

MANGANÊS NA NUTRIÇÃO MINERAL DE CULTIVARES DE ARROZ DE TERRAS ALTAS¹

Eric Victor de Oliveira Ferreira², Janice Guedes de Carvalho³,
Leilson Antônio de Faria Júnior⁴, Ana Rosa Ribeiro Bastos³, Paulo Jorge de Pinho³

ABSTRACT

MANGANESE MINERAL NUTRITION OF UPLAND RICE CULTIVARS

Manganese promotes expressive effects on plant nutrition, decreasing yield at toxic or deficient levels. The research was carried out to evaluate the response of upland rice cultivars to Mn fertilization, at tillering stage, in a cohesive Yellow Latosol. The experiment followed a completely randomized design, with four replicates, with treatments arranged in a 3x5 factorial scheme. These factors consisted of three upland rice cultivars (Carisma-1999, Conai-2004, and BRSMG Curinga-2004) and five Mn rates (0 mg dm⁻³, 10 mg dm⁻³, 20 mg dm⁻³, 30 mg dm⁻³, and 40 mg dm⁻³). High purity MnSO₄ was applied to soil as Mn source. Carisma cultivar presented the smallest dry matter production. For all cultivars, Mn content was above appropriate content levels, independently of soil applied rates. Fe and Mn content were influenced by rates and cultivars factors alone and significant difference was found for interaction between the studied factors and Ca, S, Cu, and Zn content.

KEY-WORDS: *Oryza sativa* L.; tillering stage; Mn fertilization; micronutrients.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o arroz (*Oryza sativa* L.) possui grande importância econômica e social, por ser um produto básico da alimentação da população e ser cultivado em todas as Unidades da Federação (FAO 2002). Uma alternativa para proporcionar aumento da produtividade orizícola nacional seria a utilização de fatores tecnológicos e sócio-econômicos. Enfatizando-se os tecnológicos, podemos citar os fertilizantes químicos e orgânicos, os quais, se não forem utilizados de maneira adequada, podem levar ao baixo retorno econômico e resultar em sérios problemas ambientais (Fornasieri & Fornasieri Filho 1993).

RESUMO

O manganês promove efeitos expressivos na nutrição das plantas, tanto do ponto de vista da deficiência, como da toxicidade, com perdas significativas na produção de plantas cultivadas sob ambos os efeitos. Com o objetivo de avaliar a resposta de cultivares de arroz de terras altas à fertilização com Mn, por ocasião do perfilhamento, em um Latossolo Amarelo coeso, realizou-se este trabalho. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial 3x5. Os fatores constituíram-se de três cultivares de arroz de terras altas (Carisma-1999, Conai-2004 e BRSMG Curinga-2004) e cinco doses de Mn (0 mg dm⁻³, 10 mg dm⁻³, 20 mg dm⁻³, 30 mg dm⁻³ e 40 mg dm⁻³ de solo), sendo aplicadas via solo, utilizando-se, como fonte, o MnSO₄ p.a. Todas as cultivares apresentaram teores de Mn, na parte aérea, acima dos considerados como adequados, independentemente da dose de Mn aplicada ao solo. Os teores de Fe e Mn sofreram influência dos fatores doses e cultivares, isoladamente, e houve diferença significativa na interação entre os fatores avaliados, no tocante aos teores de Ca, S, Cu e Zn.

PALAVRAS-CHAVE: *Oryza sativa* L.; perfilhamento; adubação com Mn; micronutrientes.

Nesse sentido, a aplicação de Mn, via fertilizantes, quando necessária, torna-se uma importante ferramenta, com vistas ao aumento de produtividade da cultura orizícola. O Mn é um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, o mesmo apresenta efeitos expressivos na nutrição das plantas, tanto do ponto de vista da deficiência, como da toxicidade, com perdas significativas na produção de plantas cultivadas sob ambos os efeitos (Lopes 1999). Nos 12 milhões de hectares que estão ocupados com culturas anuais, nos cerrados brasileiros, os principais solos são os latossolos (Resck 2001). Em geral, esses solos são distróficos, de baixa CTC, ácidos e ricos em seqüióxidos de Fe e Al, ne-

1. Trabalho recebido em ago./2008 e aceito para publicação em jun./2009 (n° registro: PAT 4526).

2. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. E-mail: ericosolos@yahoo.com.br.

3. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. E-mails: janicegc@ufla.br, arosa@ufla.br, pinhopj@yahoo.com.br.

4. Fertilizantes Heringer S/A, Uberaba, MG. E-mail: leilson.junior@gmail.com.

cessitando de correção da acidez e fertilização para obtenção de elevadas produtividades das culturas (Malavolta & Kliemann 1985). Essas características de elevada acidez e grande presença de sequeixidos de Fe e Al dos latossolos dos cerrados favorecem a presença de altos teores de Mn disponível, o que, em alguns casos, pode provocar a toxidez desse elemento, para a maioria das plantas cultivadas nos solos dessa região. No entanto, a utilização de solos com teores de nutrientes naturalmente baixos e o esgotamento de solos férteis, acelerado pelo aumento de produtividade, além da utilização inadequada de calcário, têm contribuído para aumentar a deficiência de Mn nas plantas cultivadas (Tanaka et al. 1993). Como consequência, o uso de fontes contendo micronutrientes, nas produções agrícolas, aumentou notadamente, em anos recentes (Lopes 1999).

De acordo com Sanzanowicz (1995), na região dos cerrados do Brasil, os solos em condições naturais apresentam baixos teores de Mn disponível, considerando-se o nível crítico de 5 mg dm^{-3} de Mn (extrator Mehlich I), em pH 6,0 (H_2O), existindo a probabilidade de ocorrer deficiência desse nutriente em cerca de 1/3 dos solos dessa região, principalmente nos Estados de Goiás, Minas Gerais e no Distrito Federal. Sintomas de deficiência e toxicidade de Mn têm sido constatados em várias culturas, em diversas regiões agrícolas (Abreu et al. 1996).

Verifica-se, também, que as respostas à aplicação de nutrientes podem variar, além da espécie da cultivar utilizada. Portanto, tornam-se necessários estudos que caracterizem melhor tal comportamento. Podem-se observar diferenças significativas, no tocante à aplicação de Mn, quanto à produção de grãos cheios, em que a cultivar Canastra mostrou-se mais responsiva, quando comparada com a cultivar Confiança, a partir da aplicação de $6,81 \text{ mg dm}^{-3}$ de Mn via solo (Pereira et al. 2001).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o teor de nutrientes e a produção de massa seca, em três cultivares de arroz de terras altas, sob cinco doses de Mn, em um Latossolo Amarelo coeso (LAX).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais ($21^{\circ}14'S$, $45^{\circ}00'W$ e altitude de 910 m), sendo conduzido no período de dezembro de 2005 a abril de 2006.

O solo utilizado como substrato foi classificado como Latossolo Amarelo coeso (LAX) (Embrapa 2006), classe textural argilosa, proveniente do município de Ijaci (MG), coletado na camada superficial (0-20 cm), sendo destorroado, seco ao ar e passado em peneira com malha de 5 mm de abertura. Foi tomada uma subamostra, a qual foi passada em peneira de 2 mm de abertura, constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA), para caracterização química e textural.

Os resultados das análises químicas e físicas, antes da implantação do experimento, foram: características físicas: 400 g kg^{-1} de areia, 220 g kg^{-1} de silte e 380 g kg^{-1} de argila (Day 1965); e características químicas: pH em $\text{H}_2\text{O} = 6,0$, P extraível = $10,8 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{K}^+ = 0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{Ca}^{2+} = 3,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{Mg}^{2+} = 1,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $\text{Al}^{3+} = 0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, conforme Vettori (1969), com modificações de Embrapa (1997). Os micronutrientes foram determinados segundo Vettori (1969), sendo: Zn = $6,4 \text{ mg dm}^{-3}$, Fe = $56,1 \text{ mg dm}^{-3}$, Mn = $8,0 \text{ mg dm}^{-3}$, B = $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ e Cu = $75,1 \text{ mg dm}^{-3}$. Demais resultados da análise do solo: H + Al = $2,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, CTC = $8,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, V = $50,0\%$ e MO = $37,0 \text{ g kg}^{-1}$, de acordo com Raij et al. (2001).

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial 3×5 . Os fatores constituíram-se de três cultivares de arroz de terras altas (Carisma-1999, Conai-2004 e BRSMG Curinga-2004), indicadas para o sistema de cultivo, e cinco doses de Mn (0 mg dm^{-3} , 10 mg dm^{-3} , 20 mg dm^{-3} , 30 mg dm^{-3} e 40 mg dm^{-3} de solo), aplicadas via solo, utilizando-se como fonte o MnSO_4 p.a. Cada parcela experimental foi constituída por um vaso, com volume de $5,0 \text{ dm}^3$ de solo, e cinco plantas de arroz.

As sementes de arroz foram tratadas com solução de hipoclorito de sódio, a 5 %, sendo imersas, por um período de dez minutos, e semeadas em número de oito por vaso. Após a germinação, deixaram-se cinco plantas uniformes e vigorosas por vaso. A umidade do solo foi mantida entre 60% e 80% do volume total de poros do solo (VTP), usando-se água desmineralizada, sendo o controle feito por pesagens dos vasos.

Antes do plantio, efetuou-se a aplicação de carbonato de cálcio p.a. e hidroxicarbonato de magnésio p.a., para elevar a saturação por bases a 60%, conforme critério recomendado pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais

(1999), na relação Ca:Mg 3:1. Os vasos permaneceram incubados por 15 dias, com a umidade do solo em torno de 60% do volume total de poros (VTP) (Freire et al. 1980). A seguir, foram adicionadas ao solo quantidades suficientes de macronutrientes (N = 300 mg dm⁻³, P = 200 mg dm⁻³, K = 300 mg dm⁻³, Mg = 30 mg dm⁻³ e S = 50 mg dm⁻³) e micronutrientes (Cu = 1,5 mg dm⁻³, B = 0,5 mg dm⁻³; Zn = 5,0 mg dm⁻³ e Mo = 0,1 mg dm⁻³), na forma de reagentes p.a., sendo as doses de N e K parceladas em três aplicações (plantio, 25 e 45 dias após emergência) (Malavolta 1980). As doses de Mn foram aplicadas após a germinação das plântulas de arroz. Os nutrientes foram aplicados em forma de solução, para maior uniformização.

Aos 70 dias após a germinação, fase imediatamente anterior à iniciação da panícula em fase vegetativa (perfilhamento), fez-se a coleta da parte aérea (folhas + colmos) de três plantas em cada vaso, para posterior avaliação da massa seca e realização de análise foliar. As folhas mais novas dessa fase, com desenvolvimento normal e sem entrar em senescência, refletem, com maior precisão, o estado nutricional da planta de arroz (Barbosa Filho & Fageria 1980). Estas folhas foram lavadas em água destilada e deionizada, levadas a secar até atingir massa constante, em estufa de circulação forçada de ar, na faixa de 60°C a 70°C, pesadas e passadas em moinho tipo Wiley, para subsequente digestão nítrico-perclórica, para determinação dos teores de macro e micronutrientes, conforme procedimentos descritos por Malavolta et al. (1997).

Os resultados foram submetidos a análise de variância (teste F, p < 0,05), em que, quando significativos, realizou-se teste de médias (Tukey, a 5 %) para cultivares e estudo de regressão para doses e para a interação entre doses e cultivares, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (Ferreira 2000).

Com a utilização de modelos estatísticos adequados, determinou-se o efeito das doses de Mn em três cultivares de arroz de terras altas, na produção de massa seca da cultura e nos teores dos nutrientes, na época do perfilhamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre cultivares e doses de Mn, na produção de massa seca, na época do perfilhamento. Entretanto, houve efeito significativo do fator cultivar isoladamente, o mes-

mo não ocorrendo para o fator doses. As cultivares Conai e Curinga mostraram-se superiores à cultivar Carisma, em relação à produção de massa seca, por ocasião do perfilhamento, com médias de 7,97 g vaso⁻¹ e 8,35 g vaso⁻¹, para as duas primeiras cultivares, respectivamente, e média de 7,36 g vaso⁻¹ para a última (Tabela 1).

A ausência de resposta à fertilização com Mn, no que diz respeito à produção de massa seca no perfilhamento, pode ser atribuída ao teor de Mn original do solo (8,0 mg dm⁻³), que, de acordo com a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999), é tido como o nível crítico e, como tal, segundo Fritz (1976), citado por Santos (1999), é a concentração de um nutriente na planta, ou no solo, abaixo da qual existe a probabilidade de resposta da planta à sua adição no solo. Assim, já era de se esperar que, trabalhando com um micronutriente e, como tal, exigido em baixas concentrações, não houvesse resposta da cultura à aplicação de Mn, para a produção de massa seca, em decorrência do teor existente no solo. No entanto, cabe ressaltar que a produção de massa seca da parte aérea nem sempre reflete o mesmo comportamento que a produção de grãos, que é o produto final. Além disso, o comportamento diferenciado apresentado pelas cultivares, quanto à produção de massa seca, já justifica a realização do presente trabalho. Vale ressaltar que, conforme Lucas e Knezek (1972), o arroz é uma cultura que responde, de forma moderada, à aplicação de Mn e, de acordo com Fageria et al. (1995), o Mn é o segundo micronutriente mais extraído e acumulado por plantas de arroz.

Bastos (2004), testando fontes e doses de Mn na cultura do arroz, verificou efeito significativo da interação desses fatores na produção de massa seca da

Tabela 1. Médias de produção de massa seca e teor de Mn, de três cultivares de arroz, por ocasião do perfilhamento, em função da aplicação de doses de Mn.

| Cultivar | Massa seca g vaso ⁻¹ | Teor de Mn mg kg ⁻¹ |
|----------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Carisma | 7.36 b* | 1092,71 a |
| Conai | 7.97 ab | 920,85 b |
| Curinga | 8.35 a | 692,63 c |

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste Tukey.

parte aérea (folhas + colmos) no perfilhamento, parte aérea (folhas + colmos) na colheita, panícula, raiz e total. Por meio de resultados de massa seca, tem-se uma indicação do fornecimento de nutrientes pelo solo, podendo se conhecer os elementos deficientes e os efeitos dessa deficiência. Porém, os resultados de massa seca não podem ser considerados como quesito único para se inferir sobre o fornecimento de Mn pelas fontes e doses utilizadas para a cultura em questão (Bastos 2004).

Com relação aos teores foliares de nutrientes na parte aérea das cultivares de arroz, houve respostas diferenciadas. Os fatores cultivares e doses de Mn não influenciaram, significativamente, o teor de nitrogênio, fósforo e boro na parte aérea das plantas de arroz, por ocasião do perfilhamento. Para o potássio, apesar de não ter havido interação significativa entre os fatores, houve efeito significativo para cultivares, no que diz respeito ao teor do elemento. As cultivares Carisma e Curinga apresentaram-se superiores, com médias de $37,50 \text{ g kg}^{-1}$ e $37,14 \text{ g kg}^{-1}$ de K, respectivamente, enquanto, na cultivar Conai, observou-se uma média de $34,32 \text{ g kg}^{-1}$ de K. Para o teor de magnésio, também houve efeito significativo apenas para o fator cultivares, em que a cultivar Carisma apresentou um maior teor do elemento, com uma média de $2,84 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg, e as cultivares Conai e Curinga se mostraram iguais, estatisticamente, com médias de $2,57 \text{ g kg}^{-1}$ e $2,64 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg, respectivamente.

Já para o teor de cálcio e de enxofre, houve efeito significativo entre os fatores doses e cultivares. No caso do Ca, não foi observado efeito significativo das doses de Mn para as cultivares Conai (média de $3,04 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca) e Curinga (média de $3,80 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca). Para a cultivar Carisma o efeito foi significativo, com resposta quadrática negativa e teor máximo de $5,64 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca, na dose calculada de $25,12 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mn (Figura 1).

Para o teor de S, apenas não houve efeito significativo das doses de Mn para a cultivar Carisma (média de $2,33 \text{ g kg}^{-1}$ de S) e a resposta para as cultivares Conai e Curinga foi a mesma, respondendo de modo linear à aplicação das doses de Mn (Figura 2).

O teor de Mn na parte aérea das plantas de arroz apresentou resposta significativa, tanto para o fator doses, como para o fator cultivares, isoladamente, não havendo interação significativa entre os mesmos. Com relação às cultivares, a Carisma apresentou um maior teor do elemento, seguida da Conai e, final-

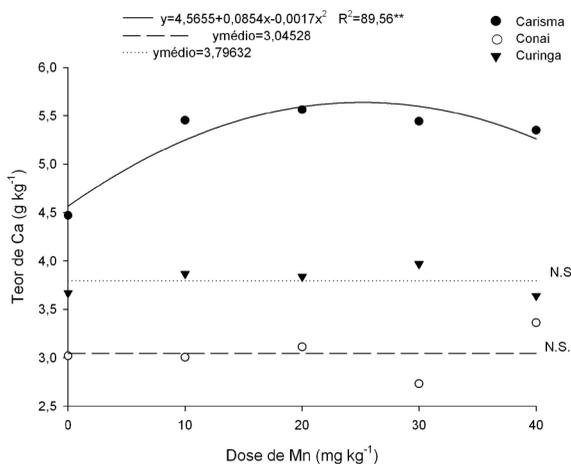


Figura 1. Teor de cálcio na parte aérea de cultivares de arroz, na época do perfilhamento, em função de doses de Mn.

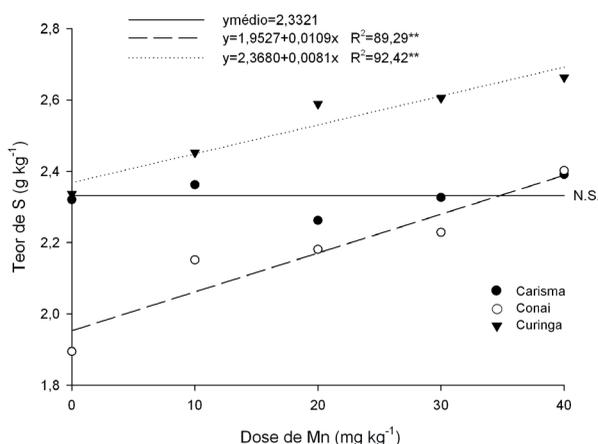


Figura 2. Teor de enxofre na parte aérea de cultivares de arroz, na época do perfilhamento, em função de doses de Mn.

mente, da Curinga, com médias de $1092,71 \text{ mg kg}^{-1}$, $920,85 \text{ mg kg}^{-1}$ e $692,63 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente (Tabela 1). Já para o fator doses, houve um aumento linear do teor de Mn, com o aumento das doses do elemento aplicadas ao solo, independentemente da cultivar estudada (Figura 3).

Com relação aos teores adequados de Mn, por ocasião do perfilhamento (época crítica de referência), todas as cultivares apresentaram teores acima da faixa considerada adequada por Fageria et al. (1995), de 30 mg kg^{-1} a 600 mg kg^{-1} , que estão próximos aos valores encontrados por Bastos (2004). Somente a cultivar Curinga esteve próxima, porém acima dos teores citados por Fageria et al. (1995), com uma média de $692,63 \text{ mg kg}^{-1}$. Vale ressaltar, também, que,

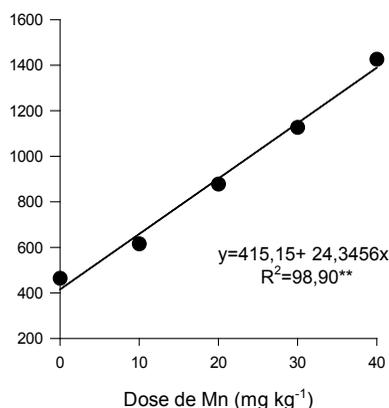


Figura 3. Teor de Mn na parte aérea de plantas de arroz, na época do perfilhamento, em função de doses de Mn.

por ocasião do perfilhamento, somente a cultivar Carisma atingiu níveis considerados como tóxicos para plantas de arroz ($> 1000 \text{ mg kg}^{-1}$) e, mesmo assim, não foram verificados sintomas de toxidez. Porém, observou-se uma menor produção de massa seca pelas plantas dessa cultivar, possivelmente devido a esse alto teor do elemento encontrado na parte aérea das mesmas (“toxidez oculta”).

Graham (1988) discute as diferenças varietais, em relação à tolerância ao excesso de Mn, através de mecanismos de cinética de absorção e translocação do mesmo dentro da planta. De modo geral, o Mn absorvido pelas raízes pode chegar ao topo da planta, não diretamente, mas através de etapas. As diferenças dos genótipos podem se manifestar, de acordo com a variação no volume de Mn acumulado no tecido e na capacidade da planta em liberar esse elemento dentro do vegetal. A maior tolerância de cultivares de soja ao excesso de Mn foi associada à capacidade de tolerar altos níveis internos de Mn e não a um possível mecanismo de exclusão desenvolvido pela planta (Komatuda et al. 1993). Esses resultados mostram que não existe uma avaliação precisa do nível crítico de toxicidade e que a concentração de Mn deverá ser usada como diagnóstico da toxicidade, com algumas restrições. Também, a faixa ótima de Mn parece ser bem mais estreita que a considerada adequada por Fageria et al. (1995), $30\text{-}600 \text{ mg kg}^{-1}$. Esse fato, aliado a argumentações de Clarkson (1988), de que a absorção de Mn não é exatamente controlada e que é bem provável que exista nas células mais Mn do que aquele utilizado na bioquímica, já que suas exigências quantitativas são pequenas, reforça a suspeita

da existência de uma faixa ótima bem menor do que o nível adequado, conforme apontado por Fageria et al. (1995).

Comportamento semelhante ao do Mn foi observado para o teor de ferro na parte aérea das plantas de arroz, ou seja, a resposta apenas foi significativa para os fatores doses e cultivares isoladamente. Com relação às cultivares, quanto ao teor de Fe, a Curinga e a Carisma mostraram-se superiores à cultivar Conai (médias de $83,30 \text{ mg kg}^{-1}$, $68,76 \text{ mg kg}^{-1}$ e $59,79 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe, respectivamente). Para o fator doses, apesar de ter havido efeito significativo, em relação ao teor de Fe na parte aérea das plantas de arroz, não foi obtido ajuste polinomial adequado, apresentando teor médio de $70,62 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe (Figura 4), independentemente da cultivar.

Para os teores de zinco e cobre, houve efeito significativo para a interação doses e cultivares. No caso do teor de Zn, as doses de Mn apenas não influenciaram a cultivar Carisma (média de $51,16 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn) e, para as cultivares Conai e Curinga, a resposta foi quadrática positiva para ambas (Figura 5). Na cultivar Conai, o teor mínimo de $31,56 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn foi proporcionado pela dose calculada de $23,79 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mn e, para a cultivar Curinga, com a dose calculada de $17,30 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mn, obteve-se o teor mínimo de $26,22 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn. Em estudo de Pereira (1999), avaliando cultivares de arroz de terras altas, não se verificou efeito significativo sobre os teores foliares de B, Cu e Zn, com a aplicação de doses de Mn. Já para os teores foliares de Fe e Mn, foi verificado efeito significativo, com a aplicação desses tratamentos.

No caso dos teores de Cu, a aplicação das doses de Mn não apresentou efeito significativo para as cultivares Conai (média de $10,20 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cu)

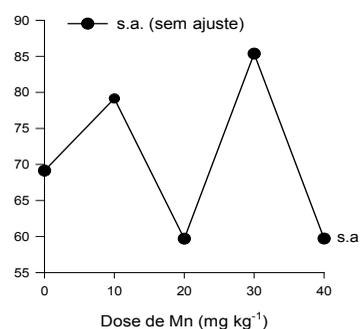


Figura 4. Teor de ferro na parte aérea de plantas de arroz, na época do perfilhamento, em função de doses de Mn.

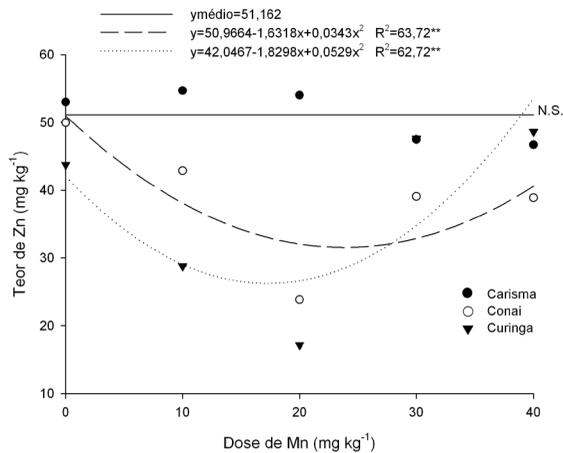


Figura 5. Teor de zinco na parte aérea de cultivares de arroz, na época do perfilhamento, em função de doses de Mn.

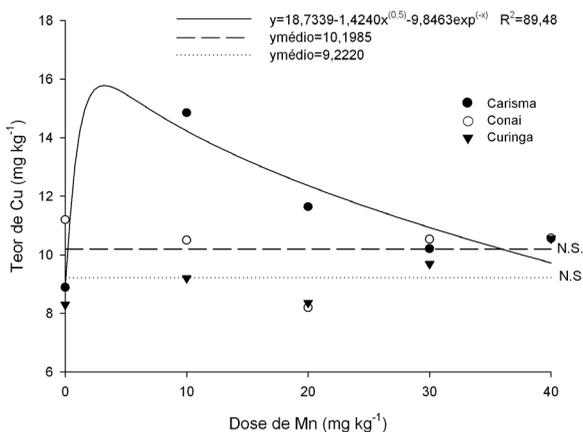


Figura 6. Teor de cobre na parte aérea de cultivares de arroz, na época do perfilhamento, em função de doses de Mn.

e Curinga (média de 9,22 mg kg⁻¹ de Cu). Já para a cultivar Carisma, houve efeito significativo, com resposta do tipo exponencial, com teor máximo de 15,79 mg kg⁻¹ de Cu, proporcionado pela dose calculada de 3,21 mg kg⁻¹ de Mn (Figura 6).

CONCLUSÕES

1. A cultivar Carisma foi a que apresentou a menor produção de massa seca. Embora não tenha sido observado sintoma visual de toxidez, essa cultivar apresentou um teor médio de Mn dentro da faixa considerada como tóxica para a cultura (> 1000 mg dm⁻³).

2. A aplicação de Mn influenciou, de maneira semelhante, entre cultivares, os teores de Fe e Mn na parte aérea das plantas de arroz. Independentemente da dose de Mn aplicada ao solo, todas as cultivares apresentaram teores de Mn, na parte aérea, acima dos considerados como adequados.
3. Houve diferença significativa na interação entre os fatores cultivares e doses, no tocante aos teores foliares de Ca, S, Cu e Zn.

REFERÊNCIAS

ABREU, C. A.; VAN RAIJ, B.; TANAKA, R. T. Fontes de manganês para a soja e seus efeitos na análise do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 20, n. 1, p. 91-97, 1996.

BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K. *Ocorrência, diagnose e correção da deficiência de zinco na cultura de arroz de sequeiro*. Goiânia: Embrapa/CNPAF, 1980. (Circular técnica, 4).

BASTOS, A. R. R. *Avaliação da solubilidade de cobre e manganês em fertilizantes e da disponibilidade desses nutrientes a plantas de arroz*. 2004. 188 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)—Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

CLARKSON, D. T. The uptake and translocation of manganese by plant roots. In: GRAHAM R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (Eds.). *Manganese in soils and plants*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. p. 101-111.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.). *Methods of soil analysis, physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 545-566.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos e análises de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

- FAGERIA, N. K. et al. *Seja doutor do seu arroz*. Piracicaba: Potafos, 1995. (Arquivo do agrônomo, 9).
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). *Faostat Agriculture*. 2002. Disponível em: <<http://apps.fao.org/page/collections?subst=agriculture>>. Acesso em: 17 jan. 2002.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. *Anais...* São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- FORNASIERI, J. L.; FORNASIERI FILHO, D. *Manual da cultura do arroz*. Jaboticabal: Unesp, 1993.
- FREIRE, J. C. et al. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 4, n. 1, p. 5-8, 1980.
- GRAHAM, R. D. Genotypic differences in tolerance to manganese deficiency. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (Eds.). *Manganese in soils and plants*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. p. 261-276.
- KOMATUDA, C. R. N. et al. Comportamento de cultivares de soja sob deficiência ou excesso de manganês em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 17, n. 2, p. 217-221, 1993.
- LOPES, A. S. *Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônoma*. São Paulo: Anda, 1999. (Boletim técnico, 8).
- 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. (Eds.). *Micronutrients in agriculture*. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p. 265-288.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, C. G.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Ceres, 1980.
- MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H. J. *Desordens nutricionais no Cerrado*. Piracicaba: Potafos, 1985.
- PEREIRA, G. D. *Manganês em cultivares de arroz de sequeiro: prognose da disponibilidade, nutrição mineral e produção*. 1999. 111 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)—Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- PEREIRA, G. D. et al. Doses e modos de adubação com manganês e seus efeitos na produção da cultura do arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 25, n. 3, p. 625-633, 2001.
- RAIJ, B. V. et al. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico, 2001.
- RESCK, D. V. S. Uso e ocupação do solo e a crise energética no Brasil. *Boletim Informativo da Sociedade de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 14-18, 2001.
- SANTOS, H. Q. *Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades*. 1999. 80 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)—Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- SANZONOWICZ, C. *Deficiência de manganês em solos do Cerrado*. Piracicaba: Potafos, 1995.
- TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A. Manganese deficiency in soybeans induced by excess lime. In: ARMSTRONG, D. L. (Ed.). *Better Crops International*. Norcross: Potash & Phosphate Institute, 1993. p. 7.
- VETTORI, L. *Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. (Boletim técnico, 5).