

JÚLIO CÉSAR BERTONI

**EFEITO DO COBRE NA NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO
DO ARROZ (*Oryza sativa* L.) CULTIVADO EM SOLOS
DE VÁRZEA SOB INUNDAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, Área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Francisco Sandro Rodrigues Holanda

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
1997**

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e
Catalogação da Biblioteca Central da UFLA

Bertoni, Júlio César.

Efeito do cobre na nutrição e crescimento do arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado em solos de várzea sob inundação / Júlio César Bertoni. -- Lavras : UFLA, 1997. 57p. : il.

Orientador: Francisco Sandro Rodrigues Holanda.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Arroz - Cobre - Várzea. 2. Solo de várzea - inundação. 3. Solo hidromórfico. 4. Solo inundado. 5. Extrator para cobre. 6. Nutrição. 7. Absorção de nutrientes. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.18
633.1889

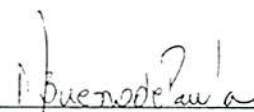
JÚLIO CÉSAR BERTONI


EFEITO DO COBRE NA NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO
DO ARROZ (*Oryza sativa* L.) CULTIVADO EM SOLOS
DE VÁRZEA SOB INUNDAÇÃO

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Lavras, como parte das exigências
do Curso de Mestrado em Agronomia, Área de
concentração em Solos e Nutrição de Plantas
para a obtenção do título de "Mestre".

APROVADA EM: 28 de julho de 1997.


Prof.^a Janice Guedes de Carvalho


Dr.^a Miralda Bueno de Paula


Prof. Antônio Eduardo Furtini Neto


Prof. Francisco Sandro Rodrigues Holanda
(Orientador)

À Deus

OFEREÇO

*À minha esposa Fabiana e minha filha Júlia,
os melhores de todos os presentes de Deus*

DEDICO

*À minha mãe Lourdes, pela lição de vida, meu pai Antônio,
meus sogros Fábio e Sandra por todo apoio e incentivo, e
meus irmãos Rita, Débora, William e Alessandra*

TODO MEU CARINHO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela oportunidade de realizar o curso e pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Dr. Francisco Sandro Rodrigues Holanda pela orientação e amizade.

À Professora Janice Guedes de Carvalho pela co-orientação e auxílio durante o curso.

À Dr^a Miralda Bueno de Paula pelas sugestões apresentadas.

Aos Professores Nilton Curi e Antônio Eduardo Furtini Neto pelas críticas e sugestões, colaborando para a concretização deste trabalho.

Ao professor Augusto Ferreira de Souza, pela oportunidade dada através do programa de iniciação científica.

À todo corpo docente, discente e funcionários, que de alguma maneira auxiliaram na realização deste trabalho.

Ao amigo Marcelo Prudente de Assis, pelas sugestões e principalmente pela convivência diária.

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste projeto.

SUMÁRIO

	página
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1 - INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1 - Referências Bibliográficas.....	2
2 - CAPÍTULO I - EFEITO DO COBRE NA NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO ARROZ (<i>Oryza sativa</i> L.) CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA SOB INUNDAÇÃO - COBRE NO SOLO E VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO	
Resumo.....	3
Abstract.....	4
2.1 - Introdução.....	5
2.2 - Material e Métodos.....	7
2.3 - Resultados e Discussão.....	10
2.4 - Conclusões.....	22
2.5 - Referências Bibliográficas.....	23
3 - CAPÍTULO II - EFEITO DO COBRE NA NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO ARROZ (<i>Oryza sativa</i> L.) CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA SOB INUNDAÇÃO - TEORES E ACÚMULO DE NUTRIENTES	
Resumo.....	27
Abstract.....	28
3.1 - Introdução.....	29
3.2 - Material e Métodos.....	31
3.3 - Resultados e Discussão.....	34
3.4 - Conclusões.....	50
3.5 - Referências Bibliográficas.....	50
4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
APÊNDICE.....	55

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela		Página
1	Principais características químicas e físicas dos solos utilizados no experimento	8
2	Descrição da cultivar Inca.....	9
3	Doses, fontes e épocas de aplicação dos nutrientes.....	9
4	Teores de cobre, determinados pelo extrator DTPA em três solos de várzea	11
5	Coeficientes de correlação entre as concentrações de cobre nos solos, determinados pelo extrator DTPA, e concentração e quantidade de cobre acumulada na parte aérea e matéria seca das plantas de arroz cultivadas em três solos de várzea	11
6	Equações de regressão ajustadas entre os teores e acúmulo de cobre na parte aérea e matéria seca da parte aérea, como variáveis dependentes (Y) do cobre disponível (X) no solo (DTPA).....	12
7	Coeficiente de correlação entre as concentrações de cobre no solo original determinado pelo extrator DTPA e características do solo	14
8	Número de perfilhos (NP) e matéria seca da parte aérea (MSPA), por vaso, em função das doses de cobre.....	16
9	Matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MSTOT), por vaso, e produção relativa em função das doses de cobre	19

CAPÍTULO II

Tabela		Página
1	Principais características químicas e físicas dos solos utilizados no experimento	32
2	Descrição da cultivar Inca.....	33
3	Doses, fontes e épocas de aplicação dos nutrientes.....	33

Tabela	Página
4	Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de arroz (MSPA), por vaso, em função das doses de cobre..... 35
5	Teores e acúmulo de N, P, K e Ca na parte aérea das plantas de arroz cultivadas nos solos HO, HGH e HGP, independente das doses de cobre 36
6	Teores de macronutrientes na parte aérea das plantas de arroz em função das doses de cobre, nos diferentes solos..... 37
7	Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas de arroz em função das doses de cobre, nos diferentes solos..... 38
8	Equações de regressão ajustadas entre os teores e acúmulo de magnésio e enxofre na parte aérea das plantas de arroz, como variáveis dependentes (Y) de doses de cobre (X), nos diferentes solos..... 39
9	Teores de B e acúmulo de B, Cu e Mn na parte aérea das plantas de arroz cultivadas nos solos HO, HGH e HGP, independente das doses de cobre..... 41
10	Teores de micronutrientes na parte aérea das plantas de arroz em função das doses de cobre, nos diferentes solos..... 43
11	Acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas de arroz em função das doses de cobre, nos diferentes solos..... 43
12	Equações de regressão ajustadas entre os teores e acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas de arroz, como variáveis dependentes (Y) de doses de cobre (X), nos diferentes solos..... 45

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura		Página
1	Número de perfilhos por vaso em função das doses de cobre	17
2	Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) em função das doses de cobre	18
3	Produção de matéria seca das raízes (MSR) em função das doses de cobre aplicadas, nos solos HO (□), HGH (Δ) e HGP (○)	20
4	Produção total de matéria seca (MSTOT) em função das doses de cobre aplicadas, nos solos HO (□), HGH (Δ) e HGP (○)	21

CAPÍTULO II

Figura		Página
1	Teores e acúmulo de magnésio e enxofre, na parte aérea das plantas de arroz, em função das doses de cobre, nos solos HO, HGH e HGP	40
2	Teores e acúmulo de cobre e zinco, na parte aérea das plantas de arroz, em função das doses de cobre, nos solos HO, HGH e HGP	46
3	Teores e acúmulo de ferro e manganês, na parte aérea das plantas de arroz, em função das doses de cobre, nos solos HO, HGH e HGP	49

RESUMO

BERTONI, Júlio César. **Efeito do cobre na nutrição e crescimento do arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado em solos de várzea sob inundação.** Lavras: UFLA, 1997. 57p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)*

Conduziu-se um experimento em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, objetivando avaliar o efeito do cobre na cultura do arroz em três solos de várzea sob inundação, a eficiência do extrator DTPA na predição da disponibilidade deste nutriente para a cultura do arroz em ambientes inundados e a influência da adubação cúprica na absorção de nutrientes. Os solos estudados (Orgânico, Gleí Húmico e Gleí Pouco Húmico) foram coletados no município de Lambari (MG). Os tratamentos constaram de cinco doses de cobre (0; 0,75; 1,5; 2,25 e 3,0 mg/kg de solo). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições, arranjado num esquema fatorial 5x3, sendo cinco doses de cobre e três solos. Cada parcela foi constituída por um vaso com 6 kg de solo com três plantas. O extrator DTPA foi eficiente na predição da disponibilidade de cobre. As doses de cobre influenciaram negativamente todas as variáveis de crescimento avaliadas (número de perfilhos, matéria seca da parte aérea, matéria seca das raízes e matéria seca total), sendo que a omissão deste nutriente propiciou as maiores médias das mesmas, sugerindo que os teores iniciais de cobre no solo já eram elevados para a cultivar de arroz utilizada nas condições do presente estudo. Apesar das doses de cobre terem influenciado negativamente a produção de matéria seca da parte aérea, não foi evidenciado nenhum efeito de concentração. Dentre os macronutrientes, apenas Mg

* Orientador: Francisco Sandro Rodrigues Holanda; Membros da Banca: Janice Guedes de Carvalho, Miralda Bueno de Paula, Antônio Eduardo Furtini Neto.

e S foram influenciados pela aplicação de cobre. A adubação cúprica afetou substancialmente a absorção dos micronutrientes Cu, Zn, Fe e Mn, não sendo notado efeito sobre o B. O efeito da adição de cobre sobre as plantas de arroz foi distinto entre solos, sendo que o teor de matéria orgânica parece ter sido o principal atributo discriminatório.

ABSTRACT

COPPER EFFECT ON RICE CROP GROWTH AND NUTRITION IN LOWLAND SOILS UNDER FLOODED CONDITIONS

This experiment was carried out in a greenhouse at the Soil Science Department of The Federal University of Lavras, in order to study the effect of copper on rice crop in three lowland soils under flooded conditions and the efficiency of the extractor DTPA in the prediction of the availability of this nutrient under flooded environment and the influence of the copper fertilization in the nutrient uptake. The studied soils (bog, humic gley and low humic gley) were taken in Lambari County. The treatments were five copper doses (0, 0,75; 1,5; and 3,0 mg/kg of soil). The experimental design was a completely randomized, in a factorial scheme, with five copper doses and three different types of soils with four replications. Each 6 kg pot was considered as a single plot with three plants. The extractor (DTPA) was efficient in the copper availability prediction. The copper doses have shown a negative influence in the following evaluated plant parameters (tiller number, shoot dry matter, root dry matter and total plant dry matter), and the absence of copper led to higher average values, suggesting that the initial copper soil tests were high to the rice growth. Even the copper doses have negatively influenced the shoot dry matter, it was not found any concentration effect evidence. Among the macronutrients, only Mg and S were affected by copper fertilization. Copper doses strongly affected Cu, Zn, Fe and Mn uptake without any effect on Boron values. The addition effect of copper on rice plants were different among soil types, and organic matter content seems to be the main discriminatory feature.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos tem sido verificada uma tendência de estagnação e até mesmo retração das áreas cultivadas com arroz, devido às dificuldades na obtenção de financiamento e por se tratar de uma cultura de alto risco e baixo retorno financeiro, desestimulando o agricultor que tem optado por culturas de maior rentabilidade, como a soja e o milho. Comparando as safras 1995/96 e 1996/97, observa-se a maior taxa de redução de área cultivada com arroz nas regiões Centro-Oeste (10,3%) e Sudeste (10%), nas quais a modalidade de sequeiro é predominante, e menores taxas na região Sul (4,9%), onde predomina o cultivo irrigado. Apesar de uma menor taxa de redução de área cultivada com arroz na região Sul, esta foi o principal fator regressivo da orizicultura brasileira, em função da sua importância no contexto da produção nacional, girando em torno dos 42% e cujo montante é de 10,1 milhões de toneladas (Brasil, 1996). Em detrimento ao depauperamento das áreas cultivadas com arroz, com o Plano Real em 1994, o brasileiro de baixa renda aumentou seu consumo de produtos da cesta básica, entre os quais o arroz, acarretando um maior déficit do produto e exigindo, conseqüente, complementação do suprimento para o consumo interno através de importações.

Mesmo com todas as dificuldades enfrentadas, nota-se que as áreas irrigadas sofreram menores decréscimos percentuais, ressaltando sua importância frente à produção nacional. Assim, a exploração das várzeas, apresenta-se como alternativa ao cultivo do arroz visando a manutenção do mercado interno, por se tratar de uma das poucas culturas compatíveis com estes sistemas e devido à potencialidade de nosso país, o qual possui cerca de 30 milhões de hectares passíveis de serem incorporados ao processo produtivo (Lamster, [19--?]), dos quais 1,5 milhão no Estado de Minas Gerais (RURALMINAS, 1980).

O aumento de produtividade em solos de várzea pode ser obtido com menor custo de produção, principalmente devido à topografia, uma vez que estas áreas apresentam relevo suave e

possibilidade de irrigação contínua. Isto tem contribuído para um maior número de pesquisas voltadas à cultura do arroz, principalmente no que diz respeito ao melhoramento genético.

Apesar de já existirem cultivares altamente responsivas à adubação nestes sistemas, a dinâmica de nutrientes sob submersão ainda não está elucidada, principalmente quanto aos micronutrientes, sendo esta dinâmica muitas das vezes especulativa e extrapolada de experimentos realizados em terras altas. Quanto ao cobre, embora ele não esteja envolvido nas reações de oxirredução, sua solubilidade pode ser drasticamente afetada em solos submersos, em função do aumento em pH, CO_3^{2-} , S^{2-} , Fe^{2+} e Mn^{2+} , ocasionado pela redução do potencial redox e todas suas implicações, formando precipitados como hidróxidos, carbonatos, sulfetos e compostos de ferro e manganês (Dutta, Mandal e Mandal, 1989).

Levando-se em consideração a significativa distribuição de várzeas no Estado e por ser a cultura do arroz uma das mais indicadas para estes sistemas, o presente trabalho foi desenvolvido objetivando avaliar o efeito do cobre, cuja dinâmica é afetada em solos submersos, na cultura do arroz em solos inundados de várzea.

1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento. Segundo levantamento. Intenção de plantio da safra 1996/97: acompanhamento da safra de inverno 1996. **Previsão e Acompanhamento de Safras**, Brasília, v.20, n.6, p.1-15, dez. 1996.
- DUTTA, D.; MANDAL, B.; MANDAL, L.N. Decrease in availability of zinc and copper in acidic to near neutral soils on submergence. **Soil Science**, Baltimore, v. 147, n.3, p.187-195, Mar. 1989.
- RURALMINAS. Coordenadoria de irrigação e drenagem. Programa de aproveitamento de várzeas do Estado de Minas Gerais - PROVÁRZEAS - MG. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.6, n.65, p.8-13, maio 1980.
- LAMSTER, E.C. Programa Nacional de Aproveitamento Racional de Várzeas - Provárzeas Nacional. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. **Provárzeas Nacional: 1 hectare vale por 10**. Brasília, [19--?], p.7-11. (Informação Técnica, 1).

CAPÍTULO I

EFEITO DO COBRE NA NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO ARROZ (*Oryza sativa* L.) CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA SOB INUNDAÇÃO - COBRE NO SOLO E VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO

RESUMO - Apesar da grande potencialidade agrícola das várzeas e da incontestável importância dos micronutrientes na nutrição vegetal, as informações que os associam ainda são incipientes. Neste sentido, conduziu-se um experimento em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, objetivando estudar o efeito do cobre sobre cultura do arroz cultivado em três solos de várzea sob inundação e avaliar a eficiência do extrator DTPA na predição da disponibilidade deste nutriente para as plantas de arroz em várzeas inundadas. Os solos estudados (Orgânico, Gleí Húmico e Gleí Pouco Húmico) foram coletados no município de Lambari (MG). Os tratamentos constaram de cinco doses de cobre (0; 0,75; 1,5; 2,25 e 3,0 mg/kg de solo). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições, arranjado num esquema fatorial 5x3, sendo cinco doses de cobre e três solos. Cada parcela foi constituída por um vaso com 6 kg de solo com três plantas. O extrator DTPA foi eficiente na predição da disponibilidade de cobre. As doses de cobre influenciaram negativamente todas as variáveis de crescimento avaliadas (número de perfilhos, matéria seca da parte aérea, matéria seca das raízes e matéria seca total), sendo que a omissão deste nutriente propiciou as maiores médias das mesmas, sugerindo que os teores iniciais de cobre no solo já eram elevados para a cultivar de arroz utilizada nas condições do presente estudo. A matéria orgânica parece ter sido o principal atributo discriminatório entre solos, amenizando a toxidez de cobre.

CHAPTER I

EFFECT OF COPPER DOSES ON RICE CROP GROWTH AND MINERAL NUTRITION IN LOWLAND SOIL UNDER FLOODED CONDITIONS - COPPER IN THE SOIL AND PLANT GROWTH PARAMETERS

ABSTRACT - Despite the great agricultural potentiality of the lowland soils and also the undoubtfull importance of the micronutrients in the plant mineral nutrition, the amount of associated information are not good enough. This experiment was carried out in a greenhouse at The Soil Science Department of The Federal University of Lavras, in order to study the effect of copper in rice crop in three lowland soils under flooded conditions to evaluate the ability of the extractor DTPA in the prediction of copper availability under flooded conditions. The studied soils (bog, humic gley and low humic gley) were taken in Lambari County. The treatments were five copper doses (0; 0,75; 1,5; 2,25 and 3,0 mg/kg of soil). The experimental design was a completely randomized, in a factorial scheme, with five copper doses and three different types of soils with four replications. Each 6 kg pot was considered as a single plot with three plants. The extractor (DTPA) was efficient predicting copper availability. All parameters were negatively influenced by copper doses (tiller number, shoot dry matter, root dry matter and total dry matter content), and the absence of copper led to higher average values, suggesting that the initial copper soil tests were high enough to rice crop grown in the experimental conditions. The organic matter seems to be the main discriminatory feature among the studied soil types, decreasing the copper toxicity.

1 INTRODUÇÃO

O cobre é um nutriente essencial para o crescimento das plantas, quando em níveis adequados, sendo conhecido por desempenhar importante papel na nutrição mineral, bioquímica e fisiologia das plantas (Haque, Aduayi e Sibanda, 1993). Participando de diversos processos metabólicos nas plantas, tanto a deficiência (Haque, Aduayi e Sibanda, 1993; Marschner, 1995), quanto a toxidez de cobre (Lidon e Henriques, 1991; Mocquot et al. 1996), ocasionam redução da taxa fotossintética. Também é um importante componente e ativador de diversas enzimas (Marschner, 1995) e desempenha funções estruturais nas plantas, como abertura e fechamento de estômatos (Graham, 1976) e lignificação (Turvey, Carlyle e Downes, 1992; Marschner, 1995). A variação da atividade de enzimas dependentes do cobre, na planta, tem sido preconizada como indicadora do status nutricional, sendo que a atividade de polifenol oxidases já tem sido utilizada em estudos de suficiência de cobre em folhas de trigo e algodão (Rao e Ownby, 1993).

No solo, o cobre é conhecido por ter baixa mobilidade e conseqüentemente, baixa disponibilidade às plantas, principalmente, em se tratando de solos com textura fina e alto teor de matéria orgânica. A conseqüência direta deste comportamento, é que mesmo em locais com níveis relativamente altos de cobre, a baixa mobilidade deste metal, promove poucos sintomas de toxidez em arroz (Henriques e Lidon, 1993). As plantas absorvem o cobre que está dissolvido na solução do solo, principalmente na forma iônica Cu^{2+} (van Raij, 1991), sendo transportado pelo xilema na forma de quelato com aminoácidos, ocorrendo posteriormente sua redistribuição, dependentemente do nível do mesmo no tecido, a qual não se dá quando há deficiência e pode ocorrer quando o nível é elevado (Faquin, 1994).

As formas solúveis representam uma fração muito pequena do cobre total do solo, e que seria facilmente esgotada pelas plantas, caso não houvesse a reposição do elemento pela fase sólida do solo (Ferreira e Cruz, 1991). Este micronutriente ocorre em maior abundância (98 a 99%) na forma complexada por moléculas orgânicas (Vale, Guilherme e Guedes, 1993).

O cobre não tem sido motivo de muitas pesquisas com a cultura do arroz, o que parece estar relacionado com a inconsistência das respostas obtidas até então. A escassez de informações sobre a deficiência de cobre, possivelmente está relacionado a aplicações do mesmo via adubos e

corretivos. Segundo Malavolta (1994), os principais adubos e corretivos utilizados no Brasil, possuem cobre em suas formulações.

Galvão (1984), também não encontrou resposta do arroz ao cobre, atribuindo esta falta de resposta, ao suprimento do mesmo através do calcário. Entretanto em seis cultivos, os níveis de Cu dos solos estudados caíram abaixo da metade (0,9 para 0,4 ppm), sugerindo que se este incremento via calcário não ocorresse, a exaustão deste nutriente durante os cultivos poderia levar a deficiência, acarretando em uma resposta ao nutriente.

Resultados semelhantes são relatados por Abreu, Lopes e Andrade (1987), os quais citam que apesar da grande variabilidade do potencial de fertilidade dos solos de várzeas (relacionada ao material constitutivo e/ou pela natureza dos materiais transportados pelos respectivos rios ou tributário), elas apresentam quedas sensíveis neste potencial com o decorrer dos cultivos. Este aspecto faz com que a correção e/ou a manutenção da fertilidade se torne um assunto bastante complexo.

Apesar da inconsistência dos resultados envolvendo o cobre, Dutta, Mandal e Mandal, (1989), citam que em sistemas inundados, a deficiência do nutriente pode vir a ocorrer como reflexo do balanço final dos processos desencadeados pelo decréscimo do potencial de oxirredução. Mesmo o cobre não estando envolvido nas reações de oxirredução, sua mobilidade pode ser drasticamente afetada em função do aumento em pH, CO_3^{2-} , S^{2-} , Fe^{2-} e Mn^{2-} , ocasionado pela redução do potencial redox e todas suas implicações. Segundo os autores, a magnitude do decréscimo da disponibilidade de cobre nestes sistemas parece estar relacionada com a magnitude do aumento em pH e devido à sua precipitação como hidróxidos, carbonatos, sulfetos e compostos de ferro, sendo estas variações dependentes das características iniciais do solo (pH e quantidade destes elementos antes do estabelecimento da inundação).

Uma agricultura voltada para o cultivo intensivo das áreas e o uso de cultivares cada vez mais exigentes, podem levar à deficiência de micronutrientes, principalmente, no que diz respeito ao cobre em sistemas inundados, visto que, sua disponibilidade decresce nestes sistemas. Entretanto, a recomendação de micronutrientes não pode ser feita indiscriminadamente, evitando gastos desnecessários, além dos efeitos fitotóxicos pelo excesso de aplicação, pois existe uma faixa muito estreita entre a necessidade e fitotoxicidade deste nutriente (Bataglia e van Raij, 1989).

A grande afinidade do cobre pela matéria orgânica (Vale, Guilherme e Guedes, 1993), e a sua expressiva ocorrência em sistemas hidromórficos, torna-se, além dos fatores já descritos, mais um fator agravante no entendimento destes sistemas. A distribuição da matéria orgânica nas várzeas, é dependente da posição que o solo ocupa na paisagem, sendo que a sua presença aumenta à medida que aumentam as limitações quanto a drenagem, sendo este um fator discriminatório entre os solos Orgânico, Glei Húmico e Glei Pouco Húmico (Curi, Resende e Santana, 1988).

No Brasil, são poucos os trabalhos envolvendo micronutrientes em solos inundados, sendo que a grande maioria tem avaliado o efeito de um conjunto de micronutrientes, impossibilitando, portanto, concluir sobre o efeito isolado de cada um deles.

O presente trabalho, utilizando 3 solos de várzea, objetivou estudar o efeito do cobre sobre a cultura do arroz nestes sistemas, avaliando a eficiência do extrator DTPA na predição da disponibilidade deste nutriente, para a cultura do arroz, em solos de várzea sob inundaçãõ.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (DCS/UFLA), em Lavras, Minas Gerais, utilizando amostras de solo coletadas na camada superficial (0-20 cm) de três solos hidromórficos, Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Glei Pouco Húmico (HGP), oriundos de áreas de cultivo rizícola no município de Lambari (Estação Experimental da EPAMIG).

As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 5,00 mm de abertura, sendo retiradas subamostras para caracterização química e física (Tabela 1), seguindo metodologia proposta por Vettori (1969) e modificada pela EMBRAPA (1979) e Camargo et al. (1986). O teor de cobre dos solos foi determinado pelo extrator DTPA, ácido dietileno-triaminopentaacético, solução desenvolvida por Lindsay e Norvell (1978).

Após seco e peneirado, 6 kg de solo foram acondicionados em vasos plásticos sem dreno, com capacidade para 8 litros, recebendo os tratamentos em forma de solução (0; 0,75; 1,5; 2,25 e

3,0 mg Cu/kg de solo, como sulfato de cobre - $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Segundo Malavolta (1980), a dose de $1,5 \text{ mg/dm}^3$ é considerada como adequada, para a maioria das culturas.

TABELA 1. Principais características químicas e físicas dos solos utilizados no experimento.

Solo	pH	P	K	S	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	m	V
	água	mg/dm^3			$\text{m mol}_e/\text{dm}^3$					%			
HO	4,9	13	27	2,0	15	12	19	153	28	44	181	41	15
HGH	4,9	26	86	19,3	21	5	7	79	28	47	107	20	26
HGP	5,3	58	64	4,2	22	8	9	88	32	53	120	22	26

Solo	B	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O.	Argila	Silte	Areia	dp	ds
	mg/dm^3					g/kg			g/cm^3		
HO	0,07	4,58	218,0	31,5	0,8	97	250	390	360	2,67	0,94
HGH	0,10	7,85	285,0	46,2	3,2	49	390	250	360	2,50	1,00
HGP	0,07	7,73	297,7	32,0	0,8	48	330	330	340	2,57	1,19

*extratores: Ca, Mg e Al = KCl 1N; P e K = Mehlich 1; (H+Al) = acetato de cálcio 1N a pH 7.0; B = água quente; Cu, Fe, Mn e Zn = DTPA.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 4 repetições, sendo que cada vaso constituiu a unidade experimental, adotando-se um esquema fatorial 5×3 , sendo cinco doses de cobre e três solos hidromórficos.

Foram semeadas 10 sementes de arroz cultivar INCA (Tabela 2) por vaso, previamente tratadas com solução de hipoclorito de sódio a 1%. Os solos foram mantidos com umidade equivalente a 60 % do VTP (volume total de poros) (Freire et al. 1980), durante os primeiros 15 dias, a fim de garantir uma germinação satisfatória. Posteriormente foi efetuado um desbaste deixando-se 3 plantas uniformes e vigorosas por vaso com subsequente saturação do solo até uma lâmina d'água de 5 ± 1 cm, a qual foi mantida até o final do ciclo da cultura, sendo retirada 5 dias antes da colheita.

Durante a condução do experimento, foram realizadas adubações de plantio e cobertura conforme ilustrado na Tabela 3. O fósforo foi previamente incorporado ao solo (30 dias antes do plantio) e os demais nutrientes foram aplicados via solução nutritiva, após o desbaste.

TABELA 2. Descrição da cultivar INCA.

Características	
Ciclo de maturação (dias)	140 a 155
Floração (dias)	100 a 125
Altura das plantas (cm)	84±10
Porte	baixo
Perfilhamento	bom
Acamamento	resistente
comprimento da panícula (cm)	19
Tipo de grão	longo fino e translúcido
Peso de 100 grãos (g)	2,51
Resistência a doenças	
• Brusone	resistente
• Mancha Parda	tolerante

Fonte: Moraes e Soares (1982).

TABELA 3. Doses, fontes e épocas de aplicação dos nutrientes.

Nutriente	Dose mg/kg	Época		Fonte
		plantio	cobertura	
N	50,0	x		CO(NH ₂) ₂
	9,1		1 ^a	(NH ₄) ₂ SO ₄
	40,9		1 ^a	CO(NH ₂) ₂
	100,0		2 ^a	CO(NH ₂) ₂
	100,0		3 ^a	CO(NH ₂) ₂
P	200,0	x		Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O
K	75,0	x		KCl
	75,0		2 ^a	KCl
Ca	129,0	x		Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O
Mg	30,0	x		MgSO ₄
S	39,6	x		MgSO ₄
	10,4		1 ^a	(NH ₄) ₂ SO ₄
B	0,5	x		H ₃ BO ₃
Mo	0,1	x		(NH ₄) ₆ MoO ₂ .4 H ₂ O
Zn	5,0	x		ZnSO ₄ .7 H ₂ O

*1^a, 2^a e 3^a coberturas: 15, 40 e 60 dias após a emergência, respectivamente.

Por ocasião da colheita, foi efetuado a contagem do número de perfilhos, sendo posteriormente separadas parte aérea e raízes, lavadas em água destilada e deionizada e levadas a secar em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C, em sacos de papel, até peso constante, para subsequente pesagem e determinações da matéria seca da parte aérea, matéria seca das raízes e matéria seca total.

As variáveis estudadas tiveram seus dados submetidos a análise de variância. Foram ajustadas equações de regressão, relacionando as diversas variáveis em função das doses de cobre aplicadas ao solo, testando-se modelos lineares, quadráticos e quadráticos base raiz quadrada. Dentre os modelos com coeficientes significativos, foram escolhidos aqueles com maior coeficiente de determinação (R^2). Além disso, buscou-se conhecer a associação entre algumas variáveis por meio da correlação linear simples. Os níveis de significância considerados foram de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade.

Tanto a análise de variância como os ajustes de equações de regressão e correlações, foram efetuados pelo programa SAEG.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teor de cobre no solo

As doses de cobre, bem como os solos, influenciaram significativamente a quantidade de cobre recuperado pelo extrator DTPA, havendo interação entre os fatores. A concentração de cobre disponível variou de 4,58 a 7,85 mg/dm³ nas amostras de solo original (Tabela 4), sendo que o solo Orgânico, HO, apresentou o menor valor, o que pode ser reflexo da íntima relação existente entre este nutriente e a matéria orgânica, uma vez que o cobre é o micronutriente mais fortemente retido por radicais orgânicos (Vale, Guilherme e Guedes, 1993).

TABELA 4. Teores de cobre, determinados pelo extrator DTPA em três solos de várzea.

Solo	Doses de Cu (mg/kg)				
	0	0,75	1,5	2,25	3,0
	-----mg/dm ³ -----				
HO	4,58	5,35	6,53	7,70	8,13
HGH	7,85	8,95	9,28	10,08	10,78
HGP	7,73	8,08	9,05	10,05	10,15

Sendo a planta o melhor extrator de nutrientes, refletindo com maior precisão sua disponibilidade, um bom extrator, para uma situação específica, deve simular seu comportamento (Cruz e Ferreira, 1990). Segundo estes autores, os coeficientes de correlação (r) e de determinação (R^2), podem ser utilizados como ferramentas na seleção de métodos de análise, indicando a eficácia do método para uma situação específica. Assim sendo, para a análise da eficiência do extrator DTPA, na predição da disponibilidade de cobre, nas condições do estudo, foram utilizadas análises de correlação e regressão entre o cobre extraído dos solos pelo DTPA e a concentração e acúmulo do elemento na parte aérea das plantas de arroz e produção de matéria seca, obtendo-se os coeficientes de correlação e as equações de regressão para cada caso e solo estudado (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5. Coeficientes de correlação entre as concentrações de cobre nos solos, determinados pelo extrator DTPA, e concentração e quantidade de cobre acumulada na parte aérea e matéria seca das plantas de arroz cultivadas em três solos de várzea.

Solução Extratora	Concentração de Cu (mg/kg)			Acúmulo de Cu (mg/vaso)			Matéria seca (g/vaso)		
	HO	HGH	HGP	HO	HGH	HGP	HO	HGH	HGP
DTPA	0,96**	0,94**	0,96**	0,95**	0,89**	0,87**	0,92**	0,92**	0,88**
DTPA	-----TODOS-----			-----TODOS-----			-----TODOS-----		
	0,91**			0,80**			0,92**		

** Significativo ao nível de 1%.

O cobre extraído dos solos pelo DTPA apresentou correlação altamente significativa com todas variáveis estudadas e em todos solos, sendo que esta alta correlação se manteve mesmo quando se agruparam os dados de todos os solos (Tabela 5). Observa-se que além dos valores de (r) serem altamente significativos, também são altos, evidenciando a eficácia do método. Embora, segundo Corá (1991), a matéria seca da parte aérea não seja a variável mais indicada para a seleção de métodos de extração para cobre dos solos e sua eficiência, no presente estudo o DTPA apresentou altos coeficientes de correlação, também com esta variável. As equações de regressão ajustadas entre as variáveis teor e acúmulo de cobre na parte aérea e matéria seca da parte aérea, em função do cobre extraído pelo DTPA, mostram a mesma tendência, deixando claro que os teores de cobre no solo, obtidos pelo DTPA, explicam bem as variações nos teores e acúmulo de cobre na parte aérea das plantas de arroz, bem como a produção de matéria seca da parte aérea, mesmo quando se agruparam os dados dos solos, o que está refletindo em altos coeficientes de determinação (R^2) (Tabela 6).

Tabela 6. Equações de regressão ajustadas entre os teores e acúmulo de cobre na parte aérea e matéria seca da parte aérea, como variáveis dependentes (Y) do cobre disponível (X) no solo (DTPA).

Solo	Equações	R^2
-----Teor de Cu na parte aérea (mg/kg)-----		
HO	$Y = 4,072290 + 0,719596^{**} X$	0,92
HGH	$Y = -0,442358 + 1,186420^{**} X$	0,89
HGP	$Y = -3,762030 + 1,633370^{**} X$	0,91
TODOS	$Y = 2,758230 + 0,888911^{**} X$	0,83
-----Acúmulo de Cu na parte aérea (mg/vaso)-----		
HO	$Y = 0,705281 + 0,0666894^{**} X$	0,90
HGH	$Y = 0,587314 + 0,0667149^{**} X$	0,80
HGP	$Y = 0,269331 + 0,1141970^{**} X$	0,76
TODOS	$Y = 0,746227 + 0,0566904^{**} X$	0,64
-----Matéria seca da parte aérea (mg/vaso)-----		
HO	$Y = 153,049 - 3,40997^{**} X$	0,85
HGH	$Y = 172,879 - 6,24776^{**} X$	0,85
HGP	$Y = 188,554 - 7,64965^{**} X$	0,78
TODOS	$Y = 165,213 - 5,26061^{**} X$	0,84

** Significativo ao nível de 1%.

Levando-se em consideração a associação dos coeficientes de correlação (r) e de determinação (R^2) (Tabelas 5 e 6), para a avaliação da eficácia do DTPA na predição da disponibilidade de cobre para as plantas de arroz, observa-se que este extrator foi eficiente nesta predição, para os três solos estudados na situação de inundação. Entretanto, os resultados encontrados na literatura, no que diz respeito ao extrator ideal para solos submersos, são divergentes. Ponnampertuma, Cayton e Lantini (1981), utilizando 33 amostras de solos submersos cultivados com arroz, testando extratores de diferentes princípios (entre os quais soluções ácidas e complexantes), observaram que o cobre extraído com solução de HCl 0,05N apresentou a correlação mais alta com a concentração do nutriente nas plantas. Já Camargo, Valadares e Dechen (1982), em seus estudos envolvendo 24 amostras de solos de ampla variabilidade de características, concluíram que o extrator DTPA discriminou melhor que o Mehlich 1 a variabilidade na disponibilidade de cobre de amostras incubadas com água, à capacidade de campo, por 2 meses.

Os próprios autores que propuseram o uso do DTPA para extrair micronutrientes catiônicos, Lindsay e Norvell (1978), colocaram a avaliação do cobre como a maior incerteza da qualidade do método. Entretanto, há de se levar em consideração que a adequação de um extrator a uma dada situação não implica que será obtido sucesso com seu emprego em outras situações, necessitando que os estudos sejam realizados em diferentes regiões pedoclimáticas (Cruz e Ferreira, 1990). Portanto, a falta de um consenso sobre a validade ou não das análises pelo DTPA, sugere a necessidade de um conhecimento integrado dos fatores que afetam a disponibilidade de cobre, métodos de extração, correlação e calibração para esta situação específica de solos.

3.2 Correlação entre cobre disponível e características do solo

Embora trabalhos específicos a este fim demandem maior número de solos, pela variabilidade nos teores de Cu nas amostras originais, procedeu-se a determinação dos coeficientes de correlação simples entre os teores do elemento extraídos pelo DTPA e características dos solos, objetivando conhecer o efeito destas na disponibilidade do cobre. Segundo Corá (1991), o efeito destas características manteve-se após correção de acidez e fertilidade do solo, evidenciando

que estas determinações são seguras quando realizadas nas amostras originais, pois estas independem de alterações químicas nos solos.

Para a avaliação desta influência, foram obtidos os coeficientes de correlação linear simples entre o Cu disponível e valores das características dos solos (pH, matéria orgânica, teores de argila e areia e CTC) (Tabela 7).

TABELA 7. Coeficiente de correlação entre as concentrações de cobre no solo original determinado pelo extrator DTPA e características do solo

Características dos solos	Correlação	Significância
Matéria Orgânica (g/kg)	-0,9987	**
Areia (g/kg)	-0,4705	ns
Argila (g/kg)	0,9181	ns
pH (H ₂ O)	0,4706	ns
T (m mol _c /dm ³)	-0,9414	**

** Significativo ao nível de 1%.

Obteve-se correlação negativa significativa para matéria orgânica e CTC. Estes resultados discordam dos obtidos por Cruz (1988), que obteve correlações positivas e significativas, utilizando o mesmo extrator e também dos resultados apresentados por Fageria, Barbosa Filho e Zimmermann (1994), embora estes últimos não tenham sido significativos. Os resultados contraditórios, são passíveis de ocorrer, uma vez que existe também a influência do tipo e qualidade da matéria orgânica.

Considerando a grande participação da matéria orgânica nos processos de troca catiônica dos solos (adsorção e dessorção) e a correlação negativa dessa variável com concentrações de cobre extraídas, a correlação negativa com a CTC do solo é esperada, uma vez que existe uma relação direta entre as duas variáveis (CTC e matéria orgânica) e inversa com as concentrações de cobre nos solos utilizados.

O teor de argila não apresentou correlação significativa com o teor de cobre, concordando com a explanação feita anteriormente, relacionando as características CTC e matéria orgânica e atribuindo à mesma, a extração diferencial do Cu nos solos. Esta constatação é enfatizada quando

observamos que o solo orgânico, apesar dos menores teores de argila, apresenta a maior CTC, em função de seus teores mais elevados de matéria orgânica (Tabela 1).

Quanto ao pH, apesar da literatura apresentar uma relação inversa com o Cu, uma diminuição em 100 vezes na concentração do nutriente para cada aumento em uma unidade de pH, e de existir uma variabilidade de 0,4 unidades de pH entre os solos estudados, esta característica não apresentou correlação significativa com o Cu extraído pelo DTPA, o que também é relatado no trabalho de Cruz (1988). Este autor, em trabalho específico para seleção de métodos de extração de cobre disponível, também não encontrou significância correlacionando o pH e cobre disponível, utilizando o mesmo extrator do presente estudo. Estes resultados contrastam os de Corá (1991) e Camargo, Valadares e Dechen (1982), utilizando o extrator DTPA e os de Machado e Pavan (1987), utilizando extratores ácidos, os quais observaram aumentos significativos da quantidade de cobre extraída com a elevação da acidez dos solos.

3.3 Resposta da cultura do arroz à aplicação de cobre

Através deste experimento, esperava-se quantificar o efeito do cobre sobre a produção de grãos, o que não foi possível devido ao alto índice de grãos chochos em decorrência das baixas temperaturas noturnas verificadas por ocasião do florescimento. Nesta fase, temperaturas abaixo de 20 °C acarretam em significativo aumento de esterilidade de espiguetas, sendo que temperaturas menores que 12 °C durante 6 dias podem ocasionar 100% de esterilidade (Fageria, 1984), sendo esta principalmente atribuída às baixas temperaturas noturnas (Fornasier Filho e Fornasier, 1993).

Sem esta variável, determinou-se o número de perfilhos (NP), a matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e a matéria seca total (MSTOT).

3.3.1 Número de perfilhos

Segundo Barbosa Filho (1987) e Fageria (1984), um maior perfilhamento, originando um maior número de panículas férteis são pré-requisitos para altas produções. O efeito das doses de

cobre foi altamente significativo para o perfilhamento, entretanto os solos, independentemente dos tratamentos, não influenciaram significativamente o perfilhamento (Tabela 8).

O comportamento das plantas, segundo os tratamentos, se mostrou independente do solo utilizado, sendo que o número de perfilhos por vaso diminuiu linearmente com o incremento do nutriente em estudo (Figura 1). Este resultado não era esperado, uma vez que, apesar dos altos teores iniciais de cobre nos solos, a literatura é escassa em relatos de fitotoxicidade natural de cobre, sendo esta geralmente associada ao uso indiscriminado de produtos químicos que contém o nutriente em suas formulações. Na década de 70, com o aparecimento da ferrugem do café, fungicidas cúpricos foram utilizados indiscriminadamente acarretando em sintomas de fitotoxidez de cobre nas culturas (Carvalho, 1980).

TABELA 8. Número de perfilhos (NP) e matéria seca da parte aérea (MSPA), por vaso, em função das doses de cobre.

Solo	Doses de Cu (mg/kg)					Médias	
	0	0,75	1,5	2,25	3,0		
-----NP-----							
HO	69,50	64,25	63,50	61,25	57,50	63,20	A
HGH	71,00	59,50	54,75	53,00	48,75	57,40	A
HGP	67,50	64,50	54,75	55,50	52,25	58,90	A
-----MSPA (g)-----							
HO	140,24	131,71	129,88	127,16	126,20	131,04	A
HGH	123,71	116,06	114,02	114,75	102,68	114,24	C
HGP	135,27	122,03	115,25	114,23	111,37	119,63	B

Medias seguidas por letras diferentes, diferem entre si (Tukey 5%)

Primavesi e Primavesi (1971), pioneiros em estudos envolvendo cobre na cultura do arroz, citam experimentos anteriores onde obtiveram maior perfilhamento em plantas onde as sementes foram tratadas com cobre. Portanto, necessita-se de faixas de interpretação para este nutriente em solos inundados, visto que, com o incremento de 1,5 mg/kg de cobre, o qual é recomendado como adubação básica para a maioria das culturas (Malavolta, 1980), as plantas apresentaram um decréscimo de quase 17% no perfilhamento, o que certamente refletiria em uma menor produção.

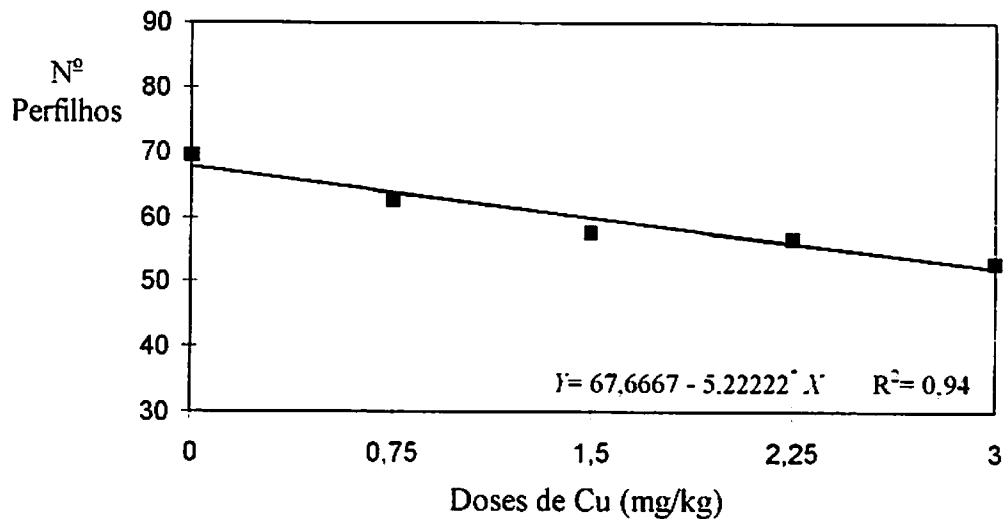


FIGURA 1. Número de perfis por vaso em função das doses de cobre.

3.3.2 Matéria seca da parte aérea

As doses de cobre tiveram efeito altamente significativo na produção de matéria seca da parte aérea, assim como os solos, independentemente dos tratamentos, também influenciaram significativamente a produção de matéria seca da parte aérea, apresentando maior produção as plantas cultivadas no solo HO, seguida daquelas cultivadas no HGP, sendo que as plantas cultivadas no solo HGH apresentaram menor produção de matéria seca da parte aérea, diferindo estatisticamente entre si (Tabela 8).

O efeito dos tratamentos independeu dos solos utilizados, e foi depressivo na produção de matéria seca da parte aérea que decresceu linearmente com as doses de cobre (Figura 2).

Segundo Paula et al. (1990), através dos resultados de MSPA e MSR, tem-se uma indicação do fornecimento de nutrientes pelo solo, quais os elementos deficientes, e a importância relativa dessa deficiência. Assim sendo, esta redução da matéria seca da parte aérea desde a primeira dose de cobre aplicada (0,75 mg/kg), indica que o solo já possuía teores acima daqueles considerados como tóxicos para a cultura do arroz.

Quando se avalia o decréscimo proporcionado pela dose recomendada (1,5 mg/kg), analogamente ao verificado para número de perfis, nota-se um efeito depressivo em

aproximadamente 10% em relação à ausência de aplicação de cobre, sugerindo que se deve ter cautela quando da aplicação deste nutriente. Entretanto, não foram encontrados relatos semelhantes a este na literatura, sendo o mais comum a ausência de resposta. Abreu, Lopes e Andrade (1987), utilizando solos com ampla variabilidade no teor de cobre (0,5 a 25,4 ppm), utilizando o Mehlich 1, não encontraram efeito do cobre sobre a produção de matéria seca da parte aérea. Adotando-se como nível crítico 1 ppm, pelo Mehlich 1, o qual é sugerido para solos de cerrado (Hunter, citado por Lopes, 1983), esperar-se-ia, com a aplicação de cobre, uma resposta positiva de matéria seca da parte aérea nos solos com menor valor e negativa naqueles superiores, entretanto isto não foi constatado pelos autores.

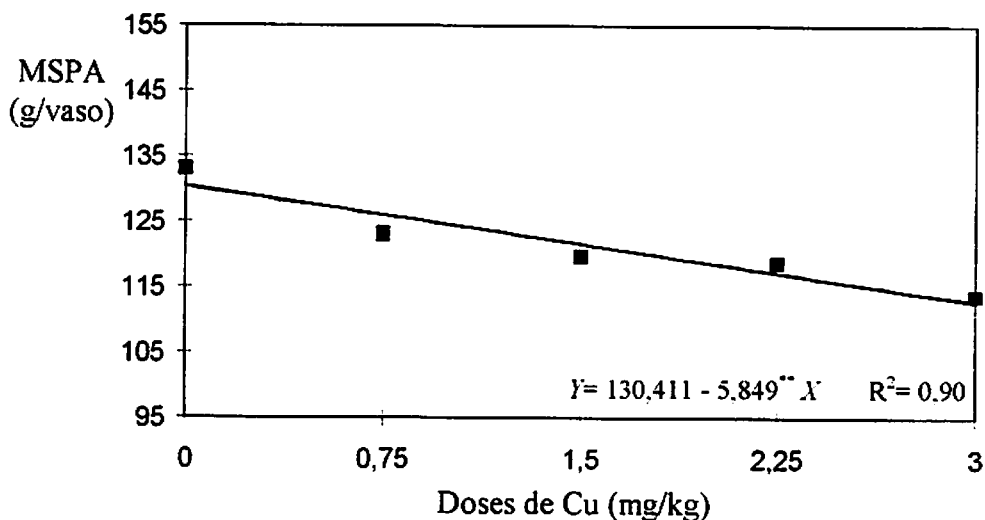


FIGURA 2. Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) por vaso em função das doses de cobre.

3.3.3 Matéria seca de raízes

Embora o efeito dos tratamentos tenha sido depressivo na produção de matéria seca das raízes em todos os solos (Tabela 9), estes comportaram-se diferentemente entre si, onde as plantas de arroz cultivadas no solo orgânico, além de sempre apresentar a maior biomassa radicular que aquelas dos demais solos, também apresentaram uma menor amplitude de variação entre as doses

mínima e máxima, evidenciando um maior tamponamento, e, conseqüentemente propiciando uma maior resistência ao efeito tóxico do cobre (Figura 3).

TABELA 9. Matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MSTOT), por vaso, e produção relativa em função das doses de cobre.

Solo	Doses de Cu (mg/kg)				
	0	0,75	1,5	2,25	3,0
-----MSR (g)-----					
HO	86,28	87,76	79,02	68,17	65,29
HGH	86,57	56,82	45,02	46,90	41,47
HGP	77,71	69,32	61,63	47,16	39,33
-----MSTOT (g)-----					
HO	226,52	219,47	208,89	195,34	191,49
HGH	210,29	172,88	159,04	161,65	144,15
HGP	212,98	191,35	176,88	161,40	150,70
-----PROD.RELAT. ⁽¹⁾ -----					
HO	100	96,8877	92,2180	86,2340	84,5354
HGH	100	82,2110	75,6295	76,8719	68,5498
HGP	100	89,8440	83,0499	75,7803	70,7586

⁽¹⁾ PROD.RELAT.: ausência de cobre = 100%.

Nota-se, que de maneira geral, os danos foram mais severos nas raízes que na parte aérea das plantas, o que pode ser devido à maior concentração de cobre neste órgão. Wheeler e Power (1995), estudando a absorção de íons por plantas de trigo, verificaram que a concentração de cobre no sistema radicular era sete vezes superior ao verificado na parte aérea. Resultados semelhantes foram verificados por Lidon e Henriques (1992), em plantas de arroz e Alva e Chen (1995) em plântulas de citrus. Kumar, Yadav e Yadav (1990), ainda relatam que em níveis de cobre no solo (5 a 20 ppm), onde a produção de matéria seca da parte aérea de plantas de trigo não apresentava diferença significativa, a produção de raízes decresceu.

Carvalho (1980), cita que altos níveis de cobre no solo provocam redução no crescimento radicular, reduzindo a superfície de absorção das raízes e conseqüentemente a produção. Desta forma, é de se esperar que o solo orgânico, com seu maior teor de matéria orgânica, contribua para um menor teor de Cu em solução e conseqüentemente uma maior produção, o que realmente ocorreu (Tabela 9).

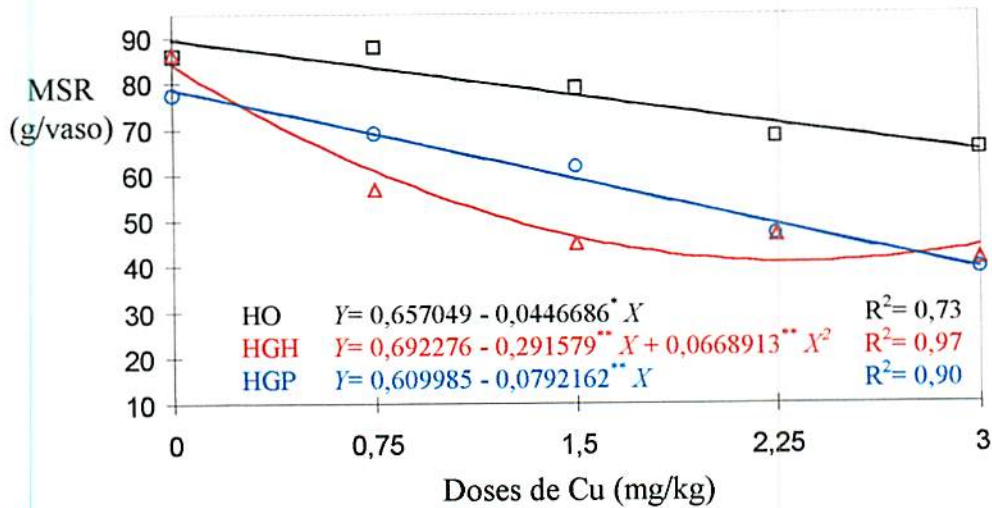


FIGURA 3. Produção de matéria seca das raízes (MSR) em função das doses de cobre, nos solos HO (□), HGH (Δ) e HGP (○).

Resultados neste sentido são comumente mencionados nos casos de contaminação de áreas por metais pesados, não sendo comuns os casos de teores de cobre naturalmente altos, principalmente no que diz respeito à solos orgânicos. Segundo Malavolta (1980), as maiores chances de uma adubação cúprica proporcionar respostas positivas, são atribuídas aos solos com maiores teores de matéria orgânica, visto que o cobre forma complexos pouco solúveis com a mesma, reduzindo sua disponibilidade para as plantas. Paula et al. (1990), encontraram respostas positivas na produção de matéria seca das raízes, com a aplicação de cobre, mesmo em solo que apresentava $2,4 \text{ mg/dm}^3$ (pelo Mehlich 1) do nutriente.

3.3.4 Matéria seca total

A produção total de matéria seca é um pré-requisito para produção de grãos (Fageria, 1984).

A produção de matéria seca total em função dos tratamentos segue a mesma tendência que a produção de matéria seca das raízes (Tabela 9), onde os solos comportaram-se distintamente entre si, apresentando o solo orgânico um maior tamponamento ao incremento de cobre (Figura 4), refletindo em uma maior produção relativa em todas as doses de cobre (Tabela 9).

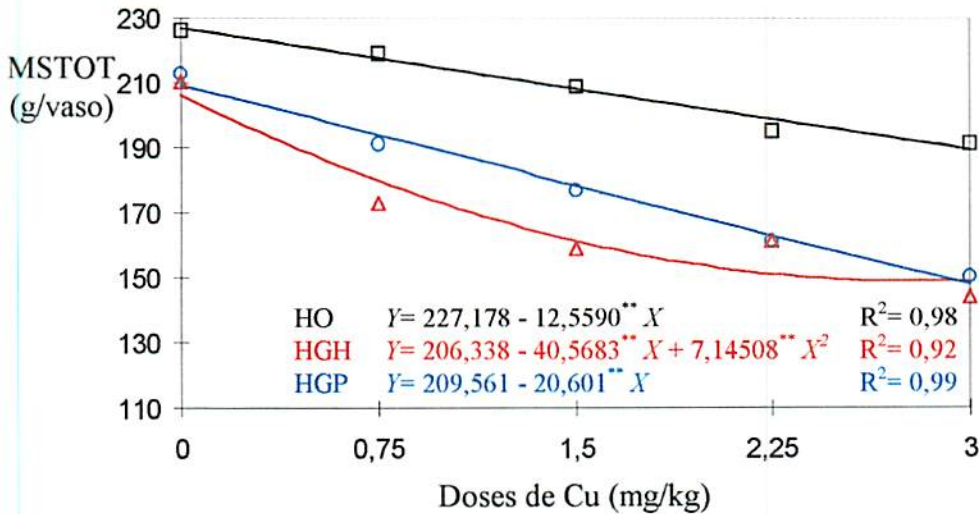


FIGURA 4. Produção total de matéria seca (MSTOT) em função das doses de cobre, nos solos HO (□), HGH (Δ) e HGP (○).

Para van Raij et al. (1996), teores de Cu no solo maiores que $0,8 \text{ mg/dm}^3$ extraído com DTPA são considerados altos para a maioria das culturas. Entretanto, não se tem limites estabelecidos para solos de várzea cultivados sob inundação (Galvão, Sousa e Peres, 1984). Espera-se que estes valores sejam bem maiores no que diz respeito a sistemas inundados, pois mesmo o cobre não estando envolvido nas reações de oxi-redução, sua mobilidade pode ser drasticamente afetada pela mesma em função do aumento em pH, CO_3^{2-} , S^{2-} , Fe^{2+} e Mn^{2+} , ocasionado pela redução do potencial redox e todas suas implicações, diminuindo a disponibilidade de Cu (Dutta, Mandal e Mandal, 1989).

Paula et al. (1990), avaliando a fertilidade de um solo Glei Húmico (coletado na mesma área), verificaram aumento da matéria seca total quando não se omitia o cobre na adubação, sendo que o solo já apresentava inicialmente $2,4 \text{ mg de Cu /dm}^3$ de solo, utilizando o extrator Mehlich 1. Considerando que as faixas de interpretação do DTPA devem ser mais amplas que as do Mehlich 1, espera-se uma resposta da planta ao nutriente em questão, mesmo com teores acima daqueles verificados inicialmente pelos autores citados acima. Segundo Galvão e Sousa (1985), as maiores quantidades extraídas pelo DTPA em relação ao Mehlich 3 e Mehlich 1 se devem ao primeiro possuir um agente complexante mais concentrado que o segundo e ausente no último. Assim

sendo, mesmo os solos em estudo apresentando inicialmente elevados teores de Cu, seu efeito era uma incógnita, não sendo esperado este efeito depressivo generalizado.

Também é de grande valia destacar a grande variabilidade das características químicas destes solos no decorrer do tempo. Comparando-se as análises químicas iniciais de Paula et al. (1990) e Paula et al. (1991), nota-se que, em se tratando do mesmo solo (HGH), os teores de Cu variaram significativamente com o tempo, sendo de 2,4 mg/dm³ em 1990 e de 4,7 mg/dm³ em 1991, utilizando o mesmo extrator. Esta variabilidade nos teores de cobre em solos de várzea torna-se expressiva quando comparada entre solos (Fageria, Barbosa Filho e Zimmermann, 1994; Paula et al. 1991; Abreu, Lopes e Andrade, 1987; Galvão, Sousa e Peres, 1984). Portanto, são necessários maiores estudos envolvendo estes solos hidromórficos, sendo atualmente carente faixas de interpretação principalmente no que diz respeito a todos micronutrientes. Sem estas faixas de interpretação, torna-se difícil prever uma resposta positiva ou negativa com cobre, visto que, em solos com teores extremamente variáveis os resultados são contraditórios, necessitando-se de mais pesquisas que os elucidem.

4 CONCLUSÕES

O extrator DTPA apresentou alta capacidade preditiva da disponibilidade de cobre para a cultura do arroz nos solos de várzea inundadas estudados;

Sem faixas de interpretação para cobre, torna-se difícil prever uma resposta positiva ou negativa à nutrição com este nutriente, sendo arriscada qualquer recomendação, visto que todas as variáveis de crescimento avaliadas foram depreciadas pelas doses de cobre;

A matéria orgânica parece ter sido o principal atributo discriminatório entre solos, amenizando a toxidez de cobre e propiciando uma maior produção, de todas as variáveis de crescimento avaliadas, no solo Orgânico.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A. de; LOPES, A.S.; ANDRADE, D.S. Identificação de deficiências de micronutrientes em cinco solos de várzeas da região de cerrados de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.8, p.833-841, ago. 1987.
- ALVA, A.K.; CHEN, E.Q. Effects of external copper concentrations on uptake of trace elements by citrus seedlings. **Soil Science**, Baltimore, v.159, n.1, p.59-64, Jan. 1995.
- BARBOSA FILHO, M.P. **Nutrição e adubação do arroz: (sequeiro e irrigado)**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129p. (Boletim Técnico, 9).
- BATAGLIA, O.C.; VAN RAIJ, B. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p. 205-212, 1989.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 1986. 94p.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S.; DECHEN, A.R. Efeitos do pH e da incubação na extração de manganês, zinco, cobre e ferro do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, n.2, p. 83-88, 1982.
- CARVALHO, J.G. de. **Efeito de aplicações foliares de oxiclureto de cobre em cafeeiros (*Coffea arabica* L.)**. Lavras: ESAL, 1980. 43p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- CORÁ, J.E. **Avaliação da disponibilidade de boro, cobre e zinco em solos de várzea do estado de Minas Gerais**. Lavras: ESAL, 1991. 135p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- CRUZ, M.C.P. da. **Seleção de métodos para avaliação do cobre disponível dos solos**. Jaboticabal: UNESP, 1988. 93p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia)
- CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E. Seleção de métodos para avaliação do cobre disponível nos solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.4, p.647-659, abr. 1990.
- CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Solos de várzeas de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.152, p.3-10, 1988.

- DUTTA, D.; MANDAL, B.; MANDAL, L.N. Decrease in availability of zinc and copper in acidic to near neutral soils on submergence. **Soil Science**, Baltimore, v. 147, n.3, p.187-195, Mar. 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos e análises de solos**. Rio de Janeiro, 1979. n.p.
- FAGERIA, N.K. **Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz**. Goiânia: Campus, 1984. 341p.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; ZIMMERMANN, F.J.P. Caracterização química e granulométrica de solos de várzea de alguns estados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.2, p.267-274, fev. 1994.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227p.
- FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da. Micronutrientes no solo. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da. (eds.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. Cap.5, p.131-157.
- FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.A.V.; BAHIA, V.G.; LOPES, A.S.; AQUINO, L.E. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação à níveis de água em solos da região de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, n.5, p.5-8, 1980.
- FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 221p
- GALRÃO, E.Z. Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção e composição química do arroz, milho e soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, n.1, p.111-116. 1984.
- GALRÃO, E.Z.; SOUSA, D.M.G. de. Resposta do trigo à aplicação de cobre em um solo orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, n.2, p.149-153. 1985.
- GALRÃO, E.Z.; SOUSA, D.M.G. de; PERES, J.R.R. Caracterização de deficiências nutricionais em solos de várzeas da região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.9, p.1091-1101, set. 1984.
- GRAHAM, R.D. A nomadous water relations in copper-deficient wheat plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.3, p.229-236, 1976.

- HAQUE, I.; ADUAYI, E.A.; SIBANDA, S. Copper in soils, plants, and ruminant animal nutrition with special reference to sub-Saharan Africa. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.16, n.11, p.2149-2212, 1993.
- HENRIQUES, F.S.; LIDON, F.C. Effects of copper toxicity on growth and the uptake and translocation of metals in rice plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.16, n.8, p.1449-1464, 1993.
- KUMAR, V.; YADAV, D.V.; YADAV, D.S. Effects of nitrogen sources and copper levels on yield, nitrogen and copper contents of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant and Soil**, Netherlands, v.126, n.1, p.79-83, Aug. 1990.
- LIDON, F.C.; HENRIQUES, F.S. Limiting step on photosynthesis of rice plants treated with varying copper levels. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v.138, p.115-118, 1991.
- LIDON, F.C.; HENRIQUES, F.S. Effects of increasing concentrations of Cu on metal uptake kinetics and biomass yields. **Soil Science**, Baltimore, v.154, n.1, p.44-49, July 1992.
- LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.42, n.3, p.421-428, May/June 1978.
- LOPES, A.S. **Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo**. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 162p.
- MACHADO, P.L.O. de A.; PAVAN, M.A. Avaliação de métodos químicos para extração de zinco disponível no solo para mudas de café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.213-217, fev. 1987.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: ProduQuímica, 1994. 153p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- 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**, Netherlands, v.182, n.2, p.287-300, May 1996.
- MORAIS, O.P.; SOARES, P.C. **Inca, nova cultivar de arroz irrigado para Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG/ESAL/UFMG/UFV, 1982. 4p. (Pesquisando, 46).

- PAULA, M. B. de, CARVALHO, J.G.de; NOGUEIRA, F.D.; MESQUITA, H.A. Curva de resposta e avaliação de extratores para zinco disponível em solos hidromórficos e aluviais sob arroz inundado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.1, p.49-55. 1991.
- PAULA, M. B. de, CARVALHO, J.G. de; SOARES, A.A.; NOGUEIRA, F.D. Avaliação da fertilidade de um solo de várzea (Glei Húmico) para a cultura do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, n.4, p.571-577, 1990.
- PONNAMPERUMA, F.N.; CAYTON, M.T.; LANTINI, R.S. Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper and boron in rice soil. **Plant and Soil**, Netherlands, v.61, n.2, p.297-310, 1981.
- PRIMAVESI, A.M.; PRIMAVESI, A. Influência do cobre na nutrição do arroz (*Oryza sativa* L.). **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.1, n.3, p.9-14, set. 1971.
- RAO, NR.; OWNBY, J.D. Development of na ELISA for estimation of the copper nutritional status of wheat and cotton. **Plant and Soil**, Netherlands, v.155/156, p.453-456, Oct. 1993.
- TURVEY, N.D.; CARLYLE, C.; DOWNES, G.M. Effects of micronutrients on the growth form of two families of *Pinus radiata* (D.Don) seedlings. **Plant and Soil**, Netherlands, v.139, n.1, p.59-65, Jan. 1992.
- VALE, F.R. do; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A. de A. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 171p.
- VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. 343p.
- VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
- WHEELER, D.M.; POWER, I.L. Comparison of uptake and toxicity of various ions in wheat. **Plant and Soil**, Netherlands, v.172, n.2, p.167-173, May 1995.

CAPÍTULO II

EFEITO DO COBRE NA NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO ARROZ (*Oryza sativa* L.) CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA SOB INUNDAÇÃO - TEORES E ACÚMULO DE NUTRIENTES

RESUMO - Levando-se em consideração que a concentração de um nutriente na planta é um indicador final de vários fatores que influenciaram o seu crescimento, conduziu-se um experimento em condições de casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, com a finalidade de estudar a influência da adubação cúprica na absorção de nutrientes pela cultura do arroz em três solos de várzea sob inundação. Os solos estudados (Orgânico, Glei Húmico e Glei Pouco Húmico) foram coletados no município de Lambari (MG). Os tratamentos constaram de cinco doses de cobre (0; 0,75; 1,5; 2,25 e 3,0 mg/kg de solo). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições, arranjado num esquema fatorial 5x3, sendo cinco doses de cobre e três solos. Cada parcela foi constituída por um vaso com 6 kg de solo com três plantas. Apesar das doses de cobre terem influenciado negativamente a produção de matéria seca da parte aérea, não foi evidenciado nenhum efeito de concentração. Dentre os macronutrientes, apenas Mg e S foram influenciados pela aplicação de cobre. A adubação cúprica afetou substancialmente a absorção dos micronutrientes Cu, Zn, Fe e Mn, não sendo notado efeito sobre o B. O efeito da adição de cobre sobre as plantas de arroz foi distinto entre solos, sendo que o teor de matéria orgânica parece ter sido o principal atributo discriminatório.

CHAPTER II

EFFECT OF COPPER DOSES ON RICE CROP MINERAL NUTRITION AND GROWTH IN LOWLAND SOILS UNDER FLOODED CONDITIONS - NUTRIENTS CONTENTS AND ACCUMULATION

ABSTRACT - Considering the plant nutrient concentration as the final indicator regarding to some important features influencing the plant growth, this work was carried out in controlled conditions of a greenhouse at The Soil Science Department of The Federal University of Lavras, in order to study the influence of copper fertilization in the nutrient uptake by rice crop in three lowland soils under flooded conditions. The studied soils (bog, humic gley and low humic gley) were taken in Lambari County. The treatments were five copper doses (0; 0,75; 1,5; 2,25 and 3,0 mg/kg of soil). The experimental design was a completely randomized, in a factorial scheme, with five copper doses and three different types of soils with four replications. Each 6 kg pot was considered as a single plot with three plants. Although the copper doses have negatively influenced the shoot dry matter yield, it was not found any concentration effect. Among the macronutrients, only Mg and S were influenced by copper application. The copper fertilization affected dramatically Cu, Zn, Fe and Mn uptake, and it was not presented any effect on boron. The addition effect of copper on rice plants was different among soils types, and organic matter content seems to be the main discriminatory feature.

1 INTRODUÇÃO

Exigido em pequenas quantidades pelas culturas, o cobre é um dos últimos nutrientes a desenvolver sintomas de deficiência quando seu suprimento não atende à demanda das plantas. Geralmente ocorre em teores muito baixos no solo e sua dinâmica mostra-se bastante afetada pelas características do mesmo. Assim, o pH, a umidade, o teor de matéria orgânica, a fração mineral e biológica do solo, além da própria planta, são fatores que condicionam sua disponibilidade e seu aproveitamento pelas culturas, na medida que interferem nas reações, desencadeando a formação de produtos de maior ou menor solubilidade. Portanto, variações nos atributos químicos do solo, podem induzir mudanças na disponibilidade de um micronutriente e conseqüentemente resultar em sua deficiência ou toxicidade (Alva e Obreza, 1994).

Quando um solo ácido é inundado, normalmente o pH decresce durante os primeiros dias, atinge um mínimo e então cresce assintoticamente e se estabiliza em valores próximos ao neutro algumas semanas mais tarde. O aumento do pH se deve à liberação de íons OH^- ou consumo de íons H^+ . Este aumento depende da relação entre os íons H^+ ou OH^- e número de elétrons envolvidos na reação. A redução do ferro apresenta a mais alta relação íons H^+ : elétrons, provocando com isso maior variação de pH (Ponnamperuma, 1972).

A redução do manganês é um dos primeiros efeitos mensuráveis da redução do solo e se reflete em aumentos na concentração de Mn^{2+} em solução (Mello, 1991). Esses aumentos, dependem principalmente dos teores de matéria orgânica, Mn e do pH dos solos. Em solos ácidos com teores elevados de Mn e matéria orgânica, o Mn^{2+} em solução pode atingir de até 90 ppm dentro de uma ou duas semanas. Posteriormente verifica-se um rápido declínio do Mn^{2+} atingindo a estabilidade em teores de aproximadamente 10 ppm. Solos com pH elevado e baixos teores de Mn raramente atingem concentrações superiores a 10 ppm de Mn^{2+} em solução (Ponnamperuma, 1972). A maioria dos solos alagados contém manganês solúvel em água suficiente para o crescimento satisfatório do arroz, normalmente não ocorrendo toxidez deste elemento nesses solos (Fageria, 1984).

O aumento da concentração dos cátions Mn^{2+} e Fe^{2+} na solução do solo faz-se refletir no equilíbrio complexo de troca/solução, com o deslocamento de outros cátions adsorvidos para a

solução do solo. Dessa forma, os teores de NH_4^- , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} tendem a aumentar na solução do solo com o tempo de alagamento, conforme observaram Moraes e Freire (1974), seguindo um tipo de curva similar ao que se espera na solubilização do Mn^{2+} e do Fe^{2+} . Como consequência disso, o arroz irrigado passa a ter maior disponibilidade daqueles nutrientes em comparação ao arroz de sequeiro, conservando-se inalteradas as demais condições.

Em solos onde o potencial de oxi-redução atinge valores muito baixos, o sulfato é reduzido a sulfeto por bactérias que utilizam este como receptor de elétrons. A redução do sulfato pode trazer as seguintes implicações para a cultura do arroz sob inundação: a) o suprimento de enxofre pode tornar-se deficiente; b) zinco e cobre podem ser imobilizados; c) toxicidade de H_2S pode ocorrer em solos com baixo teor de ferro (Ponnamperuma, 1972).

A precipitação de certos íons metálicos na forma de sulfetos, em solos sob inundação, tem sido mencionada como um importante mecanismo na prevenção de possíveis níveis tóxicos, tanto do íon S^{2-} como dos íons metálicos (Guilherme, 1990). Um estudo neste sentido foi efetuado por Engler e Patrick Jr. (1975), tendo sido observado que sob condições anaeróbicas e em ordem decrescente de solubilidade MnS , FeS , ZnS , CuS e HgS eram altamente estáveis e, embora em alguns casos, a alta solubilidade de alguns compostos permitisse a elevação dos teores de S^{2-} a níveis tóxicos, este era oxidado na região da rizosfera do arroz, sendo posteriormente absorvido na forma oxidada.

Quando solos são submersos, a difusão de O_2 para o solo e CO_2 para fora deste são grandemente restritas, resultando em acúmulo de CO_2 , aumentando a concentração de HCO_3^- (Moraes e Dynia, 1992) e CO_3^{2-} na solução do solo (Dutta, Mandal e Mandal, 1989), causando precipitação do Cu como carbonatos. As concentrações de HCO_3^- e CO_3^{2-} provavelmente são maiores nos solos com alto conteúdo de matéria orgânica, podendo explicar a correlação positiva encontrada pelos últimos autores, entre a percentagem de decréscimo de Cu em solos quando submerso com o conteúdo de C orgânico dos solos estudados, além do que a complexação do cobre pela matéria orgânica é a reação mais importante a determinar o comportamento deste elemento na maioria dos solos, refletindo em sua disponibilidade para as plantas (Malavolta, 1980; van Raij, 1991; Vale, Guilherme e Guedes, 1993; Faquin, 1994).

Portanto, mesmo o cobre não estando envolvido nas reações de oxi-redução, sua mobilidade pode ser drasticamente afetada pela mesma em função do aumento em pH, CO_3^{2-} , S^{2-} ,

Fe^{2+} e Mn^{2-} , ocasionado pela redução do potencial redox e todas suas implicações, sendo que a magnitude do decréscimo da disponibilidade de cobre nestes sistemas está relacionada com a magnitude do aumento em pH e devido à sua precipitação como hidróxidos, carbonatos, sulfetos e compostos de ferro, sendo estas variações dependentes das características iniciais do solo (pH e quantidade destes elementos antes do estabelecimento da inundação) (Dutta, Mandal e Mandal, 1989).

Levando-se em consideração a grande variação na solubilidade de nutrientes em sistemas sob inundação e também que a concentração de um nutriente na planta é um indicador final de vários fatores que influenciaram o seu crescimento (Melsted, Motto e Peck, 1969), o presente estudo objetivou avaliar o efeito de doses de cobre, em solos de várzeas, na aquisição de nutrientes pela cultura do arroz.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (DCS/UFLA), em Lavras, Minas Gerais, utilizando amostras de solo coletadas na camada superficial (0-20 cm) de três solos hidromórficos, Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Glei Pouco Húmico (HGP), oriundos de áreas de cultivo rizícola no município de Lambari (Estação Experimental da EPAMIG).

As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 5,00 mm de abertura, sendo retiradas subamostras para caracterização química e física (Tabela 1), seguindo metodologia proposta por Vettori (1969) e modificada pela EMBRAPA (1979) e Camargo et al. (1986). O teor de cobre dos solos foi determinado pelo extrator DTPA, ácido dietileno-triaminopentaacético, solução desenvolvida por Lindsay e Norvell (1978).

Após seco e peneirado, 6 kg de solo foram acondicionados em vasos plásticos sem dreno, com capacidade para 8 litros, recebendo os tratamentos em forma de solução (0; 0,75; 1,5; 2,25 e 3,0 mg Cu/kg de solo, como sulfato de cobre - $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Segundo Malavolta (1980), a dose de 1,5 mg/dm³ é considerada como adequada, para a maioria das culturas.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 4 repetições, sendo que cada vaso constituiu a unidade experimental, adotando-se um esquema fatorial 5 x 3, sendo cinco doses de cobre e três solos hidromórficos.

TABELA 1. Principais características químicas e físicas dos solos utilizados no experimento.

Solo	PH	P	K	S	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	m	V
	água	mg/dm ³			m mol _c /dm ³					%			
HO	4,9	13	27	2,0	15	12	19	153	28	44	181	41	15
HGH	4,9	26	86	19,3	21	5	7	79	28	47	107	20	26
HGP	5,3	58	64	4,2	22	8	9	88	32	53	120	22	26

Solo	B	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O.	Argila	Silte	Areia	dp	ds
	mg/dm ³					g/kg			g/cm ³		
HO	0,07	4,58	218,0	31,5	0,8	97	250	390	360	2,67	0,94
HGH	0,10	7,85	285,0	46,2	3,2	49	390	250	360	2,50	1,00
HGP	0,07	7,73	297,7	32,0	0,8	48	330	330	340	2,57	1,19

*extratores: Ca, Mg e Al = KCl IN; P e K = Mehlich 1; (H+Al) = acetato de cálcio IN a pH 7.0; B = água quente; Cu, Fe, Mn e Zn = DTPA.

Foram semeadas 10 sementes de arroz cultivar INCA (Tabela 2) por vaso, previamente tratadas com solução de hipoclorito de sódio a 1%. Os solos foram mantidos com umidade equivalente a 60 % do VTP (volume total de poros) (Freire et al. 1980), durante os primeiros 15 dias, a fim de garantir uma germinação satisfatória. Posteriormente foi efetuado um desbaste deixando-se 3 plantas uniformes e vigorosas por vaso com subsequente saturação do solo até uma lâmina d'água de 5±1 cm, a qual foi mantida até o final do ciclo da cultura, sendo retirada 5 dias antes da colheita.

Durante a condução do experimento, foram realizadas adubações de plantio e cobertura conforme ilustrado na Tabela 3. O fósforo foi previamente incorporado ao solo (30 dias antes do plantio) e os demais nutrientes foram aplicados via solução nutritiva, após o desbaste.

TABELA 2. Descrição da cultivar INCA.

Características	
Ciclo de maturação (dias)	140 a 155
Floração (dias)	100 a 125
Altura das plantas (cm)	84±10
Porte	baixo
Perfilhamento	bom
Acamamento	resistente
comprimento da panícula (cm)	19
Tipo de grão	longo fino e translúcido
Peso de 100 grãos (g)	2,51
Resistência a doenças	
• Brusone	resistente
• Mancha Parda	tolerante

Fonte: Moraes e Soares (1982).

TABELA 3. Doses, fontes e épocas de aplicação dos nutrientes.

Nutriente	Dose mg/kg	Época		Fonte
		plantio	cobertura	
N	50,0	x		CO(NH ₂) ₂
	9,1		1 ^a	(NH ₄) ₂ SO ₄
	40,9		1 ^a	CO(NH ₂) ₂
	100,0		2 ^a	CO(NH ₂) ₂
	100,0		3 ^a	CO(NH ₂) ₂
P	200,0	x		Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O
K	75,0	x		KCl
	75,0		2 ^a	KCl
Ca	129,0	x		Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O
Mg	30,0	x		MgSO ₄
S	39,6	x		MgSO ₄
	10,4		1 ^a	(NH ₄) ₂ SO ₄
B	0,5	x		H ₃ BO ₃
Mo	0,1	x		(NH ₄) ₆ MoO ₂ .4 H ₂ O
Zn	5,0	x		ZnSO ₄ .7 H ₂ O

*1^a, 2^a e 3^a coberturas: 15, 40 e 60 dias após a emergência, respectivamente.

Na colheita, as plantas foram cortadas rente ao solo, separando-se parte aérea e raízes, as quais foram lavadas em água destilada e deionizada, levadas a secar em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C, pesadas e moídas em moinho tipo Wiley para subseqüente análises químicas. As amostras da parte aérea foram submetidas à digestão nitroperclórica em bloco digestor para determinação dos teores de macro e micronutrientes no extrato resultante, com exceção do boro, cujas amostras foram submetidas à digestão por via seca (incineração). Os teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica; o de K por fotometria de chama; o de P por colorimetria; o de S por turbidimetria e o N pelo método Kjeldahl. O boro foi quantificado através da técnica da curcumina (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1989).

As variáveis estudadas tiveram seus dados submetidos a análise de variância. Foram ajustadas equações de regressão, relacionando as diversas variáveis em função das doses de cobre aplicadas ao solo, testando-se modelos lineares, quadráticos e quadráticos base raiz quadrada. Dentre os modelos com coeficientes significativos, foram escolhidos aqueles com maior coeficiente de determinação (R^2). Os níveis de significância considerados foram de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade.

Tanto a análise de variância como os ajustes de equações de regressão e correlações, foram efetuados pelo programa SAEG.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teores e acúmulo de nutrientes na parte aérea do arroz

A produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas de arroz em função das doses de cobre, encontra-se expressa na Tabela 4.

TABELA 4. Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de arroz (MSPA), por vaso, em função das doses de cobre.

Solo	Doses de Cu (mg/kg)					Média	
	0	0,75	1,5	2,25	3,0		
	-----MSPA (g/vaso)-----						
HO	140,24	131,71	129,88	127,16	126,20	131,04	A
HGH	123,71	116,06	114,02	114,75	102,68	114,24	C
HGP	135,27	122,03	115,25	114,23	111,37	119,63	B

Medias seguidas por letras diferentes, diferem entre si (Tukey 5%)

O efeito dos tratamentos sobre a produção de MSPA foi independente dos solos utilizados e foi depressivo, apresentando ajuste altamente significativo à equação: $Y = 130,411 - 5,849^{**} X$, com $R^2 = 0,90$. A produção de matéria seca da parte aérea, independentemente dos tratamentos, foi distinta entre solos, apresentando maior produção as plantas cultivadas no solo HO, seguida daquelas cultivadas no HGP, sendo que as plantas cultivadas no solo HGH apresentaram menor produção de matéria seca da parte aérea.

3.1.1 Macronutrientes

Os teores e acúmulo de N, P, K, e Ca na parte aérea das plantas de arroz, não foram influenciados pelas doses de cobre, entretanto, os mesmos foram distintos entre solos, com exceção dos teores e acúmulo de N (Tabela 5). Tanto os teores, quanto o acúmulo de P na parte aérea das plantas foram maiores nas plantas cultivadas no solo HGH e menores naquelas cultivadas nos solos HO e HGP, as quais não diferiram entre si, entretanto, o solo HGP apresentava inicialmente um maior teor deste elemento (Tabela 1). O teor de K na parte aérea das plantas de arroz, também foi superior quando as mesmas foram cultivadas no solo HGH, seguido daquelas cultivadas no solo HGP e apresentando menores valores na parte aérea das plantas cultivadas no solo HO, seguindo a mesma tendência dos teores iniciais nos solos. O acúmulo deste nutriente na parte aérea, apresentou comportamento similar aos dos teores, sendo maior nas plantas cultivadas no solo HGH e menor no solo HO, entretanto, o acúmulo de K na parte aérea das plantas cultivadas no solo HGP, ocupou posição intermediária não diferindo daquelas

cultivadas nos demais solos. Os teores e acúmulo de Ca, foram maiores na parte aérea das plantas cultivadas no solo HGP e menores naquelas cultivadas no HO, ficando aquelas cultivadas no HGH em posição intermediária, diferindo das demais para teores e sendo igual, estatisticamente, àquelas cultivadas no solo HO para acúmulo, seguindo a mesma tendência dos teores iniciais de Ca no solo.

TABELA 5. Teores e acúmulo de N, P, K e Ca na parte aérea das plantas de arroz cultivadas nos solos HO, HGH e HGP, independente das doses de cobre.

Solo	Teor							
	N		P		K		Ca	
	-----g/kg-----							
HO	16,02	A	1,55	B	17,29	C	12,27	C
HGH	17,36	A	2,03	A	22,04	A	15,15	B
HGP	15,32	A	1,48	B	19,51	B	19,34	A
Solo	acúmulo							
	N		P		K		Ca	
	-----g/vaso-----							
HO	2,10	A	0,20	B	2,26	B	1,61	B
HGH	1,98	A	0,23	A	2,52	A	1,72	B
HGP	1,84	A	0,18	B	2,33	AB	2,30	A

Medias seguidas por letras diferentes, diferem entre si (Tukey 5%)

Dentre os macronutrientes, apenas o magnésio e o enxofre foram influenciados significativamente pelas doses de cobre aplicadas, onde tanto seus teores como acúmulo na parte aérea das plantas de arroz apresentaram respostas distintas entre solos (Tabelas 6 e 7). As equações ajustadas para teores e acúmulo de magnésio e enxofre encontram-se expressas na Tabela 8.

Magnésio

Os teores de magnésio, de maneira geral, aumentaram com as doses de Cu (Figura 1). As plantas cultivadas nos solos HO e HGH apresentaram um aumento linear nos teores de magnésio da parte aérea, sendo que para o HGP não houve ajuste significativo.

TABELA 6. Teores de macronutrientes na parte aérea das plantas de arroz em função das doses de cobre, nos diferentes solos.

Solo	Doses de Cu (mg/kg)				
	0	0.75	1.5	2.25	3.0
-----N (g/kg)-----					
HO	14.30	17.30	15.95	16.90	15.63
HGH	18.38	17.43	17.25	13.55	20.20
HGP	15.28	17.83	15.20	13.63	14.68
-----P (g/kg)-----					
HO	1.31	1.64	1.55	1.62	1.62
HGH	2.15	1.98	1.74	2.21	2.08
HGP	1.57	1.75	1.43	1.29	1.36
-----K (g/kg)-----					
HO	14.74	16,83	17.49	18.70	18.70
HGH	22.33	22,00	22,00	23,43	20,46
HGP	17.49	20,24	21,67	17,71	20,46
-----Ca (g/kg)-----					
HO	14.21	10,97	12,83	11,67	11,68
HGH	13.60	13,78	16,57	15,25	16,57
HGP	18.22	16,74	20,65	19,66	21,46
-----Mg (g/kg)-----					
HO	1.32	1.34	1.35	1.40	1.48
HGH	1.40	1.38	1.33	1.56	1.59
HGP	1.83	1.74	1.96	1.60	1.95
-----S (g/kg)-----					
HO	1.85	2.19	2.06	2.42	2.22
HGH	2.88	2.89	2.92	2.44	2.93
HGP	2.00	2.04	2.29	2.02	2.82

Segundo Moraes e Dynia (1992), estudando alterações decorrentes da inundação em um solo Glei Pouco Húmico, o magnésio da solução do solo aumentou com a inundação em função do deslocamento deste cátion pelo ferro e manganês da solução. Considerando que a magnitude deste aumento depende da concentração destes íons em solução (Abreu e Lopes, 1988), o aumento na concentração de magnésio, notado com o aumento da dosagem de cobre, pode ter sido ocasionado pelo deslocamento de ferro e manganês pelo cobre dos sítios de adsorção, deixando a solução do solo mais concentrada com estes íons nas doses mais elevadas de cobre, contribuindo para um maior deslocamento de magnésio para a solução e conseqüente maior absorção pelas plantas. Portanto, pode-se ter, tanto um efeito direto do cobre deslocando magnésio, como um indireto, promovido pelo ferro e manganês.

Avaliando-se o acúmulo deste nutriente na parte aérea das plantas, não foi encontrado ajuste significativo para nenhum dos solos, entretanto suas médias mantiveram a mesma tendência verificada para os teores, não caracterizando um efeito de concentração, e portanto destacando um efeito sinérgico do cobre em relação ao magnésio (Figura 1).

TABELA 7. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas de arroz em função das doses de cobre, nos diferentes solos.

Solo	Doses de Cu (mg/kg)				
	0	0.75	1.5	2.25	3.0
-----N (g/vaso)-----					
HO	2.01	2.29	2.07	2.15	1.97
HGH	2.27	2.02	1.97	1.56	2.06
HGP	2.06	2.16	1.75	1.57	1.63
-----P (g/vaso)-----					
HO	0.18	0.22	0.20	0.21	0.20
HGH	0.27	0.23	0.20	0.25	0.22
HGP	0.21	0.22	0.16	0.15	0.15
-----K (g/vaso)-----					
HO	2.08	2.21	2.27	2.38	2.35
HGH	2.77	2.55	2.51	2.69	2.11
HGP	2.36	2.47	2.50	2.03	2.28
-----Ca (g/vaso)-----					
HO	2.02	1.44	1.65	1.48	1.48
HGH	1.68	1.60	1.89	1.75	1.70
HGP	2.46	2.02	2.38	2.26	2.39
-----Mg (g/vaso)-----					
HO	0.19	0.18	0.17	0.18	0.19
HGH	0.17	0.16	0.15	0.18	0.16
HGP	0.25	0.21	0.23	0.18	0.22
-----S (g/vaso)-----					
HO	0.26	0.29	0.27	0.31	0.28
HGH	0.36	0.33	0.33	0.28	0.30
HGP	0.27	0.25	0.26	0.23	0.31

Enxofre

Analogamente ao observado para magnésio, a disposição dos dados de enxofre apresenta a mesma tendência, tanto para teores quanto acúmulo na parte aérea, descaracterizando qualquer efeito de concentração (Figura 1). Entretanto, as plantas apresentaram respostas distintas nos diferentes solos, observando-se um efeito sinérgico entre Cu x S nas plantas cultivadas nos solos

HO e HGP e antagonico naquelas cultivadas no HGH. Galrão, Andrade e Vilela (1992), avaliando o efeito de micronutrientes no rendimento de matéria seca do estilosantes em solo sob cerrado, verificaram que a aplicação de cobre proporcionou um efeito sinérgico sobre o enxofre, refletindo em aumento de matéria seca. Entretanto, em sistemas inundados é esperado um efeito antagonico entre ambos, pois o cobre liga-se ao enxofre (na forma de sulfeto), formando o composto CuS de baixa solubilidade (Engler e Patrick Jr., 1975).

Tanto os teores de enxofre como os de magnésio, encontram-se dentro da faixa adequada para a cultura do arroz segundo Fageria et al. (1995), embora a época de análise não tenha sido a mesma citada pelos autores (Tabela 5).

TABELA 8. Equações de regressão ajustadas entre os teores e acúmulo de magnésio e enxofre na parte aérea das plantas de arroz, como variáveis dependentes (Y) de doses de cobre (X), nos diferentes solos.

Solo	Equações	R ²
	-----Mg (g/kg)-----	
HO	$Y = 1,29984 + 0,0515^* X$	0,86
HGH	$Y = 1,33304 + 0,0773483^{**} X$	0,61
HGP	<i>sem ajuste significativo</i>	-
	-----Mg (g/vaso)-----	
HO	<i>sem ajuste significativo</i>	-
HGH	<i>sem ajuste significativo</i>	-
HGP	<i>sem ajuste significativo</i>	-
	-----S (g/kg)-----	
HO	$Y = 1,95084 + 0,129544^* X$	0,53
HGH	<i>sem ajuste significativo</i>	-
HGP	<i>sem ajuste significativo</i>	-
	-----S (g/vaso)-----	
HO	<i>sem ajuste significativo</i>	-
HGH	$Y = 0,353997 - 0,0219939^{**} X$	0,75
HGP	$Y = 0,273942 - 0,0487792 X + 0,0194086^* X^2$	0,61

*, ** Significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente.

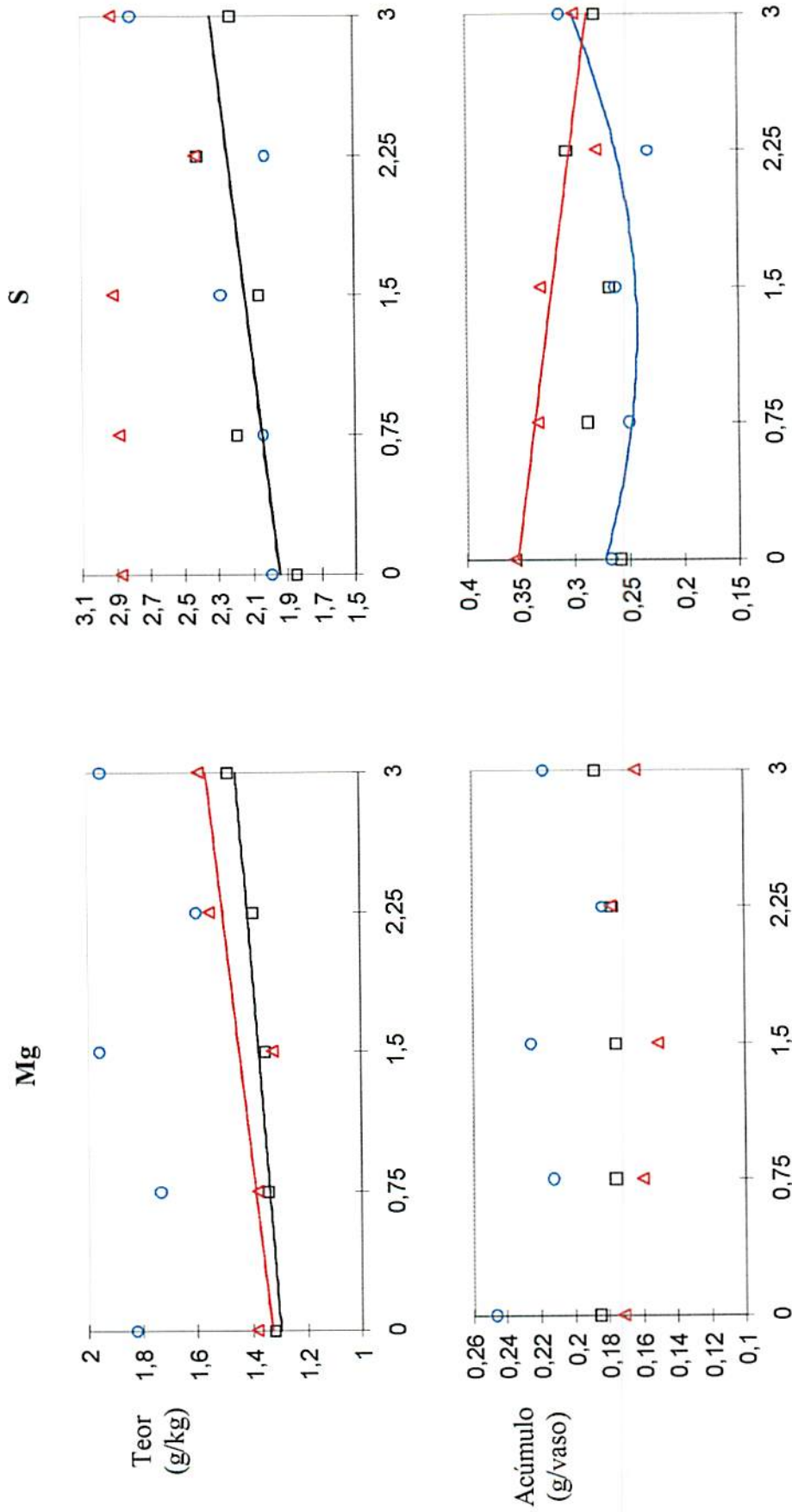


FIGURA 1. Teores e acúmulo de magnésio e enxofre, na parte aérea das plantas de arroz, em função das doses de cobre, nos solos HO (□), HGH (Δ) e HGP (○).

3.1.2 Micronutrientes

Apenas o boro, dentre os micronutrientes avaliados, não foi influenciado pelas doses de cobre, entretanto, seus teores e acúmulo na parte aérea das plantas de arroz, foram distintos entre solos, assim como o acúmulo de Cu e Mn (Tabela 9). Embora o teor de boro, no solo original (Tabela 1), tenha sido maior no HGH, seu teor na parte aérea das plantas de arroz, foi maior nas plantas cultivadas no solo HGP, seguido daquelas cultivadas no HGH e menores naquelas cultivadas no solo HO. O acúmulo de B seguiu a mesma tendências que os teores, embora as plantas cultivadas nos solos HO e HGH não tenham diferido entre si, apresentando acúmulo inferior àquelas cultivadas no HGP. O acúmulo de Cu na parte aérea das plantas de arroz, foi maior nas plantas cultivadas no solo HGP, seguido daquelas cultivadas no HGH e por último aquelas cultivadas no solo HO, todas diferindo estatisticamente entre si, seguindo a mesma tendência dos teores iniciais deste elemento no solo. Já para Mn, seu acúmulo na parte aérea das plantas foi superior e iguais entre si, nas plantas de arroz cultivadas nos solos HGP e HGH, sendo que o acúmulo deste nutriente foi menor nas plantas cultivadas no solo HO, que também possuía inicialmente teores de Mn menores que os demais solos.

TABELA 9. Teores de B e acúmulo de B, Cu e Mn na parte aérea das plantas de arroz cultivadas nos solos HO, HGH e HGP, independente das doses de cobre.

Solo	Teor					
	B					
	-----mg/kg-----					
HO	10,89	C				
HGH	14,46	B				
HGP	18,83	A				
	Acúmulo					
	B		Cu		Mn	
	-----mg/vaso-----					
HO	1,43	B	1,14	C	148,26	B
HGH	1,64	B	1,21	B	276,85	A
HGP	2,24	A	1,30	A	300,94	A

Medias seguidas por letras diferentes, diferem entre si (Tukey 5%)

Os demais micronutrientes (Cu, Zn, Fe e Mn), tiveram seus teores influenciados pelas doses de Cu, apresentando resposta distinta entre solos (Tabelas 10 e 11). O acúmulo destes micronutrientes também foi influenciado pelos tratamentos, entretanto, as respostas foram independentes dos solos para Cu e Mn e dependentes para Fe e Zn. Na Tabela 12 são apresentadas as equações ajustadas para estas características.

Cobre

Os teores de Cu na parte aérea aumentaram linearmente com o aumento das doses de Cu. Tanto os valores absolutos dos teores quanto a proporção de aumento destes com o aumento das doses de cobre (inclinação da reta), foram sempre menores nas plantas cultivadas no solo HO (Figura 2). Os maiores teores de matéria orgânica deste solo, e a alta estabilidade do cobre quando ligado a compostos orgânicos, provavelmente foram os responsáveis pelos menores teores verificados nas plantas cultivadas no solo HO. Em consequência disto, as plantas cultivadas neste solo apresentaram as maiores produções de matéria seca da parte aérea (Tabela 4).

O acúmulo de cobre na parte aérea também aumentou linearmente com o incremento das doses de cobre, embora apresentando a mesma tendência entre solos, descartando um possível efeito de concentração.

Fageria et al. (1995), citam como tóxicos, teores foliares acima de 20 ppm, por ocasião do perfilhamento. Entretanto nota-se que os teores foliares encontrados neste trabalho, no final do ciclo da cultura, são inferiores aos descritos pelos autores e mesmo assim verificou-se um efeito depressivo sobre a produção de MSPA (Tabela 4).

TABELA 10. Teores de micronutrientes na parte aérea das plantas de arroz em função das doses de cobre, nos diferentes solos.

Solo	Doses de Cu (mg/kg)				
	0	0.75	1.5	2.25	3.0
-----B (mg/kg)-----					
HO	12.28	10.59	10.80	11.01	9.78
HGH	11.63	12.88	17.28	12.92	17.57
HGP	16.83	16.86	20.04	19.50	20.94
-----Cu (mg/kg)-----					
HO	7.12	8.37	8.47	9.85	9.78
HGH	9.17	9.66	10.83	11.02	12.78
HGP	9.01	9.30	10.99	11.88	13.60
-----Zn (mg/kg)-----					
HO	67.19	88.08	93.90	101.74	95.23
HGH	66.86	67.46	69.98	67.45	73.45
HGP	57.36	55.35	54.19	39.70	45.22
-----Fe (mg/kg)-----					
HO	232.97	426.01	381.42	366.18	367.18
HGH	393.01	427.24	427.36	393.29	398.01
HGP	420.98	396.91	409.35	438.54	361.13
-----Mn (mg/kg)-----					
HO	1286.18	1096.01	1142.35	1083.23	1032.08
HGH	2017.68	2228.88	2539.08	2147.89	3353.76
HGP	2404.33	2154.08	3004.10	1929.54	3194.95

TABELA 11. Acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas de arroz em função das doses de cobre, nos diferentes solos.

Solo	Doses de Cu (mg/kg)				
	0	0.75	1.5	2.25	3.0
-----B (mg/vaso)-----					
HO	1.73	1.39	1.40	1.40	1.24
HGH	1.43	1.50	1.97	1.48	1.81
HGP	2.27	2.05	2.31	2.22	2.33
-----Cu (mg/vaso)-----					
HO	1.00	1.10	1.10	1.25	1.23
HGH	1.14	1.12	1.24	1.27	1.31
HGP	1.22	1.14	1.27	1.36	1.51
-----Zn (mg/vaso)-----					
HO	9.36	11.56	12.13	12.91	12.00
HGH	8.21	7.80	7.99	7.74	7.56
HGP	7.75	6.83	6.25	4.52	5.04
-----Fe (mg/vaso)-----					
HO	32.12	56.09	49.38	46.57	46.38
HGH	48.44	49.63	48.73	45.11	40.82
HGP	56.96	48.11	47.26	50.09	40.21
-----Mn (mg/vaso)-----					
HO	181.78	143.81	147.82	137.73	130.18
HGH	248.36	258.78	288.65	246.26	342.22
HGP	324.28	259.96	346.28	218.19	356.00

Zinco

Os teores e acúmulo de zinco em função dos tratamentos apresentam as mesmas tendências, descartando qualquer efeito de concentração (Figura 2). Embora os valores iniciais destas duas variáveis sejam semelhantes entre solos, com o aumento das doses de cobre, as plantas cultivadas no solo HO passaram a apresentar valores superiores àquelas cultivadas nos demais solos. Entretanto, o aumento para este solo é verificado até a dose de 2,25 mg/kg, tendendo a decrescer a partir desta dose.

Barbosa Filho, Dynia e Zimmermann (1990), observaram que doses crescentes de Cu, na ausência do Zn, estimulavam a absorção deste último, a qual, associada a um maior rendimento das culturas, resultou em maior quantidade de Zn acumulada, caracterizando uma interação sinérgica entre os dois elementos. Tal interação é explicada pela substituição parcial do Zn pelo Cu nos sítios de troca dentro da planta, ou pelo deslocamento do Zn complexado na matéria orgânica pelo Cu, porquanto este forma complexos de maior grau de estabilidade com os ácidos húmicos e fúlvicos da matéria orgânica do que o Zn. Este deslocamento, acrescenta os autores, pode ainda ocorrer no complexo mineral do solo, devido à quantidade elevada de Cu aplicada (ação de massa).

Assim sendo, suspeita-se que este mecanismo elucidada a interação positiva ocorrida até a dose de 2,25 mg/kg para o solo HO, passando a ocorrer a partir desta dose uma competição entre ambos, devido à maior quantidade de cobre em solução. Galvão e Mesquita Filho (1981), Galvão, Sousa e Peres (1984) e Galvão, Andrade e Vilela (1992), também encontraram interação negativa entre Cu e Zn em plantas cultivadas em solos com níveis adequados de zinco.

Tanto os teores quanto o acúmulo de Zn na parte aérea das plantas de arroz cultivadas no solo HGP, apresentaram queda linear com o incremento das doses de cobre, reafirmando a hipótese acima, pois neste solo, com um menor teor de matéria orgânica, apresenta uma menor possibilidade do cobre formar complexos, permanecendo em maiores proporções em solução que no solo HO, sendo mais evidente a inibição competitiva desde a primeira dose de cobre aplicada (Figura 2).

Os teores foliares e acúmulo de Zn na parte aérea das plantas cultivadas no solo HGH, com teor de matéria orgânica semelhante ao HGP e CTC intermediária aos outros dois solos, se

dispuseram em posição intermediária, apresentando uma pequena variação linear, tanto para teores quanto acúmulo, sendo esta praticamente paralela ao eixo das abcissas, não sendo claro nenhum efeito antagônico ou sinérgico entre Cu x Zn.

Barbosa Filho, Dynia e Zimmermann (1990), admitem a hipótese de que, em solos pobres em Zn disponível e com alta disponibilidade de cobre, seja do solo ou adicionado através de fertilizantes, poderá ocorrer uma redução na absorção de Zn, agravando ainda mais sua deficiência para a cultura do arroz. Entretanto, nas condições do presente trabalho, isto só foi verdadeiro quando os solos apresentavam menores teores de matéria orgânica e menor CTC.

TABELA 12. Equações de regressão ajustadas entre os teores e acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas de arroz, como variáveis dependentes (Y) de doses de cobre (X), nos diferentes solos.

Solo	Equações	R ²
	-----Cu (mg/kg)-----	
HO	$Y = 7,359 + 0,90552^{**} X$	0,90
HGH	$Y = 8,97798 + 0,114283^{**} X$	0,94
HGP	$Y = 8,605 + 1,56643^{**} X$	0,96
	-----Cu (mg/vaso)-----	
TODOS	$Y = 1,08668 + 0,0860879^{**} X$	0,94
	-----Zn (mg/kg)-----	
HO	$Y = 67,7385 + 29,4077^{**} X - 6,70267^{*} X^2$	0,98
HGH	$Y = 67,2267 - 0,434552^{*} X + 0,730539^{*} X^2$	0,66
HGP	$Y = 58,3481 - 5,3226^{*} X$	0,70
	-----Zn (mg/vaso)-----	
HO	$Y = 9,40615 + 3,17461^{**} X - 0,763534^{*} X^2$	0,97
HGH	$Y = 8,13362 - 0,187538 X + 0,00175944^{**} X^2$	0,75
HGP	$Y = 7,62651 - 1,03267^{**} X$	0,87
	-----Fe (mg/kg)-----	
HO	$Y = 237,432 + 308,650^{**} \sqrt{X} - 140,839^{**} X$	0,91
HGH	<i>sem ajuste significativo</i>	-
HGP	<i>sem ajuste significativo</i>	-
	-----Fe (mg/vaso)-----	
HO	$Y = 32,7225 + 39,1413^{**} \sqrt{X} - 18,8543^{**} X$	0,89
HGH	$Y = 50,4969 - 2,63345 X$	0,74
HGP	$Y = 54,8281 - 4,20254^{**} X$	0,69
	-----Mn (mg/kg)-----	
HO	<i>sem ajuste significativo</i>	-
HGH	<i>sem ajuste significativo</i>	-
HGP	<i>sem ajuste significativo</i>	-
	-----Mn (mg/vaso)-----	
TODOS	<i>sem ajuste significativo</i>	-

*, ** Significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente.

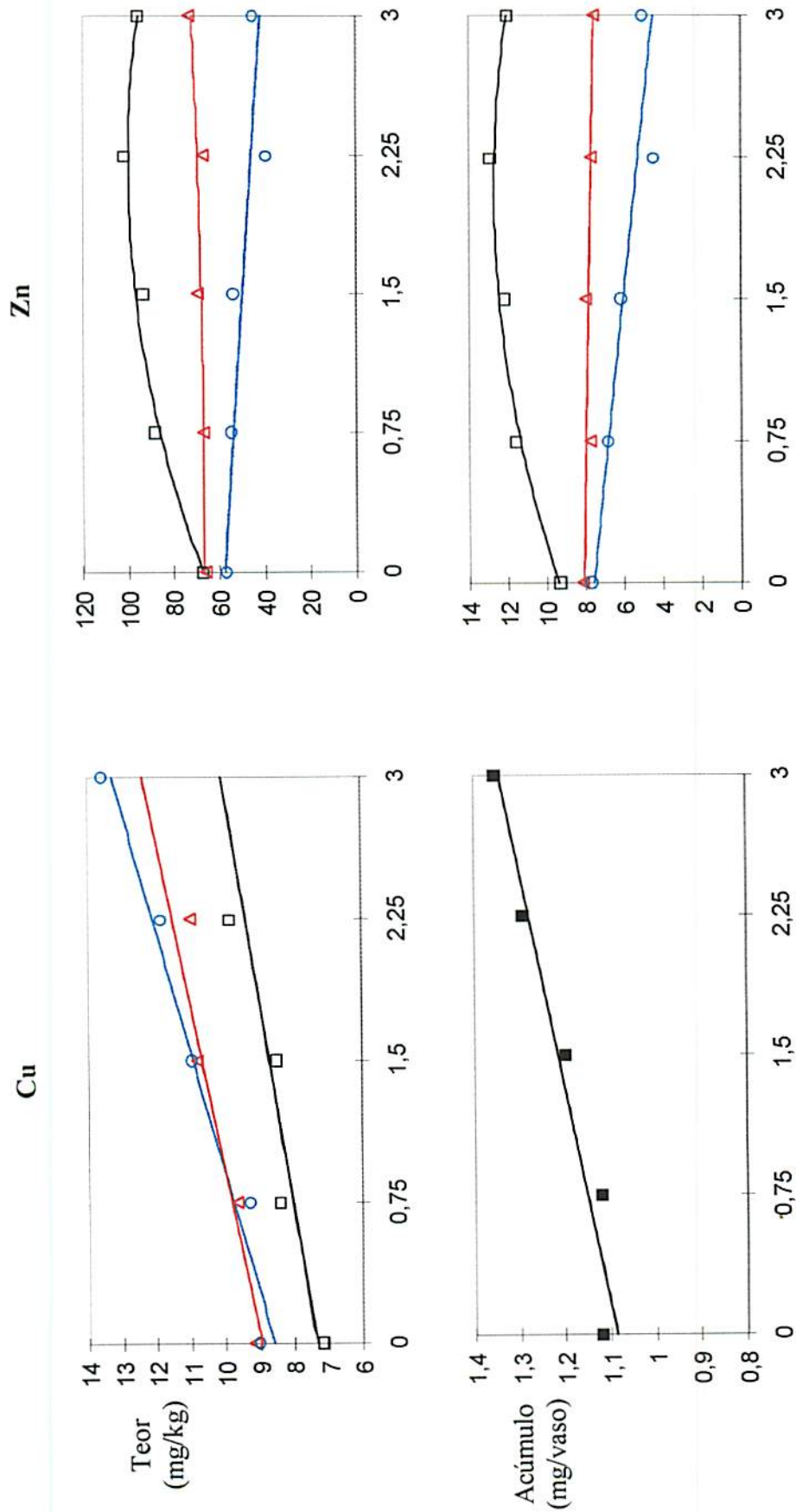


FIGURA 2. Teores e acúmulo de cobre e zinco, na parte aérea das plantas de arroz, em função das doses de cobre, nos solos HO (□), HGH (Δ) e HGP (O).

Ressalta-se que os teores de zinco encontrados apresentam-se dentro da faixa adequada para a cultura do arroz segundo Fageria et al. (1995), embora a época de análise tenha sido diferente da citada pelos autores.

Ferro

Os teores e acúmulo de ferro na parte aérea em função dos tratamentos, também apresentam as mesmas tendências, não evidenciando efeito de concentração (Figura 3).

Os dados de ferro, para as plantas cultivadas no solo orgânico apresentaram ajuste similar ao verificado para zinco, suspeitando-se que as explicações feitas para aquele nutriente também se adequem neste caso. Entretanto, o efeito benéfico do cobre sobre as concentrações de ferro limitou-se à primeira dose, evidenciando um antagonismo a partir daí. Holanda et al. (1992), também observaram uma redução do teor de ferro na parte aérea de plantas de arroz, cultivadas em solos inundados, nas maiores doses de cobre, atribuindo esta redução à competição entre estes elementos. Silva e Andrade (1987), relatam em seus estudos com a cultura do arroz, que teores os foliares de Cu correlacionaram-se positivamente com os de Fe. Paula et al. (1990), analisando as relações entre quantidades de Fe/Cu, encontraram valores de 18,7 no tratamento completo e de 41,8 no tratamento em que se omitiu o Cu, evidenciando a maior absorção de Fe na ausência de Cu, caracterizando um efeito antagônico entre ambos. Além do efeito antagônico oriundo da competição entre Cu x Fe, há relatos onde o excesso de cobre em plântulas de arroz afeta o metabolismo do ferro nas plantas (Fernandes e Henriques, 1991).

O acúmulo de Fe nos solos HGH e HGP foi linear decrescente em função dos tratamentos, evidenciando uma inibição competitiva do cobre em relação ao ferro.

Os teores de ferro na parte aérea, exceto na omissão de Cu no solo HO, apresentam-se acima dos descritos como tóxicos para a cultura do arroz segundo Fageria et al. (1995) (embora a época de análise tenha sido diferente da citada pelos autores), os quais podem ser decorrentes da diminuição do potencial redox ocasionado pela inundação.

Manganês

Embora a análise de variância tenha demonstrado diferenças significativas entre teores e acúmulo de Mn na parte aérea, não conseguiu-se obter um ajuste significativo que explicasse os dados em função de uma falta de tendência dos mesmos, tanto de teores quanto acúmulo (Figura 3).

Galvão (1989), encontrou interação negativa entre Cu x Mn, onde o efeito de um nutriente só foi significativo na ausência do outro. Harrison et al., citado por Lidon e Henriques (1992), também sugerem uma inibição competitiva, entre cobre e manganês, pelo mesmo sítio de absorção em raízes de cevada. Entretanto, Bowen (1981), sugere que manganês e cobre são absorvidos por mecanismos diferentes, talvez explicando a falta de tendência encontrada na interação entre ambos, no presente estudo.

Os teores de Mn na parte aérea, no final do ciclo da cultura, apresentam-se acima daqueles descritos como tóxicos por Fageria et al. (1995), por ocasião do perfilhamento, o que pode ser devido a este nutriente ser um dos primeiros a ser afetado pelo estabelecimento do ambiente redutor com a inundação dos solos. Entretanto, no solo HO, estes valores se mantiveram próximo ao limite inferior de toxidez considerado pelos autores, evidenciando mais uma vez o efeito benéfico da matéria orgânica nestes casos.

Mesmo com teores foliares considerados tóxicos, não foram evidenciados sintomas de toxidez deste elemento durante o ciclo da cultura. Segundo Tanaka e Navasero (1966), o arroz cresce e produz bem com teores de Mn nas folhas tão altos como 2.500-3.000 ppm, o que contradiz Abreu e Lopes (1988), que consideram estes valores como tóxicos.

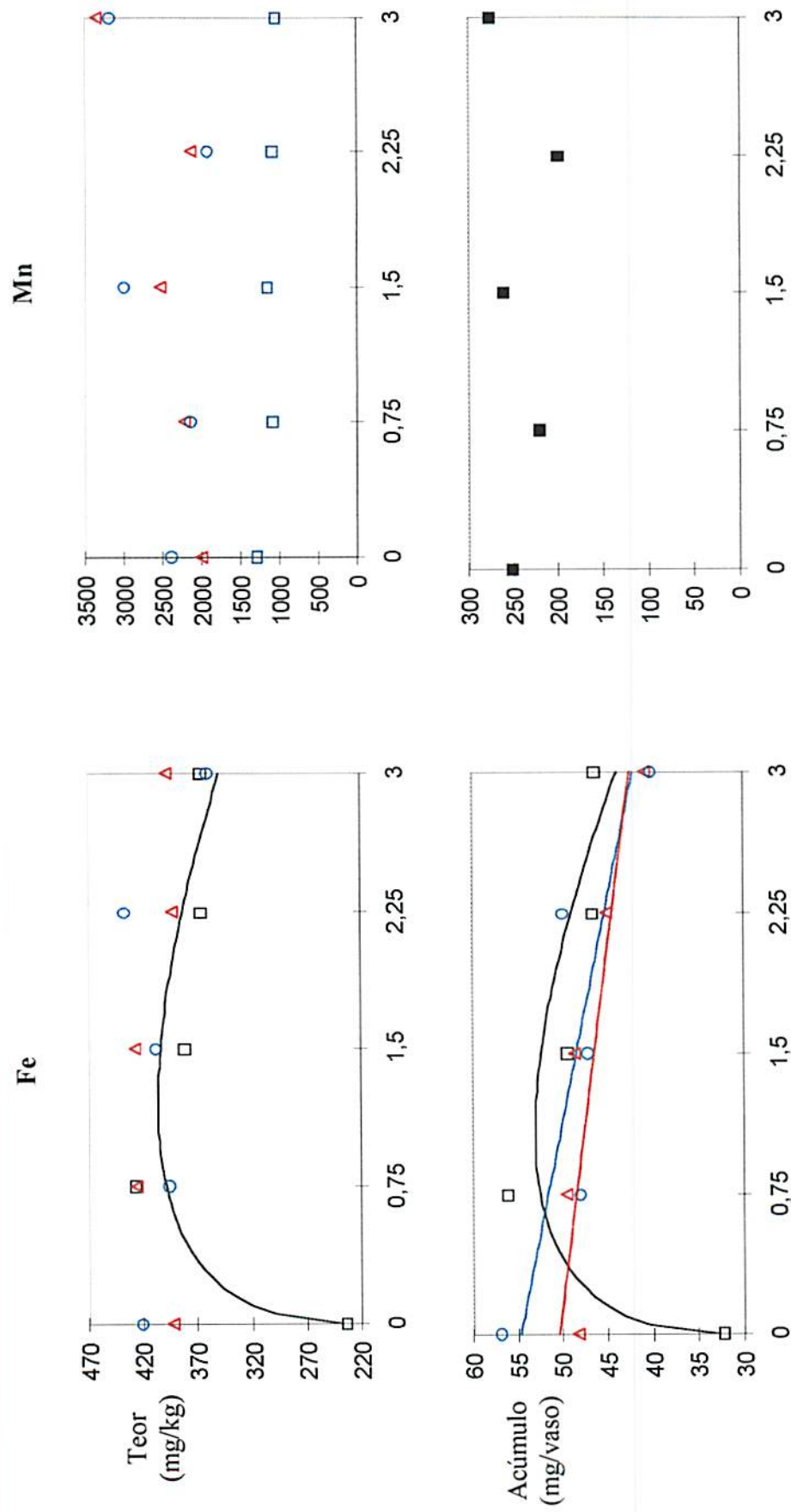


FIGURA 3. Teores e acúmulo de ferro e manganês, na parte aérea das plantas de arroz, em função das doses de cobre, nos solos HO (□), HGH (Δ) e HGP (○).

4 CONCLUSÕES

A aplicação de cobre influenciou negativamente a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de arroz, sendo este efeito menos acentuado no solo Orgânico;

Os solos influenciaram a concentração e acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas de arroz, acompanhando o mesmo gradiente dos teores originais no solo para concentração de Ca e K e acúmulo de Ca, K, Cu e Mn, sendo que para o B e P esse efeito não foi observado;

Apenas Mg e S, dentre os macronutrientes, foram influenciados pela aplicação de cobre;

A adubação cúprica afetou substancialmente a absorção dos micronutrientes Cu, Zn, Fe e Mn, não sendo notado efeito sobre o B;

O efeito do cobre sobre a absorção de nutrientes, refletido em seus teores e acúmulo na parte aérea das plantas de arroz, foi distinto entre solos, sendo que o teor de matéria orgânica parece ser o principal atributo discriminatório.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A. de; LOPES, A.S. Alterações físico-químicas e químicas dos solos inundados. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.152, p.14-21, 1988.
- ALVA, A.K.; OBREZA, T.A. Reactions of copper and sulfate in sand soils under citrus grove and uncultivated conditions. **Soil Science**, Baltimore, v.158, n.1, p.56-64, July 1994.
- BARBOSA FILHO, M.P.; DYNIA, J.F.; ZIMMERMANN, F.J.P. Resposta do arroz de sequeiro ao zinco e ao cobre com efeito residual para milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.3, p.333-338, 1990.
- BOWEN, J.E. Kinetics of active uptake of boron, zinc, copper and manganese in barley and sugarcane. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.3, p.215-233, 1981.

- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 1986. 94p.
- DUTTA, D.; MANDAL, B.; MANDAL, L.N. Decrease in availability of zinc and copper in acidic to near neutral soils on submergence. **Soil Science**, Baltimore, v. 147, n.3, p.187-195, Mar. 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos e análises de solos**. Rio de Janeiro, 1979. n.p.
- ENGLER, R.M.; PATRICK JR., W. H. Stability of sulfides of manganese, iron, zinc, copper, and mercury in flooded and nonflooded soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 119, n.3, p.217-221, Mar. 1975.
- FAGERIA, N.K. **Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz**. Goiânia: Campus, 1984. 341p.
- FAGERIA, N.K.; FERREIRA, E.; PRABHU, A.S.; BARBOSA FILHO, M.P.; FILIPPI, M.C. **Seja doutor do seu arroz**. Piracicaba: Potafos, 1995. 20p. (Arquivo do Agrônomo, 9).
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227p.
- FERNANDES, J.C.; HENRIQUES, F.S. Biochemical, physiological and structural effects of excess copper in plants. **Botanischer Verein**, Berlin, v. 57, p.246-273, 1991.
- FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.A.V.; BAHIA, V.G.; LOPES, A.S.; AQUINO, L.E. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação à níveis de água em solos da região de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, n.5, p.5-8, jan./abr. 1980.
- GALRÃO, E.Z. Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção da soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.1, p.41-44, 1989.
- GALRÃO, E.Z.; ANDRADE, R.P.de; VILELA, L. Efeito de micronutrientes, cobalto e enxofre no rendimento de matéria seca do estilosantes em solo sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.1, p.75-78, 1992.
- GALRÃO, E.Z.; MESQUITA FILHO, M.V. de. Efeito de micronutrientes na produção e composição química do arroz (*Oryza sativa* L.) e do milho (*Zea mays* L.) em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, n.1, p.72-75, 1981.

- GALRÃO, E.Z.; SOUSA, D.M.G. de; PERES, J.R.R. Caracterização de deficiências nutricionais em solos de várzeas da região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.9, p.1091-1101, set. 1984.
- GUILHERME, L.R.G. **Calagem e inundação em solos de várzea cultivados com arroz: alterações em pH, nitrogênio, fósforo e enxofre**. Lavras: ESAL, 1990.113 p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- HOLANDA, F.S.R.; CARVALHO, J.G.de; PAULA, M.B.; SANTOS, J.N.dos. Efeito de doses de cobre em arroz sob dois níveis de água em solos de várzea de Minas Gerais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, Piracicaba, 1992. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1992. p.26-31
- LIDON, F.C.; HENRIQUES, F.S. Copper toxicity in rice: diagnostic criteria and effect on tissue Mn and Fe. **Soil Science**, Baltimore, v.154, n.2, p.130-135, Aug. 1992.
- LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.42, n.3, p.421-428, May/June 1978.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas - princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1989. 210p.
- MELLO, J.W.V. **Dinâmica do fósforo, ferro e manganês e disponibilidade do fósforo para o arroz em solos inundados**. Viçosa: UFV, 1991. 212 p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MELSTED, S.W.; MOTTO, H.L.; PECK, T.R. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. **Agronomy Journal**, Madison, v.61, n.1, p.17-20, Jan./Fev. 1969.
- MORAES, J.F.V.; DYNIA, J.F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo Gley Pouco Húmico sob inundação e após a drenagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p.223-235, fev. 1992.
- MORAES, J.F.V.; FREIRE, C.J.S. Variação do pH, da condutividade elétrica e da disponibilidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em quatro solos submetidos a inundação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.9, n.9, p. 35-43, 1974.
- MORAIS, O.P.; SOARES, P.C. **Inca, nova cultivar de arroz irrigado para Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG/ESAL/UFMG/UFV, 1982. 4p. (Pesquisando, 46).

- PAULA, M. B. de, CARVALHO, J.G. de; SOARES, A.A.; NOGUEIRA, F.D. Avaliação da fertilidade de um solo de várzea (Glei Húmico) para a cultura do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, n.4, p.571-577, abr. 1990.
- PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.24, p.29-96, 1972.
- SILVA, A.R. da; ANDRADE, J.M.V. de. Correlações entre os teores de nutrientes nas folhas do arroz e rendimento em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n.2, p. 153-162, fev. 1987
- TANAKA, A.; NAVASERO, S.A. Manganese content of the rice plant under water culture conditions. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.12, p.67-72, 1966.
- VALE, F.R. do; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A. de A. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 171p.
- VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. 343p.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sugerem-se estudos adicionais para o estabelecimento de níveis críticos e faixas de interpretação para cobre em solos de várzea, pois, sem os mesmos, torna-se difícil prever uma resposta a este nutriente, sendo arriscada qualquer recomendação, mesmo que pequena, visto que foi evidenciado um efeito depressivo no crescimento do arroz desde as menores doses aplicadas. Isto se torna mais crítico em solos com baixos teores de matéria orgânica, pois ficou evidente seu efeito benéfico, amenizando o efeito tóxico do cobre sobre o crescimento do arroz.

Os elevados teores de cobre, detectados pelo DTPA, nas amostras originais de solo, bem como as respostas negativas da planta à aplicação deste nutriente, sugerem que mesmo em áreas não contaminadas, os teores de cobre podem ser muito além daqueles considerados como tóxicos para a maioria das culturas, principalmente no que diz respeito a solos de várzea, os quais são altamente influenciados pelos seus rios e tributários.

Os teores elevados de cobre nos solos, mesmo na ausência da aplicação deste nutriente, influenciaram substancialmente a absorção da maioria dos nutrientes, necessitando-se de mais estudos que elucidem estas interações, visto serem carentes e contraditórias referências bibliográficas neste sentido.

No presente estudo não se realizou calagem e sabe-se que com a elevação do pH, propiciado por ela, há redução na solubilidade do cobre, diminuindo a absorção deste nutriente pelas plantas. Desta forma, ela poderia ser útil em situações de elevados níveis deste nutriente no solo, como já vem sendo usada em solos contaminados por alguns metais pesados, amenizando seus efeitos tóxicos. Entretanto, para estes sistemas inundados, com elevados teores de matéria orgânica, existe necessidade de maiores informações, pois a matéria orgânica é um reservatório de cobre no solo, podendo liberá-lo pelo aumento da atividade microbiana quando realizada a calagem, tornando ainda mais crítica a situação.

APÊNDICE

TABELA 1A. Quadrados médios do Cu disponível no solo e variáveis de crescimento avaliadas

Fonte de Var.	G.L.	Cu	NP	MSPA	MSR	MSTOT
Cobre	4	18,23542**	489,0417**	639,8397**	2313,903**	5317,741**
Solo	2	50,84512**	181,2667	1470,520**	2763,402**	8212,420**
C x S	8	0,3689167*	28,51667	39,48802	222,3328*	250,0528*
Resíduo	45	0,1653332	104,6556	43,98733	83,61861	108,0813
C.V.(%)		4,91	17,10	5,45	14,31	5,60

*, ** = Significativo pelo teste T ($p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente)

TABELA 2A. Quadrados médios da concentração de macronutrientes na parte aérea

Fonte de Var.	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S
Cobre	4	13,36851	0,0741616	8,453867	15,94915	0,0669532**	0,3092134**
Solo	2	21,51219	1,828162**	113,0657**	252,9915**	1,107591**	2,619044**
C x S	8	12,68613	0,1359182	10,10673	6,590134	0,0483600**	0,2616844**
Resíduo	45	18,60539	0,08037526	5,817681	9,421573	0,01232168	0,08608725
C.V.(%)		26,57	16,81	12,30	19,69	7,18	12,24

*, ** = Significativo pelo teste T ($p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente)

TABELA 3A. Quadrados médios da concentração de micronutrientes na parte aérea

Fonte de Var.	G.L.	B	Cu	Zn	Fe	Mn
Cobre	4	19,88709	24,66198**	139,6211	8851,732*	1318187,0**
Solo	2	316,1241**	29,91676**	7555,974**	17938,00**	12534740**
C x S	8	14,06901	1,333274**	410,2956*	8364,062*	527554,7*
Resíduo	45	8,282996	0,4879822	167,0642	3176,836	225612,0
C.V.(%)		19,54	6,90	18,59	14,48	23,27

*, ** = Significativo pelo teste T ($p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente)

TABELA 4A. Quadrados médios do acúmulo de macronutrientes na parte aérea

Fonte de Var.	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S
Cobre	4	0,322613	0,002956	0,063295	0,235553	0,000862*	0,001059
Solo	2	0,346076	0,014798**	0,378943*	2,719191**	0,014383**	0,016230**
C x S	8	0,144553	0,002508	0,199246	0,078513	0,000917**	0,003790*
Residuo	45	0,270513	0,001313	0,109361	0,158013	0,000278	0,001558
C.V.(%)		26,40	17,73	13,95	21,14	8,90	13,66

*, ** = Significativo pelo teste T ($p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente)

TABELA 5A. Quadrados médios do acúmulo de micronutrientes na parte aérea

Fonte de Var.	G.L.	B	Cu	Zn	Fe	Mn
Cobre	4	0,111157	0,132770**	0,7312534	127,0632*	11289,87**
Solo	2	3,511090**	0,132086**	158,3524**	33,11063	134752,9**
C x S	8	0,146276	0,011948	6,807029**	188,2601**	5468,086
Residuo	45	0,121450	0,009679	2,3044590	48,48344	2832,535
C.V.(%)		19,71	8,09	17,84	14,80	21,99

*, ** = Significativo pelo teste T ($p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente)