7	10	163	27	37
L2	2	17,2	5,8	7,5	0,3	3,4	1,2	9	12	159	35	39
L2	3	16,5	4,0	5,0	0,3	2,5	1,2	7	9	112	25	29
L2	4	16,5	5,5	7,3	0,2	3,5	1,2	6	12	112	34	40
L3	1	16,5	4,2	5,1	0,4	2,5	1,1	7	9	171	22	29
L3	2	17,9	6,7	9,5	0,4	4,2	1,3	9	11	144	43	38
L3	3	17,2	5,7	6,6	0,2	3,6	1,2	5	13	104	32	42
L3	4	17,5	5,4	7,2	0,4	3,4	1,2	7	12	157	37	37
I1	1	16,1	4,8	5,6	0,3	2,8	1,2	6	9	157	25	32
I1	2	16,1	6,5	6,6	0,2	4,1	1,2	9	13	170	38	35
I1	3	17,5	5,7	7,3	0,2	3,6	1,2	9	13	127	30	39
I1	4	16,8	5,1	6,7	0,4	3,2	1,2	6	11	133	22	34
I2	1	16,5	5,8	7,1	0,4	3,6	1,2	7	12	175	31	40
I2	2	17,2	5,9	7,6	0,2	3,6	1,3	9	12	185	38	41
I2	3	17,5	5,0	5,9	0,2	3,1	1,2	5	11	129	24	36
I2	4	16,5	5,7	7,7	0,3	3,6	1,2	6	12	110	24	40
I3	1	17,2	5,0	5,1	0,4	3,0	1,1	5	11	112	26	37
I3	2	17,9	5,2	6,5	0,3	3,2	1,3	6	10	126	33	36
I3	3	17,2	5,8	7,7	0,3	3,9	1,2	8	13	137	31	47
I3	4	16,5	4,7	6,1	0,4	2,7	1,1	6	11	130	27	40
F	1	16,5	5,2	6,5	0,4	3,4	1,0	7	10	163	27	41
F	2	17,5	3,7	4,6	0,3	2,1	1,1	6	12	126	25	36
F	3	17,2	5,5	6,7	0,2	3,6	1,2	5	12	142	30	40
F	4	17,5	4,9	6,1	0,2	3,0	1,2	5	10	137	31	33
S	1	17,2	5,6	6,4	0,4	3,3	1,2	9	11	183	29	36
S	2	16,5	5,8	7,8	0,2	3,7	1,3	7	13	194	39	39
S	3	17,2	6,1	7,6	0,3	3,8	1,2	8	12	134	32	36
S	4	16,5	4,7	6,7	0,3	2,9	1,1	5	11	140	29	29
T	1	16,8	4,4	4,9	0,3	2,6	1,0	8	9	112	22	26
T	2	17,2	5,7	7,2	0,4	3,6	1,2	7	11	151	34	36
T	3	17,5	4,4	5,9	0,3	2,9	1,2	7	12	131	27	35
T	4	16,8	6,3	8,2	0,2	4,2	1,2	6	12	124	37	32

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]

Tabela N. Resultados dos tratamentos nos teores de carboidratos dos grãos das culturas de milho e sorgo

Tratamentos	Bloco	Milho			Sorgo		
		Carboidrato Solúvel	Amido	Carboidrato Total	Carboidrato Solúvel	Amido	Carboidrato Total
g glicose por 100g de matéria seca							
L1	1	8,21	54,47	62,68	8,79	55,26	64,05
L1	2	7,54	60,22	67,76	8,00	58,08	66,08
L1	3	8,86	52,63	61,49	10,60	62,87	73,47
L1	4	8,20	55,77	63,97	9,13	58,74	67,87
L2	1	7,22	58,46	65,68	11,39	63,76	75,15
L2	2	9,07	56,38	65,45	10,73	68,58	79,31
L2	3	8,22	52,80	61,02	12,57	66,82	79,39
L2	4	8,168	55,88	64,05	11,56	66,39	77,95
L3	1	7,81	49,63	57,44	11,17	44,49	55,65
L3	2	5,49	47,49	52,98	11,59	40,59	52,18
L3	3	6,37	51,26	57,64	9,54	39,90	49,44
L3	4	6,56	49,46	56,02	10,77	41,66	52,43
I1	1	7,20	46,86	54,06	12,21	45,49	57,69
I1	2	7,37	49,34	56,71	10,43	45,71	56,13
I1	3	8,78	45,25	54,03	12,58	45,08	57,66
I1	4	7,78	47,15	54,94	11,74	45,42	57,16
I2	1	6,66	47,78	54,44	10,31	44,19	54,49
I2	2	8,09	47,97	56,06	11,19	44,03	55,22
I2	3	7,07	45,17	52,24	12,19	47,75	59,94
I2	4	7,28	46,97	54,25	11,23	45,32	56,55
I3	1	8,93	52,41	61,34	12,14	46,91	59,05
I3	2	8,50	48,06	56,56	11,61	46,32	57,93
I3	3	9,44	50,20	59,63	11,13	51,63	62,76
I3	4	8,96	50,22	59,18	11,63	48,29	59,92
F	1	11,33	47,53	58,87	10,66	62,50	73,15
F	2	10,46	48,17	58,63	11,23	63,26	74,49
F	3	9,34	52,97	62,31	12,23	59,34	71,56
F	4	10,38	49,56	59,93	11,37	61,70	73,07
S	1	5,01	53,14	58,14	8,70	47,14	55,83
S	2	5,13	48,47	53,60	9,89	48,53	58,42
S	3	6,91	53,06	59,96	9,87	48,83	58,71
S	4	5,68	51,55	57,23	9,49	48,17	57,65
T	1	8,27	48,77	57,04	9,61	48,06	57,67
T	2	7,32	47,88	55,20	10,67	51,00	61,67
T	3	6,98	56,96	63,94	10,59	57,78	68,37
T	4	8,67	49,87	58,54	9,62	49,02	68,64

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]

Tabela O. Resultados dos tratamentos nos teores de proteínas dos grãos das culturas de milho e sorgo

Tratamentos	Bloco	Milho	Sorgo
		g kg ⁻¹	
L1	1	8,35	9,96
L1	2	8,81	9,66
L1	3	8,90	9,80
L1	4	8,69	9,81
L2	1	8,81	10,15
L2	2	8,21	9,95
L2	3	8,33	9,99
L2	4	8,45	10,03
L3	1	8,36	9,73
L3	2	8,80	9,66
L3	3	8,90	9,78
L3	4	8,69	9,72
I1	1	7,61	9,35
I1	2	7,73	8,80
I1	3	7,80	8,97
I1	4	7,71	9,04
I2	1	7,52	9,60
I2	2	8,14	9,30
I2	3	8,20	9,41
I2	4	7,95	9,44
I3	1	8,84	9,86
I3	2	8,36	10,11
I3	3	8,40	10,23
I3	4	8,53	10,07
F	1	8,43	9,12
F	2	8,32	10,29
F	3	8,38	10,43
F	4	8,37	9,95
S	1	7,66	9,70
S	2	7,99	8,91
S	3	8,10	8,98
S	4	7,92	9,20
T	1	8,60	9,09
T	2	7,53	9,81
T	3	7,67	9,94
T	4	7,93	9,61

[L1: Localizado 2 kg ha⁻¹; L2: Localizado 4 kg ha⁻¹; L3: Localizado 8 kg ha⁻¹; I1: Incorporado 6 kg ha⁻¹; I2: Incorporado 12 kg ha⁻¹; I3: Incorporado 24 kg ha⁻¹; F: Foliar 0,4 kg ha⁻¹; S: Semente 40 g kg⁻¹; T: Testemunha]