



# Cu e Zn na cultura do sorgo cultivado em três classes de solos. I. Crescimento vegetativo e produção<sup>1</sup>

Hemmannuella C. Santos<sup>2</sup>, Vânia S. Fraga<sup>3</sup>, Roberto W. C. Raposo<sup>3</sup> & Walter E. Pereira<sup>4</sup>

## RESUMO

Os micronutrientes Cu e Zn são importantes para o bom desenvolvimento vegetativo e para a formação de grãos em cereais. Com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de Cu e Zn nos atributos de crescimento e na produção da cultura do sorgo realizou-se um experimento em ambiente protegido, no qual o delineamento foi em blocos casualizados, com a combinação de cinco doses de cobre (0, 0,26, 0,90, 1,54 e 1,80 mg kg<sup>-1</sup>) e cinco doses de zinco (0, 0,32, 1,1, 1,88 e 2,2 mg kg<sup>-1</sup>), combinadas na matriz Composto Central de Box, perfazendo 9 tratamentos, que foram aplicados em três classes de solo (Latosolo, Luvisolo e Neossolo), com 3 repetições. Avaliaram-se, aos 96 dias após a semeadura, os atributos de crescimento e a produção da cultura. A aplicação de cobre resultou em incrementos na área foliar, diâmetro do colmo, comprimento e diâmetro da panícula, matéria seca e na produção, o mesmo não ocorrendo para o zinco. As concentrações foliares de zinco indicaram interação negativa entre as doses aplicadas, enquanto entre os solos o Luvisolo foi o mais responsivo à aplicação dos nutrientes.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*, micronutrientes, nutrição mineral

# Cu and Zn in sorghum cultivated in three soil classes. I. Vegetative growth and yield

## ABSTRACT

The micronutrients copper and zinc are important for good vegetative growth and for grain formation in cereals. An experiment was carried out aiming to evaluate the effect of copper and zinc application upon growth attributes of sorghum and upon its grain yield. A randomized block experimental design was used, with a combination of five doses of copper (0, 0.26, 0.90, 1.54 and 1.80 mg kg<sup>-1</sup>) and five doses of zinc (0, 0.32, 1.1, 1.88 and 2.2 mg kg<sup>-1</sup>) combined by Box Central Composite design, resulting in nine treatments which were applied in three soil classes (Latosol, Alfisol and Entisol), with three replications. Ninety six days after sowing, growth attributes and sorghum yield were determined. The copper application increased leaf area, stem diameter, panicle length and diameter, dry matter yield and grain yield, however the same results were not observed for zinc application. The foliar concentrations of copper and zinc presented negative interactions between the applied doses. Alfisol was the soil most influenced by nutrient application.

**Key words:** *Sorghum bicolor*, micronutrients, mineral nutrition

<sup>1</sup> Parte da Dissertação de Mestrado apresentada pela primeira autora ao Programa de Pós Graduação em Manejo de Solo e Água, CCA/UFPB

<sup>2</sup> Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/UFPB, CEP 58397-000, Areia, PB. Fone: (83) 3362-2300. E-mail: hecosantos@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Departamento de Solos e Engenharia Rural/UFPB. Fone: (83) 3362-2300. E-mail: vfraga@cca.ufpb.br; rwcraposo@cca.ufpb.br

<sup>4</sup> Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais/UFPB. Fone: (83) 3362-2300. E-mail: wep@cca.ufpb.br

## INTRODUÇÃO

O sorgo é o quinto cereal mais importante do mundo, depois do milho, arroz, trigo e cevada; devido à sua adaptação em regiões de clima semi-árido, pode ser substituído do milho, como cultura de subsistência; de ampla utilização na alimentação humana, principalmente na África e Ásia, e animal; a que se resume a utilização do sorgo no Brasil, a cultura é bastante promissora e apresenta aumento de produção e área plantada em algumas regiões do País (IBGE, 2005).

Os estudos nutricionais para a cultura do sorgo se voltam para a adubação com os macronutrientes N, P e K, embora sejam poucos os estudos relacionados às exigências nutricionais de micronutrientes. Como a cultura não é muito difundida na região Nordeste em virtude, talvez, da falta de estudos adaptados às condições edafoclimáticas, tornam-se oportunos o conhecimento das necessidades de micronutrientes e o manejo da cultura, visando não só aumentar a produtividade e qualidade dos grãos mas, também, manter a fertilidade dos solos.

Em relação aos micronutrientes, as plantas de sorgo são consideradas muito sensíveis à deficiência de Zn e apresentam sensibilidade média à deficiência de Cu, além de aumentos de produção com a aplicação de Zn (Martens & Westermann, 1991; Ritchey et al., 1986). Em outras gramíneas, como o arroz, a matéria seca foi significativamente maior com a aplicação de doses crescentes de cobre e zinco (Fageria, 2002). Trabalhando com doses de zinco, Fageria (2000) verificou que a produção de matéria seca da parte aérea aumentou 36% com a aplicação de 10 mg kg<sup>-1</sup> e 14% com a aplicação de 20 mg kg<sup>-1</sup>, para arroz e milho, respectivamente, se comparados com a testemunha, evidenciando a importância desses nutrientes para as culturas.

Os solos apresentam diferentes formas de disponibilizar seus elementos minerais para as plantas, o que dependerá do teor disponível de nutrientes no solo, resultado do intemperismo das rochas, do pH da solução e das propriedades químicas e físicas do solo, em especial da quantidade de argila e matéria orgânica, no caso dos micronutrientes.

Na região Nordeste os solos do sertão são pouco profundos e podem ser ricos em nutrientes, enquanto em regiões de relevo mais plano e maior precipitação pluviométrica os

solos são pobres (Lepsch, 2002). Os solos do Estado da Paraíba são formados, em sua maioria, de rochas ígneas, o que lhes confere a característica de serem quimicamente pobres em nutrientes; no entanto, não há dados sobre a disponibilidade de micronutrientes nos solos da região (Menezes et al., 2005), razão por que se objetiva, com o presente estudo, avaliar, sob condições de ambiente protegido, os atributos de crescimento do sorgo e sua produção, em função da aplicação de Cu e Zn em três classes de solo da Paraíba.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento foi conduzido em abrigo telado pertencente ao Departamento de Solos e Engenharia Rural, localizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, município de Areia, PB, situado a 6° 58' de latitude Sul e 35° 41' de longitude Oeste e 575 m de altitude.

Os solos, classificados como Latossolo Amarelo (LA), Luvisolo Háptico (TX) e Neossolo Quartzarênico (RQ), foram coletados na profundidade de 0 a 20 cm nos municípios de Bananeiras, Solânea e Esperança, respectivamente, no Estado da Paraíba. Após serem secados ao ar, os solos foram destorroados, passados em peneira de 2,0 mm de malha e caracterizados, física e quimicamente (Tabela 1), no Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural/CCA/UFPB, em Areia, PB, conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com três repetições; os tratamentos consistiram de cinco doses de Cu e de cinco doses de Zn, totalizando nove combinações, geradas através da matriz Composto Central de Box (Mateus et al., 2001) e a parcela experimental se compunha de um vaso contendo uma planta de sorgo, perfazendo 81 parcelas. As combinações de Cu e Zn foram, em mg kg<sup>-1</sup>: T<sub>1</sub>, 0,26 e 0,32; T<sub>2</sub>, 0,26 e 1,88; T<sub>3</sub>, 1,54 e 0,32; T<sub>4</sub>, 1,54 e 1,88; T<sub>5</sub>, 0,0 e 1,10; T<sub>6</sub>, 0,90 e 0,0; T<sub>7</sub>, 1,80 e 1,10; T<sub>8</sub>, 0,90 e 2,20 e T<sub>9</sub>, 0,90 e 1,10. As doses máximas de Cu (1,80 mg kg<sup>-1</sup>) e de Zn (2,2 mg kg<sup>-1</sup>) foram definidas de acordo com a recomendação para interpretação de análises de solos da CFSEMG (1999) que indica esses teores de micronutrientes no solo como adequados para a maioria das culturas.

Tabela 1. Resultados obtidos das análises físicas e químicas dos solos utilizados no experimento, antes da aplicação dos tratamentos com Cu e Zn

Solos	Atributos físicos							
	Areia	Silte	Argila	ADA	GF	DS	DP	PT
	g kg <sup>-1</sup>			g cm <sup>-3</sup>			m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
LA	680	38	282	64	773	1,18	2,62	0,55
TX	650	91	259	101	610	1,20	2,66	0,55
RQ	910	26	64	25	609	1,43	2,60	0,45
Solos	Atributos químicos							
	pH	P <sup>1</sup>	K <sup>1</sup>	Ca + Mg <sup>2</sup>	H + Al <sup>3</sup>	M.O.	Cu <sup>1</sup>	Zn <sup>1</sup>
	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	
LA	5,4	2,76	40,81	2,55	8,09	17,5	0,0	0,35
TX	6,0	2,76	144,64	3,30	2,15	12,5	0,0	0,64
RQ	6,9	26,87	111,49	3,10	0,58	8,13	0,0	1,14

LA: Latossolo Amarelo; TX: Luvisolo Háptico; RQ: Neossolo Regolítico; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de floculação; DS: Densidade do solo; DP: Densidade de partícula; PT: Porosidade total; M.O.: matéria orgânica; <sup>1</sup> P, K, Cu e Zn determinados pelo extrator Mehlich-1; <sup>2</sup> Ca + Mg extraído com KCl 1M; <sup>3</sup> H + Al extraído com acetato de cálcio

Utilizaram-se soluções de  $\text{CuCl}_2$  e  $\text{ZnCl}_2$  calculadas para conter, em 10 mL de solução, a quantidade de nutrientes para cada tratamento, separadamente; as doses foram aplicadas ao solo parceladas em três adubações (plantio, 15 e 30 dias após o plantio).

As exigências nutricionais em macro e micronutrientes foram supridas de acordo com Malavolta (1980), excetuando-se o Cu e o Zn; foram aplicados, em  $\text{mg kg}^{-1}$  de solo, 300 de N ( $600 \text{ kg ha}^{-1}$ ); 200 de P ( $400 \text{ kg ha}^{-1}$ ); 150 de K ( $300 \text{ kg ha}^{-1}$ ); 75 de Ca ( $150 \text{ kg ha}^{-1}$ ); 15 de Mg ( $30 \text{ kg ha}^{-1}$ ); 0,5 de B ( $1 \text{ kg ha}^{-1}$ ); 5 de Fe ( $10 \text{ kg ha}^{-1}$ ); 3 de Mn ( $6 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e 0,1 de Mo ( $0,2 \text{ kg ha}^{-1}$ ); aplicaram-se os nutrientes em forma de solução, quinzenalmente, em cinco parcelas, sendo que o P foi em parcela única e uniforme, em todo o solo do vaso.

Oito sementes do híbrido Pioneer 8419, de ciclo precoce, foram semeadas em 10 de maio de 2006, em sacos plásticos com 7 kg de solo acondicionados em vasos de polietileno; aos 15 dias após o plantio, realizou-se o desbaste deixando-se uma planta por vaso e se efetuou a irrigação dos vasos, com base no seu peso, mantendo-se a umidade em torno da capacidade de campo de cada solo.

As avaliações de altura, diâmetro do colmo e número de folhas, foram realizadas quinzenalmente, durante três meses. No início do florescimento a quarta folha com a bainha visível a partir do ápice foi, coletada para realização de diagnose foliar; fez-se a análise dos nutrientes na folha, conforme Tedesco et al. (1995), enquanto o teor de Cu (Cu-fl) e o Zn (Zn-fl) foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

Ao final do experimento, ou seja, 96 dias após o plantio, definiram-se: altura das plantas (ALT), a área foliar (AF) (Watson, 1947), a matéria seca das folhas (MS-fl), do colmo (MS-col), da panícula (MS-pan), dos grãos (MS-gr), da raiz (MS-r) e matéria seca total (MS-tot), o diâmetro e comprimento da panícula (DIAM e CPAN), a relação parte aérea:raiz (PAR), o comprimento dos internódios (CINT) e a produção (PROD), cujos resultados foram submetidos à análise de variância e se avaliou o efeito das doses de Cu e Zn através da curva ou superfície de resposta, obtida mediante regressão, enquanto as classes de solos foram comparadas por contrastes, considerando-se o solo menos intemperizado e os mais intemperizados (RQ vs LA e TX), e entre os mais intemperizados (LA vs TX).

Escolheu-se o modelo de regressão com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), na significância dos parâmetros e pelo significado biológico do fenômeno, testados pelo teste F até 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor foliar de Cu das plantas cultivadas no TX decresceu com a aplicação de Cu e Zn (Tabela 2). A maior dose de Zn na ausência de Cu resultou no maior teor foliar de Zn nas plantas cultivadas no LA mas, com o aumento das doses de Cu, os teores foliares de Zn decresceram linearmente (Tabela 2), mostrando clara interação negativa entre os elementos, confirmando os resultados obtidos

em outros trabalhos (Gomes et al., 2006; Furlani et al., 2005; Bertoni et al., 1999). Este antagonismo pode ser explicado pela competição dos cátions bivalentes por carregadores nos sítios de absorção na membrana plasmática (Marschner, 1995).

**Tabela 2.** Equações de regressão das variáveis de crescimento de sorgo em função de doses de Cu e Zn, em três solos da Paraíba

Solo	Equação	R <sup>2</sup>
Teor de Cu na folha diagnóstica		
TX	$\hat{Y} = 8,3874 - 4,4856\text{Cu} + 1,5224*\text{Cu}^2$	0,65
TX	$\hat{Y} = 7,691 - 1,3674*\text{Zn}$	0,90
Teor de Zn na folha diagnóstica		
LA	$\hat{Y} = 13,72 + 6,26\text{Cu} + 8,32\text{Zn} - 7,03**\text{Cu}*\text{Zn}$	0,72
Área Foliar		
LA	$\hat{Y} = 2091,1 + 2261,7\text{Cu} - 886,51*\text{Cu}^2$	0,80
TX	$\hat{Y} = 3080,9 + 183,2*\text{Cu}$	0,70
Diâmetro do colmo		
LA	$\hat{Y} = 11,666 + 9,933\text{Cu} - 3,972**\text{Cu}^2$	0,82
TX	$\hat{Y} = 16,795 - 0,821\text{Cu} + 1,93\text{Zn} + 1,911\text{Cu}^2 - 1,801**\text{Cu}*\text{Zn}$	0,74
Número de folhas		
RQ	$\hat{Y} = 7,8243 - 0,2369*\text{Cu}$	0,96
Comprimento de panícula		
LA	$\hat{Y} = 22,479 + 15,928\text{Cu} - 8,201**\text{Cu}^2$	0,89
Diâmetro de panícula		
LA	$\hat{Y} = 9,555 + 13,363\text{Cu} - 6,903**\text{Cu}^2$	0,79
Relação parte aérea:raiz		
LA	$\hat{Y} = 8,757 - 1,678**\text{Cu}$	0,81
Produção		
LA	$\hat{Y} = 22,845 + 103,55\text{Cu} - 47,725**\text{Cu}^2$	0,89

LA: Latossolo Amarelo; TX: Luvisolo Háptico; RQ: Neossolo Quartzarênico; \*,\*\*: significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente

A estimativa dos contrastes entre os solos evidenciou maiores teores foliares médios de Cu de  $10,5 \text{ mg kg}^{-1}$  no TX e de Zn de  $29,9 \text{ mg kg}^{-1}$  no RQ (Tabela 3). Esses teores foliares são considerados adequados para o desenvolvimento das plantas, tendo em vista que para a cultura do sorgo eles são de  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cu e  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn (Malavolta et al., 1997); no entanto, os teores de Cu seriam considerados insuficientes para as plantas cultivadas no LA e RQ, cujos valores médios foram de 3,45 e  $7,09 \text{ mg kg}^{-1}$  (Tabela 3).

Os teores de matéria orgânica e de argila,  $17,5$  e  $282 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente, observados no solo originalmente (Tabela 1) podem ter influenciado a baixa absorção de Cu pelas plantas cultivadas no LA (Tabela 3). O Cu possui a propriedade de formar complexos e quelatos estáveis com a matéria orgânica do solo (Silveira et al., 1999), com os óxidos de ferro encontrados em concentrações mais altas em solos muito intemperizados, como os Latossolos (Nascimento et al., 2003), ou formar hidróxidos e se precipitar em solos com pH elevado (Silveira et al., 1999), como é o caso do RQ, cujo pH é 6,9 (Tabela 1).

Os teores foliares médios de Zn nas plantas cultivadas nos três solos, são considerados adequados (Tabela 3), já que o nível crítico para deficiência de Zn na quarta folha de sorgo a partir do topo, é de  $13 \text{ mg kg}^{-1}$  (Ohki, 1984). O maior teor de argila, que possui alta afinidade de adsorção de Zn

**Tabela 3.** Valores médios e estimativa dos contrastes para as variáveis de crescimento de plantas de sorgo em três classes de solos do Estado da Paraíba influenciados por doses de Cu e Zn

Parâmetros	Valores médios <sup>1</sup>			Estimativa dos contrastes	
	Solos			Contrastes	
	LA	TX	RQ	RQ vs LA e TX	LA vs TX
Cu-fl (mg kg <sup>-1</sup> )	3,45	10,5	7,09	0,23 <sup>ns</sup>	-7,05 <sup>**</sup>
Zn-fl (mg kg <sup>-1</sup> )	21,5	23,3	29,9	15,0 <sup>**</sup>	-1,80 <sup>ns</sup>
AF (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )	3088	3244	2883	-566 <sup>**</sup>	-156 <sup>ns</sup>
ALT (cm)	71,5	69,2	70,0	-0,70 <sup>ns</sup>	2,26 <sup>ns</sup>
DIAM (mm)	15,9	18,6	17,1	-0,30 <sup>ns</sup>	-2,70 <sup>**</sup>
NUMF	7,73	7,72	7,60	-0,25 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
CINT (cm)	11,9	10,6	11,8	1,10 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>**</sup>
CPAN (cm)	27,2	27,4	28,6	2,60 <sup>**</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>
DPAN (cm)	13,5	12,3	14,3	2,80 <sup>**</sup>	1,16 <sup>*</sup>
PAR	7,25	8,43	8,66	1,64 <sup>*</sup>	-1,18 <sup>**</sup>
MS-fl (g)	13,8	15,6	13,6	-2,1 <sup>**</sup>	-1,8 <sup>**</sup>
MS-col (g)	29,7	31,9	30,3	-1,05 <sup>ns</sup>	-2,17 <sup>ns</sup>
MS-pan (g)	52,7	66,7	65,7	12,0 <sup>ns</sup>	-13,9 <sup>**</sup>
MS-gr <sup>2</sup> (g)	47,7	60,3	59,7	11,4 <sup>*</sup>	-12,6 <sup>**</sup>
MS-r (g)	16,1	14,5	14,1	-2,34 <sup>ns</sup>	1,64 <sup>ns</sup>
MS-tot (g)	112,4	129	123,8	6,13 <sup>ns</sup>	-16,6 <sup>**</sup>
PROD (g planta <sup>-1</sup> )	60,11	73,48	72,83	12,07 <sup>*</sup>	-13,37 <sup>**</sup>

<sup>1</sup> Os valores médios são calculados com todas as plantas, sem distinção entre as doses de Cu e Zn aplicadas; <sup>2</sup> A matéria seca dos grãos não é computada no cálculo da matéria seca total; \*, \*\*, ns: significativo a 5%, 1% e não significativo pelo teste F, respectivamente

(Nascimento & Fontes, 2004), encontrado no LA, possivelmente favoreceu uma quantidade menor do Zn em solução, resultando em menores teores de Zn na folha diagnóstica das plantas cultivadas neste solo (Tabela 3).

Utilizando-se as derivadas primeiras das funções apresentadas na Tabela 2, foram encontradas as doses referentes à máxima produção estimada. Observou-se que, com a aplicação de 1,28 mg kg<sup>-1</sup> de Cu se atingiu a área foliar máxima das plantas cultivadas no LA, 3533,6 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, representando incrementos de 68% em relação às plantas que não receberam aplicação de cobre (Tabela 2). No TX, com a aplicação de doses crescentes de Cu, ocorreu incremento linear na área foliar das plantas. O cobre é um elemento requerido para o bom desenvolvimento das plantas, visto que plantas com deficiência ou excesso deste nutriente apresentam área foliar reduzida (Khurana et al., 2006; Fageria, 2002; Mockett et al., 1996). A aplicação de doses de Zn ao solo não teve efeito significativo na área foliar das plantas de sorgo. As plantas cultivadas no TX apresentaram maiores valores médios de área foliar (Tabela 3).

A altura das plantas não foi influenciada significativamente pelos tratamentos, em nenhum dos solos; os contrastes entre os solos também não foram significativos para esta variável (Tabela 3); já para diâmetro de colmo se obteve, com a aplicação de 1,25 mg kg<sup>-1</sup> de cobre no LA, o maior diâmetro de colmo, 17,9 mm (Tabela 2); foi notória a interação negativa entre as doses de Cu e Zn no TX, indicando que o aumento das doses de Cu diminuiu a absorção do Zn e vice-versa (Tabela 2). As plantas cultivadas no TX mostraram maiores valores médios de diâmetro de colmo em relação àquelas cultivadas no LA (Tabela 3); não se constatou influência das doses de Cu no RQ nem das do-

ses de Zn no LA e RQ; o número de folhas não foi afetado pelas doses de Cu no LA nem no TX, não se verificando o mesmo com o RQ em que, com o aumento das doses de Cu, houve decréscimo no número de folhas (Tabela 2); por fim, os contrastes entre os solos também não foram significativos (Tabela 3).

O comprimento de internódios das plantas de sorgo não sofreu influência com a aplicação de Cu e Zn. As plantas cultivadas no LA apresentaram os maiores valores médios para o comprimento de internódios em relação àquelas cultivadas no TX (Tabela 3), devido, provavelmente, ao maior equilíbrio entre os teores de Cu e Zn presentes originalmente no solo, evitando interação negativa entre os elementos.

O comprimento e o diâmetro de panícula das plantas cultivadas no LA apresentaram incrementos de 34 e 67%, respectivamente, com a aplicação de doses de Cu, cujos valores máximos estimados foram atingidos com as doses 0,97 e 0,96 mg kg<sup>-1</sup>. Os resultados obtidos são devidos, possivelmente, ao aumento na iniciação floral e a produção de grãos de pólen viáveis favorecendo um desenvolvimento melhor e à formação da panícula, uma das funções do Cu na planta (Mengel & Kirkby, 2001; Marschner, 1995). Verificou-se que, entre os solos, as plantas cultivadas no RQ apresentaram maiores valores médios para comprimento e diâmetro de panícula (Tabela 3); entre LA e TX, as plantas cultivadas no LA indicaram os maiores valores médios de diâmetro de panícula (Tabela 3).

O decréscimo linear, observado na relação parte aérea:raiz com o aumento das doses de Cu, pode estar associado ao maior sistema radicular das plantas cultivadas no LA (Tabela 3). Os maiores valores médios de relação parte aérea:raiz encontrados nas plantas cultivadas no RQ (Tabela 3) se devem, sem dúvida, ao menor sistema radicular das plantas de sorgo cultivadas neste solo (Tabela 3), resultado de um excesso de cobre na solução do solo, como observado em outras plantas, por Luchese et al. (2004), Chen et al. (2002), Liao et al. (2000) e Jarausch-Wehrheim et al. (1996), tendo em vista que este solo apresentou os menores teores de argila e carbono orgânico, diminuindo a adsorção do elemento ao solo.

A biomassa de sorgo sofreu incrementos com a aplicação de doses de Cu no LA; as produções máximas estimadas de matéria seca de folha, panícula, grãos e total, seriam atingidas com as doses de 1,24, 1,07, 1,07 e 1,26 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, respectivamente (Figura 1A, 1C, 1E e 1F); aumentos na matéria seca de plantas de arroz, feijão, chicória e estilosantes, foram observados com a aplicação de cobre; no entanto, doses excessivas podem diminuir a matéria seca de raiz (Fageria, 2002; Liao et al., 2000; Jarausch-Wehrheim et al., 1996; Galvão et al., 1992). Os maiores valores médios de matéria seca de todos os constituintes da planta de sorgo avaliados, exceto a matéria seca de raiz, foram observados no TX (Tabela 3).

Incrementos na produção de grãos de sorgo foram observados com a aplicação de cobre no LA. A maior produção de grãos estimada, 79,01 g planta<sup>-1</sup>, seria obtida com a dose 1,08 mg kg<sup>-1</sup> de Cu (Figura 2); esses resultados confirmam os encontrados na literatura, (Martins et al., 2003; Galvão, 1999; Sfredo et al., 1997), e enfatizam a importância da

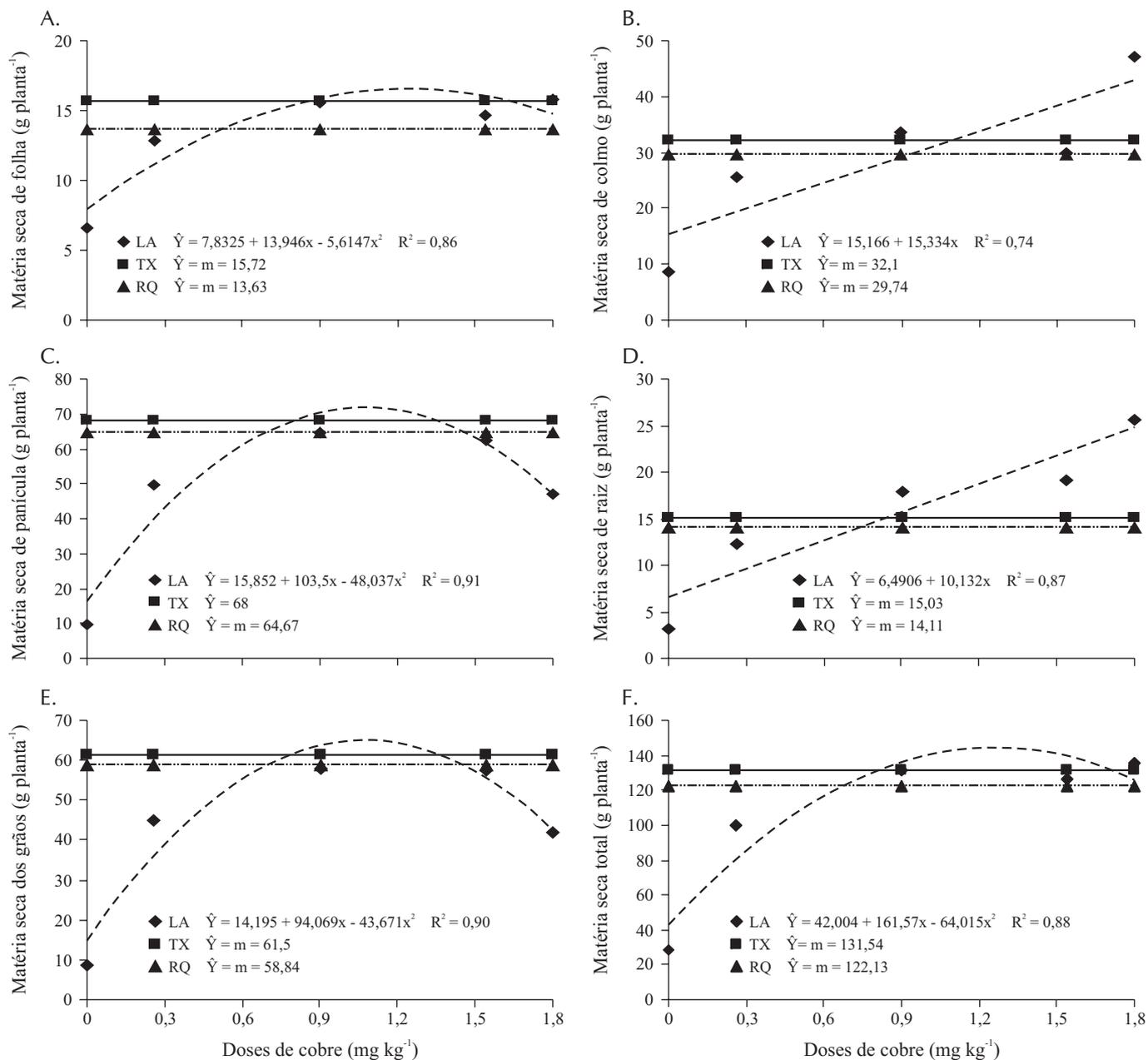


Figura 1. Matéria seca de folhas (A), colmo (B), panícula (C), raiz (D), grãos (E) e total (F) de plantas de sorgo, influenciados por doses de cobre em diferentes solos, Latossolo (LA), Luvisso (TX) e Neossolo (RQ) do Estado da Paraíba

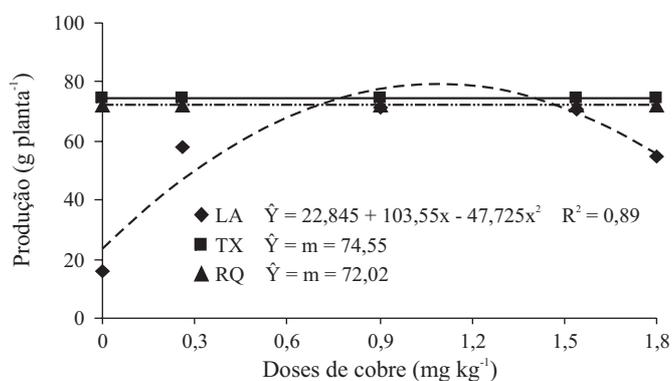


Figura 2. Produção de grãos de sorgo cultivado em três solos, Latossolo (LA), Luvisso (TX) e Neossolo (RQ), do Estado da Paraíba, influenciada por doses de cobre

adubação cúprica para a obtenção de boas produções de grãos. Observaram-se os maiores valores médios de produção de grãos no TX (Tabela 3), apesar da adubação cúprica não ter influenciado a produção neste solo.

## CONCLUSÕES

1. A adubação cúprica favorece o bom desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas de sorgo, não se observando o mesmo com a adubação com zinco, ocorrendo antagonismo entre esses nutrientes, em algumas variáveis.

2. A utilização de 1,08 mg kg<sup>-1</sup> de Cu no LA proporcionou aumento de produção de grãos de sorgo, não havendo resposta à adubação com zinco.

3. O Luvissole, com a aplicação de Cu e Zn, foi o mais apropriado para o cultivo do sorgo.

#### LITERATURA CITADA

- Bertoni, J. C.; Holanda, F. S. R.; Carvalho, J. G.; de Paula, M. B.; Assis, M. P. Efeito do cobre na nutrição do arroz irrigado por inundação – teores e acúmulo de nutrientes. *Ciência e Agrotecnologia*, v.23, n.3, p.547-559, 1999.
- Chen, E.; Chen, Y.; Chen, L.; Liu, Z. Effect of copper on peroxidase activity and lignin content in *Raphanus sativus*. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.40, n.5, p.439-444, 2002.
- CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do estado de Minas Gerais. Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. aproximação. Viçosa, 1999. 359p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- 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, n.3, p.390-395, 2000.
- Fageria, N. K. Influence of micronutrients on dry matter yield and interaction with other nutrients in annual crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.12, p.1765-1772, 2002.
- Furlani, A. M. C.; Furlani, P. R.; Meda, A. R.; Duarte, A. P. Efficiency of maize cultivars for zinc uptake and use. *Scientia Agrícola*, v.62, n.3, p.264-273, 2005.
- Galvão, E. Z. Métodos de aplicação de cobre e avaliação da disponibilidade para a soja num Latossolo Vermelho-Amarelo Franco-Argilo-Arenoso fase cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.265-272, 1999.
- Galvão, E. Z.; Andrade, R. P.; Vilela, L. Efeito de micronutrientes, cobalto e enxofre no rendimento de matéria seca de estilozantes em solo sob cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p.75-78, 1992.
- Gomes, S. B. V.; Nascimento, C. W. A.; Biondi, C. M.; Accioly, A. M. A. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto. *Ciência Rural*, v.36, n.6, p.1689-1695, 2006.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola. 2005. <<http://www.ibge.gov.br>>. 11 Set. 2006.
- Jarusch-Wehrheim, B.; Mocquot, B.; Mench, M. Uptake and partitioning of sludge-borne copper in field-grown maize (*Zea mays* L.). *European Journal of Agronomy*, v.5, p.259-271, 1996.
- Khurana, N.; Singh, M. V.; Chatterjee, C. Copper stress alters physiology and deteriorates seed quality of rapeseed. *Journal of Plant Nutrition*, v.29, p.93-101, 2006.
- Lepsch, I. F. Formação e conservação dos solos. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178p.
- Liao, M. T.; Hedley, M. J.; Woley, D. J.; Brooks, R. R.; Nichols, M. A. Copper uptake and translocation in chicory (*Chicorium intybus* L. cv. Grasslands Puna) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill cv. Rondy) plants grown in NFT system. I. Copper uptake and distribution in Plants. *Plant and Soil*, v.221, p.135-142, 2000.
- Luchese, A. V.; Gonçalves Junior, A. C.; Luchese, E. B.; Braccini, M. C. L. Emergência e absorção de cobre por plantas de milho (*Zea mays*) em resposta ao tratamento de sementes com cobre. *Ciência Rural*, v.34, n.6, p.1949-1952, 2004.
- Malavolta, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica 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.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- Martens, D. C.; Westermann, D. T. Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies. In: Mortvedt, J. J.; Cox, F. R.; Shuman, L. M.; Welch, R. M. (eds.). *Micronutrients in agriculture*. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p.549-592.
- Martins, A. L. C.; Bataglia, O. C.; Camargo, O. A.; Cantarella, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.563-574, 2003.
- Mateus, N. B.; Barbin, D.; Conagin, A. Viabilidade de uso do delineamento composto central. *Acta Scientiarum*, v.23, n.6, p.1537-1546, 2001.
- Menezes, R. S. C.; Garrido, M. S.; Perez, A. M. Fertilidade dos solos no semi-árido. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30, 2005, Recife. Anais... Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. CD-Rom.
- Mengel, K.; Kirkby, E. Principles of plant nutrition. 5.ed. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001, 849p.
- Mocquot, B.; Vangronsveld, J.; Clijsters, H.; Mench, M. Copper toxicity in young maize (*Zea mays* L.) plants: Effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and enzyme activities. *Plant and Soil*, v.182, p.287-300, 1996.
- Nascimento, C. W. A.; Fontes, R. L. F. Correlação entre características de latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.965-971, 2004.
- Nascimento, C. W. A.; Fontes, R. L. F.; Melicio, A. C. F. D. Copper availability as related to soil copper fractions in oxisols under liming. *Scientia Agrícola*, v.60, n.1, p.167-173, 2003.
- Ohki, K. Zinc nutrition related to critical deficiency and toxicity levels for Sorghum. *Agronomy Journal*, v.76, p.253-256, 1984.
- Ritchey, K. D.; Cox, F. R.; Galvão, 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.
- Sfredo, G. J.; Borkert, C. M.; Nepomuceno, A. L.; Oliveira, M. C. N. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.41-45, 1997.
- Silveira, M. L. A.; Alleoni, L. R. F.; Casagrande, J. C.; Camargo, O. A. Energia livre da reação de adsorção de cobre em latossolos ácidos. *Scientia Agrícola*, v.56, n.4, p.1117-1122, 1999.
- Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A.; Bonhen, H.; Volkweiss, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.
- Watson, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in net assimilation and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, v.11, n.44, p.41-76, 1947.