

AGNA ALMEIDA MENEZES

**DISPONIBILIDADE DE ZINCO, PARA MILHO, PELOS EXTRATORES
MEHLICH-1, MEHLICH-3 E DTPA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
1998

AGNA ALMEIDA MENEZES

**DISPONIBILIDADE DE ZINCO, PARA MILHO, PELOS EXTRATORES
MEHLICH-1, MEHLICH-3 E DTPA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

Aprovada: 27 de junho de 1997

Prof. Jaime Wilson Vargas de Mello
(Conselheiro)

Prof. Júlio César Lima Neves
(Conselheiro)

Prof. Renildes Lúcio Ferreira Fontes

Prof. Hugo Alberto Ruiz

Prof. Luiz Eduardo Dias
(Orientador)

A Deus, pela beleza da vida.

Aos meus pais Alcides e Aydê, pelo verdadeiro amor.

Aos meus irmãos, especialmente Hortência e Arão.

À minha sobrinha Thais.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do Curso.

Ao povo brasileiro, que, por meio dos seus impostos, possibilitou que a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) fizesse a concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Luiz Eduardo Dias, pelas sugestões e críticas, que permitiram o aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao professor Júlio César Lima Neves, pela amizade, pelo carinho, pela compreensão e pelo incentivo, principalmente durante a preparação deste trabalho.

Ao professor Jaime Wilson Vargas Mello, pelas sugestões que enriqueceram este estudo.

Aos professores Hugo Alberto Ruiz e Renildes Ferreira Fontes, pela participação na banca examinadora deste trabalho e pelas oportunas sugestões.

Aos professores Victor Hugo Alvarez V. e João Carlos Ker, pelos ensinamentos e pelo exemplo de dedicação ao trabalho.

Aos demais professores do Departamento de Solos, especialmente a Irene Maria Cardoso, pelo exemplo de força e otimismo.

Aos primeiros “culpados” de todo esse processo, Paulo Gabriel Nacif e Jorge Antonio Gonzaga.

Ao estudante de graduação Hamilton Gomes, pela colaboração durante a fase experimental e pela amizade.

Aos amigos Flávio, Victor, Cristiane, Eloisa, Olímpio, Clístenes e Arlicélio, “conselheiros” de todas as horas, aos quais desejo muitas alegrias e sucesso nas suas passagens pela Terra.

A Valdomiro Moraes Filho, que, apesar de tantos encontros e desencontros, esteve sempre presente nos momentos complicados, a quem desejo muita felicidade.

Aos funcionários Carlos e Cláudio, pelo apoio e pelos momentos de descontração durante a “agitada” fase de laboratório.

BIOGRAFIA

AGNA ALMEIDA MENEZES nasceu em Itapetinga, Bahia, em 4 de agosto de 1971.

Em 1990, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal da Bahia. Durante a graduação, participou do Programa Especial de Treinamento (PET) da CAPES, onde iniciou suas atividades de iniciação científica na área de Química e Fertilidade do Solo. Graduiu-se em 1994 e no mesmo ano iniciou o Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas no Departamento de Solos da UFV, defendendo tese em junho de 1997.

Atualmente é professora do Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Santa Cruz, em Ilhéus, Bahia.

CONTEÚDO

	Página
EXTRATO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
2.1. Obtenção e preparo das amostras de solo, aplicação de tratamentos e cultivo das plantas.....	7
2.2. Análises químicas das subamostras de solo após incubação	10
2.3. Quantificação dos efeitos de tratamentos	10
2.3.1. Determinação das equações de zinco recuperado em função do adicionado e níveis críticos	11
2.3.2. Absorção de zinco pelas plantas	11
2.3.3. Dose recomendável e níveis críticos.....	12

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
3.1. Teores de zinco pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA	14
3.2. Zinco recuperado pelas plantas.....	20
3.3. Resposta das plantas de milho à aplicação de zinco e à calagem no solo	25
3.4. Níveis críticos de zinco no solo	27
3.5. Teores críticos de zinco na planta	30
4. RESUMO E CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
APÊNDICE A	41
APÊNDICE B	43
APÊNDICE C	50

EXTRATO

MENEZES, Agna. M.S., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 1998.
Disponibilidade de zinco, para milho, pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTP. Orientador: Luiz Eduardo Dias. Conselheiros: Júlio César Lima Neves e Jaime Wilson Vargas de Mello.

Em experimento conduzido em casa de vegetação, objetivou-se avaliar a eficiência dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA quanto à disponibilidade de zinco em solos de Minas Gerais, com características químicas e físicas variáveis, na ausência e presença de calagem. Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial 7x2x5, correspondendo a sete solos, dois níveis de calagem e cinco doses de zinco, no delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Amostras de 2dm³ foram incubadas com e sem adição de calcário. As quantidades de calcário adicionadas foram determinadas por meio de curvas de neutralização da acidez, objetivando alcançar pH6,0. Após esse período de incubação, as amostras receberam zinco nas doses de 0, 2, 4, 6 e 8mgdm⁻³, na forma de ZnSO₄. Nessa mesma oportunidade, realizou-se adubação básica, sem zinco, com todos os outros macro e micronutrientes. Após 15 dias da fertilização das amostras, foram retiradas subamostras de 0,4 dm³, para avaliação de zinco pelos extratores Mehlich-1, utilizando filtragem logo após extração (M-1f) e

retirada de alíquota após 16 horas (M-1s), Mehlich-3 (M-3) e DTPA-TEA. O volume de solo restante foi acondicionado em vasos plásticos para o cultivo do milho. Aos cinquenta dias de cultivo foi analisada a produção de massa de matéria seca, bem como o teor e o conteúdo de zinco na parte aérea das plantas. Para avaliação da capacidade de extração dos diferentes métodos, foram ajustadas equações de regressão do Zn recuperado em função das doses adicionadas, para cada solo, nos dois níveis de calagem. Essas equações foram comparadas mediante teste de identidade de modelos, para avaliar a sensibilidade dos extratores à calagem. A resposta da planta à calagem e às doses de zinco foi avaliada pela produção de massa de matéria seca, teor e conteúdo de zinco na parte aérea. A capacidade de extração variou na seguinte ordem: M-1s>M-1f>M-3> DTPA, para todos os solos, na ausência e na presença de calagem. Os extratores M-1s e M-3 não apresentaram diferenças na capacidade de extração com a calagem, enquanto o M-1f e DTPA foram sensíveis à calagem. Os teores de zinco obtidos por todos os extratores correlacionaram-se significativamente ($p<0,05$) e negativamente com o teor de argila e água retida a -33kPa dos solos, tanto na ausência como na presença de calagem. A capacidade de extração do DTPA apresentou-se melhor correlacionada com todas as características de solo, na presença de calagem, indicando que esse extrator pode ser melhor utilizado em solos com maiores valores de pH. Todos os extratores apresentaram correlações significativas ($p<0,001$) com o conteúdo de zinco na planta, podendo ser utilizados na avaliação da disponibilidade de zinco do solo. As plantas de milho apresentaram diminuição significativa na absorção de zinco com a calagem, sem contudo haver diminuição de produção, uma vez que, com a calagem, as plantas aumentaram a eficiência de utilização do nutriente.

ABSTRACT

MENEZES, Agna. M.S., Universidade Federal de Viçosa, January 1998.
Zinc availability for maize by Mehlich-1, Mehlich-3 and DTPA extractors. Adviser: Luiz Eduardo Dias. Committee members: Júlio César Lima Neves and Jaime Wilson Vargas de Melo.

This experiment was carried out under greenhouse conditions in order to evaluate the efficiency of Mehlich-1, Mehlich-3 and DTPA extractors for zinc availability in soils of Minas Gerais State presenting chemical and physical characteristics variable in the presence and absence of liming. Treatments were arranged in a 7x2x5 factorial scheme corresponding to seven soils, two liming levels and five zinc doses in a randomized block design with three replicates. The 2dm³ samples were incubated with and without adding calcareous. The amounts of the added calcareous were determined by the acidity neutralization curves, aiming to attain pH6.0. After this incubation period, the samples were added zinc at the dosages of 0, 2, 4, 6 and 8mgdm⁻³ in the ZnSO₄ form. At this time, the basic adubation was realized without zinc and with all others macro and micronutrients. Fifteen days after sample fertilization, the 0.4dm³ subsamples were removed for zinc evaluation by the Mehlich-1 extractors, using filtration just after extraction (M-1f) and removal of the aliquot 16 hours later (M-1s), Mehlich-3 (M-3) and DTPA-TEA. The remaining soil

volume was conditioned in plastic pots for maize cropping. At fifty days cropping, the production of the dry matter mass was analyzed and the zinc concentration and content in the plant aerial part as well. To evaluate the extraction capacity of the different methods, the regression equations of the recovered Zn were adjusted as a function of the added doses, to each soil, in the two liming levels. These equations were compared through the model identity test in order to evaluate the extractor sensibility to liming. The plant response to both liming and Zn doses was evaluated by the production of dry matter mass, Zn concentration and content in the aerial part. The extraction capacity varied on the following order: M-1s>M-1f>M-3> DTPA, for all soils, in the presence and absence of liming. The extractors M-1s and M-3 didn't present differences in the extraction capacity with liming, whereas M-1f and DTPA were liming-sensible. The Zn contents obtained by all extractors showed a significative ($p<0.05$) and negative correlation with the concentration of clay and water retained at -33kPa of the soils, in the absence as in the presence of liming. The DTPA extraction capacity correlated better with all soil characteristics, in the liming presence, indicating that this extractor can be better used in those soils with higher pH values. All extractors presented significative correlations ($p<0.001$) with the Zn content in plant, and can be used in evaluating Zn availability in the soil. The maize plants presented a significative decrease in absorbing zinc with the liming; however the yield didn't diminished, since the plants increased their nutrient utilization efficiency with liming.

1. INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros, de maneira geral, são pobres em zinco devido ao seu material de origem, uma vez que este elemento tem como fonte primária os minerais ferro-magnesianos (CHESWORTH, 1991) que estão relacionados com rochas básicas, e a maioria dos solos do Brasil são formados a partir de rochas ácidas e, ou, sedimentares.

No solo, o zinco encontra-se em algumas formas: na solução do solo, na forma trocável, complexado por matéria orgânica, precipitado e ligado a óxidos de ferro e alumínio. Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de elucidar quais formas extraídas por um extrator particular melhor se correlacionam com o “disponível”. IYENGAR et al. (1981), ao fracionarem o zinco do solo em seis formas, verificaram que a forma trocável e aquela ligada à matéria orgânica apresentaram melhor correlação com o Zn absorvido por plantas, comparativamente às oclusas em óxidos de ferro e de manganês. SIMS (1986) identificou a fração trocável como a mais disponível para plantas de trigo.

Dessa maneira, tem sido observado que a disponibilidade de zinco está relacionada com a forma em que ele se encontra no solo. Portanto, características como pH, teores de argila, fósforo e carbono orgânico e óxidos de ferro, alumínio e manganês influenciam a disponibilidade do elemento para as plantas.

A atividade do zinco em solução é altamente dependente do pH do solo. LINDSAY (1991) cita que, para cada aumento de uma unidade de pH, na faixa de 4 a 10, a solubilidade de Zn no solo decresce cerca de 100 vezes. Mostra, também, que o Zn^{2+} predomina em solução quando o pH do solo está abaixo de 7,7. Acima deste valor, a forma predominante é o $ZnOH^+$. ELGABARY (1950) ressalta que a hidrólise parcial do Zn^{2+} , formando $ZnOH^+$, favorece a adsorção com maior energia às cargas negativas do solo, uma vez que o raio hidratado é diminuído. O fósforo pode influenciar nesse aspecto, atuando como “ponte” entre a superfície de adsorção e o Zn na solução do solo, uma vez que o fósforo adsorvido gera carga residual negativa na superfície das argilas e promove a adsorção de Zn (STANTON e BURGUER, 1970), sendo este efeito maior para solos com mineralogia de argila oxídica. O fósforo pode ainda precipitar o Zn na forma de fosfato de zinco (BARROW, 1987).

SIMS (1986) ressalta que, além da diminuição da solubilidade e do aumento da adsorção, o efeito do pH reduz a disponibilidade de zinco, devido à redistribuição de formas trocáveis de zinco em formas ligadas a óxidos de ferro amorfos e óxidos de manganês, quando o pH aumenta de 5,0 para 7,0.

Por outro lado, NEILSEN et al. (1986) verificaram que a acidificação promoveu a solubilização da forma residual de zinco, transformando-a em formas trocáveis e ligadas à matéria orgânica, aumentando a disponibilidade do elemento no solo.

A forma como a matéria orgânica influencia a disponibilidade de zinco no solo apresenta-se como um ponto contraditório na literatura. IYENGAR et al. (1981) acreditam que os complexos formados entre o zinco e a matéria orgânica sejam uma fonte potencial de zinco no solo. Para MANDAL e MANDAL (1987), além de ser uma fonte potencial, a adição de matéria orgânica redistribui a forma de zinco residual para forma trocável. No entanto, UREN (1992) adverte que o método analítico para separar o zinco ligado à matéria orgânica tem efeito redutor sobre os óxidos de manganês, o que pode resultar em valores superestimados, devido à liberação de zinco adsorvido a esses óxidos.

O zinco pode também reagir com óxidos de ferro e de alumínio e sofrer redução em sua disponibilidade. CAVALLARO e McBRIDE (1984) demonstraram que a remoção de óxidos de ferro de solos minerais reduz significativamente a adsorção de zinco. BARROW (1986) ressalta que a retenção de zinco por óxidos depende do pH da solução, uma vez que nesses minerais a carga residual predominante é positiva quando o pH está abaixo do ponto de carga zero, neste caso 8,0. Dessa forma, a elevação do pH promove aumento de cargas negativas na superfície desses minerais, resultando em maior retenção.

Um mecanismo de retenção de zinco por óxidos foi proposto, anteriormente, por Quirk e Posner (1975), citados por HARTER (1991). Eles explicam que o zinco adsorvido forma uma estrutura em anel com a superfície dos óxidos hidratados, liberando dois íons de hidrogênio, resultando numa incorporação irreversível, que caracteriza uma adsorção específica. KALBASI et al. (1978) explicam que a adsorção específica pode ocorrer, também, quando o zinco se liga somente a um oxigênio, resultando na liberação de um íon H^+ .

Em relação à textura, solos argilosos possuem maior retenção de zinco que solos arenosos, devido à maior superfície de adsorção (SHUKLA e MITTAL, 1979). Essa adsorção pode ser ainda maior com a diminuição da umidade em solos argilosos, uma vez que os íons em solução ficam mais próximos da superfície adsorvente.

A diminuição de umidade promove também redução no coeficiente de difusão de zinco, sendo esse efeito maior para solos argilosos. Dessa maneira, no caso de longos períodos de estiagem, as plantas podem apresentar sintomas de deficiência de zinco, apesar da presença do elemento no solo.

Em solo aluvial de textura média, verificou-se diminuição no coeficiente de difusão de zinco com o aumento na tensão de água no solo, bem como alta correlação entre o coeficiente de difusão e o zinco absorvido por plantas de milho (SEN e DEB, 1979).

Dessa forma, observa-se que diferentes fatores podem influenciar a disponibilidade de zinco para as plantas. A magnitude dos efeitos destes fatores é função das características mineralógicas, químicas e físicas do solo.

A determinação do nível crítico de um nutriente no solo - que pode ser definido como o teor do nutriente disponível no solo acima do qual há baixa probabilidade de resposta à adição do nutriente, correspondendo a um percentual da produção máxima, usualmente de 90%, para experimentos em casa de vegetação, ou mesmo, sob ótica econômica, à dose de máxima eficiência econômica (MEE) - é fundamental para a recomendação criteriosa da quantidade do nutriente a ser adicionada ao solo. Tal recomendação pressupõe o conhecimento do teor do elemento disponível, a relação entre a quantidade do nutriente adicionado e recuperado por um definido extrator e o nível crítico do elemento no solo (ALVAREZ V., 1994).

A disponibilidade de um nutriente no solo freqüentemente é associada com valores fornecidos por métodos de extração química, que, em geral, extraem dos solos formas que podem ser disponíveis ou mesmo não-disponíveis para as plantas (RAIJ, 1981). Segundo esse autor, pode-se considerar como disponível o nutriente que se encontra na solução do solo, juntamente com as formas lábeis, que estão em equilíbrio com a solução do solo. Acrescenta, ainda, que a disponibilidade depende, além da forma em que o elemento se encontra no solo, da capacidade de absorção da planta, do desenvolvimento do sistema radicular, da idade da planta, das condições climáticas e da disponibilidade de outros nutrientes.

BRAY (1948) sugere que o extrator ideal seria aquele que extraísse as formas disponíveis para as plantas em solos com diferentes propriedades, apresentasse adequação a laboratórios de rotina e correlacionasse bem com a resposta das culturas à aplicação dos nutrientes em várias condições.

Para zinco, as soluções mais comumente utilizadas são ácidas ou complexantes. Um extrator ácido muito utilizado no Brasil, o Mehlich-1

(H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} + HCl 0,05 mol L^{-1}), usado comumente para avaliar a disponibilidade de P e K, tem sido utilizado para extrair o zinco disponível.

EVANS et al. (1974) avaliaram os extratores Mehlich-1, HCl 0,1 mol L^{-1} e Na_2EDTA 0,05 mol L^{-1} em pH 7,0 na predição da disponibilidade de zinco para plantas de milho e sorgo. Eles obtiveram melhor correlação do Mehlich-1 com conteúdo de zinco em plantas de milho e sorgo, em relação aos demais extratores. No estudo de COUTO (1985), as correlações dos conteúdos de zinco em plantas de eucalipto e de milho e os teores recuperados pelos extratores Mehlich-1 e HCl 0,1 mol L^{-1} foram similares, indicando serem os extratores eficientes na avaliação do zinco disponível para essas culturas.

Outro extrator ácido também amplamente utilizado para avaliar a disponibilidade de Zn é o HCl 0,1 mol L^{-1} , que apresenta boa correlação com o absorvido pela planta (COUTO, 1985; GALRÃO, 1995).

Dentre os extratores de zinco que agem por complexação, os mais comumente utilizados são soluções de EDTA e DTPA. O DTPA foi proposto por LINDSAY e NORVELL (1978) como extrator de micronutrientes, por avaliar simultaneamente a disponibilidade de Zn, Fe, Mn e Cu. Este extrator foi desenvolvido para solos neutros e calcários e é constituído de DTPA 0,005 mol L^{-1} , trietanolamina 0,1 mol L^{-1} e CaCl_2 0,01 mol L^{-1} , com pH ajustado em 7,3. A inclusão da TEA visa tamponar o pH da solução extratora, em 7,3, para garantir a estabilidade dos complexos (LIANG e KARAMANOS, 1993).

Para avaliação concomitante de diferentes elementos no solo, inclusive Zn, foi proposto o extrator Mehlich-3, que é composto de CH_3COOH 0,2 mol L^{-1} , NH_4NO_3 0,25 mol L^{-1} , NH_4F 0,015 mol L^{-1} , HNO_3 0,013 mol L^{-1} e EDTA 0,001 mol L^{-1} , com pH ajustado em 2,5 (MEHLICH, 1984). Por meio dessa solução, a extração de Zn far-se-á por troca, devido à presença do íons amônio, e por complexação pelo EDTA (TRAN e SIMARD, 1993).

O uso de diferentes extratores na avaliação da disponibilidade de Zn tem resultado em ampla variabilidade de resultados (COUTO, 1985; SHUMAN, 1988; ALVA, 1992). Esse comportamento diferencial dos extratores em função das características do solo resulta em níveis críticos diferentes, quando diferentes extratores são utilizados num mesmo solo.

A verificação da adequação de um extrator na determinação de um elemento no solo baseia-se no extrator-padrão - a planta. Dessa forma, LANTMANN e MEURER (1982) verificaram, em experimento em casa de vegetação, que a quantidade de zinco absorvida por plantas de milho em diferentes solos do Rio Grande do Sul, na ausência e na presença de calagem, correlacionou-se melhor com os teores recuperados pelo extrator Na_2EDTA $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ tamponado a pH 6,0 do que com os teores obtidos pelos extratores Mehlich-1 e HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. Variando as concentrações de EDTA dissódico, MURAOKA et al. (1983) e RIBEIRO e TUCUNANGO SARABIA (1984) encontram resultados semelhantes, quanto à avaliação da disponibilidade de zinco por este extrator, para plantas de feijão e sorgo.

A baixa disponibilidade de Zn de expressiva parcela de solos do Brasil, especialmente os de cerrado, o efeito negativo da calagem sobre sua disponibilidade e as respostas positivas das plantas à fertilização com Zn ressaltam a importância da avaliação de sua disponibilidade no solo para obtenção de elevadas produtividades das culturas.

Neste trabalho, objetivou-se avaliar a disponibilidade de zinco por meio dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA, em solos de Minas Gerais, para plantas de milho, na ausência e presença de calagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Obtenção e preparo das amostras de solo, aplicação de tratamentos e cultivo das plantas

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com os tratamentos em esquema fatorial 7 x 2 x 5, correspondendo a sete solos, na ausência e presença de calagem, e a cinco doses de zinco, no delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

Amostras da camada de 0-20 cm de sete solos de Minas Gerais, após destorroadas, foram passadas através de peneira com 6 mm de diâmetro de malha, secas ao ar e homogeneizadas individualmente. A seguir, foram coletadas porções de cada amostra, para caracterização física e química (Quadro 1).

De cada amostra de solo, foram obtidas 30 subamostras de 2 dm³, metade das quais receberam corretivo e mistura de calcário dolomítico com CaCO₃, com relação Ca/Mg de 4/1 em moles, em dose necessária para elevar o pH_(H₂O) para 6,0, com base em curva de incubação prévia. A seguir, a mistura solo-corretivo foi homogeneizada, acondicionada em sacos plásticos e umedecida, para alcançar 80% da água retida a -33kPa.

Procedimento semelhante foi adotado para a outra metade das subamostras, que não receberam corretivo.

Após dez dias de incubação, as subamostras foram secas, peneiradas (6 mm de diâmetro) e receberam as doses de zinco testadas (0, 2, 4, 6 e 8 mg dm⁻³), na forma de ZnSO₄ em solução, aplicadas e misturadas com todo o solo da unidade experimental. Dessa mesma maneira, e nessa mesma oportunidade, realizou-se a adubação básica, comum a todos os tratamentos, com N (100 mg dm⁻³ nas formas de NH₄NO₃ e NH₄H₂PO₄); K (para alcançar 150 mg dm⁻³ na forma de KH₂PO₄); S (80 mg dm⁻³ na forma de MgSO₄); e P (em dose baseada na classe de P-remanescente (P-rem) (ALVAREZ V. et al., 1993). Assim, ao solo LV adicionou-se P na dose 500 mg dm⁻³, nas formas de NH₄H₂PO₄, KH₂PO₄ e NaH₂PO₄; aos solos LE₁, LU, LVh e HO, 400 mg dm⁻³; e aos solos PVc e LE₂, 200 mg dm⁻³. As subamostras assim fertilizadas foram novamente acondicionadas nos sacos plásticos, fazendo-se, a seguir, irrigação para atingir 80% da água retida a -33 kPa. A umidade foi controlada por dez dias, mediante pesagens diárias.

Após 15 dias da fertilização de cada subamostra, foi coletada porção de 0,4 dm³, para determinação de valores de pH e de teores de zinco, cobre, fósforo, cálcio e magnésio. O volume de solo restante (1,6 dm³) foi acondicionado em vasos plásticos e reumedecido para 80% da água retida a -33kPa, para realização do plantio de seis sementes de milho híbrido BR 201. Cinco dias após a germinação fez-se o desbaste, deixando-se quatro plantas por vaso. Nesta mesma ocasião, aplicaram-se N (25 mg dm⁻³, como NH₄NO₃) e uma solução de micronutrientes (ALVAREZ V. et al., 1983), sem zinco. Essas aplicações foram repetidas quinzenalmente durante o período do experimento, que foi de 50 dias após a semeadura.

Quadro 1 - Resultados de análises físicas e químicas das amostras de solos

Solo a	Procedência	Argila	Silte	Areia	AR	C orgânico	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	H + Al	t	T	P	K	Zn	P-rem
		----- % -----			----- dag kg ⁻¹ -----		----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- mg dm ⁻³ -----		----- mg L ⁻¹ -----			
LE ₁	Sete Lagoas	82	8	10	33	2,69	4,6	1,4	0,8	1,4	9,6	3,7	11,9	3,8	35	0,58	6,06
LU	Viçosa	63	5	32	28	3,39	4,5	0,3	0,6	0,3	11,4	1,3	12,4	3,6	27	0,45	7,17
LV	Lassance	57	17	26	26	0,23	5,0	0,5	0,6	0,7	3,3	1,9	4,5	3,0	44	0,38	0,37
LVh	Tiradentes	48	6	46	22	2,49	4,9	1,1	1,7	1,0	10,2	2,9	12,1	2,1	23	0,70	6,06
PVc	Ervália	23	18	59	19	0,66	5,1	2,1	1,3	0,0	3,3	3,6	6,9	8,2	63	3,47	46,65
HO	Barbacena	22	13	65	59	38,57	4,8	4,4	1,4	0,8	22,2	6,8	28,1	146,7	58	5,99	5,45
LE ₂	Três Marias	14	3	83	7	0,43	4,8	0,1	0,5	0,2	3,3	0,8	3,9	2,2	21	0,24	45,68

a) Classes de solos: LE₁ = Latossolo Vermelho-Escuro - argiloso; LU = Latossolo Una; LV = Latossolo Vermelho-Amarelo; LVh = Latossolo Vermelho-Amarelo húmico; PVc = Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico; HO = Orgânico; LE₂ = Latossolo Vermelho-Escuro - textura média.

AR = Água retida a -33kPa.

C. orgânico determinado pelo método Walkey -Black.

pH = em água na relação 1:2,5.

Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ e Al⁺⁺⁺ extraídos com KCl 1 mol L⁻¹.

H+Al extraído com Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0.

P, K e Zn extraídos com Mehlich-1.

P-rem = P em solução após agitação por 1 hora, de 60 mg L⁻¹ de P em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ na relação solo:solução de 1:10.

Na colheita, a parte aérea das plantas foi cortada a 1cm acima do coleto, sendo posta para secar a 70°C por 48 horas, pesada, moída e mineralizada pela mistura nítrico-perclórica. Nos extratos foram determinados Ca, Mg, Cu e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica, e P, colorimetricamente, após formação do complexo fosfomolibdico reduzido (BRAGA e DEFELIPO,1974).

2.2. Análises químicas das subamostras de solo após incubação

Nas porções de solo coletadas para caracterização química, procedeu-se à extração de zinco pelos extratores Mehlich-1 (EMBRAPA, 1979), Mehlich-3 (MEHLICH, 1984) e DTPA-TEA (LINDSAY e NORVELL,1978). Para o Mehlich-1 foram adotados dois procedimentos após extração: filtragem logo após extração (M-1f) e retirada de alíquota do sobrenadante após 16 horas de repouso (M-1s). A filtragem foi do tipo lenta, utilizando papel-filtro tipo WHATMAN 42.

Nas subamostras foram também determinados os teores de cobre. A determinação de Zn e de Cu foi feita por espectrofotometria de absorção atômica.

O Ca e o Mg trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹, segundo EMBRAPA (1997), e determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

O fósforo foi extraído por Mehlich-1 e por Mehlich-3 e determinado por colorimetria (BRAGA e DEFELIPO, 1974), e o pH foi determinado em água, na relação solo:solução 1:2,5.

2.3. Quantificação dos efeitos dos tratamentos

Os teores de zinco recuperados pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA, o teor e o conteúdo de zinco na parte aérea das plantas e a produção de matéria seca foram submetidos à análise de variância, tendo como fontes de variação bloco, solo, dose, calagem e suas

respectivas interações. Esta análise, inicialmente, foi feita separadamente para cada solo, para obtenção dos valores dos quadrados médios dos resíduos (QMR). Nova análise de variância foi realizada, incluindo os solos cujos valores de QMR excediam a seis vezes o menor valor. As interações foram desdobradas, independentemente de serem ou não significativas.

2.3.1. Determinação das equações de zinco recuperado em função do adicionado e níveis críticos

Inicialmente, para cada solo e extrator, foram ajustadas equações de regressão para os teores de zinco recuperado em função do adicionado, separadamente, para a ausência e presença de calagem. As duas equações assim obtidas, para cada solo e extrator, foram comparadas mediante teste de identidade de modelos, utilizando-se o procedimento Regrelin do 'software' 'Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG 5.0)'. Objetivou-se, assim, avaliar a sensibilidade dos extratores à mudança de pH em cada solo.

Os níveis críticos de Zn no solo foram obtidos substituindo-se as doses recomendáveis nas equações que relacionam, para cada extrator, o zinco recuperado em função do adicionado.

As declividades das equações do Zn recuperado em função do adicionado e os níveis críticos determinados pelos diferentes extratores para cada solo foram correlacionados com algumas características dos solos, objetivando verificar a sensibilidade dos extratores a outras características que refletem a capacidade-tampão.

2.3.2. Absorção de zinco pelas plantas

Para cada solo e nível de calagem, foram ajustadas equações de regressão para os teores e os conteúdos de Zn na planta, como variáveis dependentes das doses de zinco adicionadas. As duas equações assim obtidas foram comparadas mediante teste de identidade de modelos, visando avaliar a sensibilidade da planta, em termos da absorção de Zn, à

calagem. Pela substituição das doses recomendáveis de Zn nessas equações, foram obtidos os teores e conteúdos críticos de Zn na planta.

Os teores e conteúdos críticos na planta, bem como as declividades das equações que os relacionam com as doses adicionadas, foram correlacionados com características físicas e químicas das amostras de solo.

Mediante a relação entre a matéria seca e o conteúdo de Zn (GERLOFF e GABELMAN, 1983), foram obtidos os valores do coeficiente de utilização biológico (CUB); calculou-se também a eficiência de utilização (EU) de Zn, com base na relação entre matéria seca²/conteúdo crítico (SIDDIQI e GLASS, 1981). Os valores de CUB e de EU para a dose recomendável, denominados CUB crítico e EU crítica, foram também correlacionados com características físicas e químicas das amostras de solo.

2.3.3. Dose recomendável e níveis críticos

A dose recomendável de zinco, considerada como aquela responsável pela obtenção de 90% da produção máxima para cada solo, foi definida ajustando-se regressões a partir do seguinte modelo completo:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X + b_2 X^2 + b_3 Z + b_4 XZ$$

em que

\hat{Y} = estimativa da massa de matéria seca;

X = dose de zinco; e

Z = calagem.

O critério de escolha baseou-se na significância dos coeficientes das equações, para duas ou mais equações com coeficientes significativos até o nível de 10% de probabilidade, no valor de R^2 ajustado. A significância dos coeficientes foi testada com base no quadrado médio do resíduo da ANOVA (ALVAREZ V., 1985).

Para obtenção da dose recomendável em cada nível de calagem, substitui-se o fator Z (calagem) pelo valor zero, para determinação da dose

sem adição de calcário ao solo, e pelo valor um, para determinação da dose com adição de calcário. Para os solos que apresentaram efeito linear positivo na dose, adotou-se, como dose para a produção máxima, a maior dose de zinco testada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Teores de zinco pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA

Os teores de Zn obtidos pelos extratores M-1, M-3 e DTPA aumentaram linearmente com as doses de Zn adicionadas, para todos os solos, tanto na ausência como na presença de calagem (Quadros 2 e 3). A recuperação de Zn variou com os solos, com os extratores e, para alguns destes, com a calagem, como indicado pelas declividades das equações ajustadas (Quadro 3). Em termos médios, a recuperação de Zn, considerando todos os solos e a calagem, obedeceu à seqüência: $M-1 > M-3 > DTPA$.

Para M-1s e M-3, as equações ajustadas não diferiram com a calagem, por isso uma única equação representa a relação para cada solo (Quadro 3). Esses extratores não foram sensíveis ao aumento do pH do solo.

Quadro 2 - Zinco disponível pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA, em função das doses de zinco adicionadas, na ausência e presença de calagem

Solo	Dose	Cal 0				Cal 1			
		M-1s	M-1f	M-3	DTPA	M-1s	M-1f	M-3	DTPA
----- mg dm ⁻³ -----									
LE ₁	0	0,61	0,41	0,26	0,39	0,73	0,39	0,32	1,13
	2	1,93	1,57	1,08	1,13	1,99	1,39	1,14	0,89
	4	3,16	2,72	1,98	2,03	3,19	2,42	2,09	1,59
	6	4,92	4,05	3,35	3,10	4,53	3,43	2,91	2,35
	8	6,10	5,07	4,03	3,94	5,53	4,22	3,86	2,93
LU	0	0,68	0,47	0,44	0,41	0,72	0,49	0,68	0,38
	2	2,07	1,74	1,24	1,46	2,18	1,73	1,28	1,22
	4	3,64	3,24	2,35	2,58	3,49	3,00	2,24	2,05
	6	5,17	4,56	3,40	3,71	4,85	4,19	3,14	2,89
	8	7,12	6,00	4,65	4,97	6,65	5,16	4,39	3,93
LV	0	0,76	0,77	0,42	0,56	0,53	0,44	0,22	0,44
	2	1,85	1,95	1,18	1,34	2,00	1,80	1,34	1,27
	4	3,16	2,96	2,27	2,36	3,34	3,37	2,28	2,00
	6	4,91	4,11	3,45	3,15	5,00	4,36	3,31	2,95
	8	6,38	5,52	4,67	4,01	5,79	5,31	4,54	4,06
LVh	0	0,90	0,74	0,49	0,51	0,86	0,60	0,82	0,37
	2	2,37	2,19	1,53	1,63	2,31	2,07	1,49	1,27
	4	4,01	3,60	2,54	2,82	3,81	3,10	2,52	2,12
	6	5,61	5,45	3,80	3,89	5,43	4,23	3,52	3,01
	8	7,03	5,97	2,75	4,91	6,67	5,82	4,67	3,78
PVc	0	5,02	4,23	4,43	3,53	5,13	4,48	4,11	3,24
	2	6,66	6,44	5,83	4,51	6,36	5,05	5,58	4,27
	4	8,06	7,11	7,02	5,69	7,91	6,48	6,80	5,29
	6	10,96	9,87	9,66	8,31	9,19	8,32	7,52	6,20
	8	10,27	9,49	9,76	7,65	10,79	9,58	9,36	7,64
HO	0	6,74	5,56	3,53	3,84	6,31	4,92	3,41	3,12
	2	7,36	6,34	4,14	4,55	7,33	6,02	4,46	3,82
	4	9,79	7,84	5,26	5,46	8,21	7,07	4,68	4,45
	6	10,35	8,33	5,93	6,45	9,89	8,48	5,86	5,29
	8	12,12	9,66	6,76	7,19	10,83	9,53	6,36	5,82
LE ₂	0	0,54	0,46	0,39	0,41	0,43	0,38	0,33	0,28
	2	2,13	1,87	1,67	1,53	2,13	1,88	1,88	1,46
	4	3,75	3,47	3,66	2,93	3,86	3,47	3,48	2,80
	6	5,38	4,75	4,78	4,06	5,51	4,86	5,12	3,70
	8	7,87	6,94	6,63	5,77	6,68	6,34	6,65	4,81

M-1s = retirada de alíquota após 16 horas; M-1f = filtragem logo após extração; M-3 = Mehlich3; DTPA = DTPA-TEA.

Quadro 3 - Equações para os teores de zinco recuperado pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA, em função das doses de zinco adicionadas, na ausência e presença de calagem

Solo	Cal 0			Cal 1			Sig.	Equação conjunta		
	b ₀	b ₁ **	R ²	b ₀	b ₁ **	R ²		b ₀	b ₁ **	R ²
Mehlich-1 (sobrenadante)										
LE ₁	0,53	0,6775	0,996	0,73	0,5905	0,999	#	0,66	0,6528	0,991
LU	0,50	0,7820	0,995	0,63	0,7090	0,995	#	0,62	0,7609	0,996
LV	0,53	0,6925	0,991	0,61	0,6525	0,992	#	0,59	0,6953	0,991
LVh	0,83	0,7595	0,999	0,82	0,7175	0,999	#	0,88	0,7556	0,997
PVc	4,82	0,8575	0,965	4,85	0,7180	0,998	#	5,14	0,7237	0,937
HO	6,39	0,6895	0,965	6,05	0,5960	0,989	#	6,36	0,6331	0,927
LE ₂	0,34	0,8695	0,989	0,53	0,7715	0,996	#	0,45	0,8441	0,987
Mehlich-1 (filtrado)										
LE ₁	0,38	0,5820	0,999	0,40	0,4770	0,999				
LU	0,39	0,6900	0,999	0,53	0,5810	0,998				
LV	0,69	0,5735	0,995	0,56	0,6045	0,990	#	0,66	0,5990	0,992
LVh	0,79	0,6645	0,995	0,59	0,6275	0,993				
PVc	4,56	0,7220	0,907	4,01	0,6905	0,977	#	4,36	0,6857	0,913
HO	5,43	0,5250	0,981	4,77	0,6020	0,998	#	5,19	0,5416	0,975
LE ₂	0,29	0,7905	0,989	0,37	0,7415	0,999	#	0,37	0,7683	0,994
Mehlich-3										
LE ₁	0,22	0,4675	0,988	0,32	0,4275	0,998	#	0,24	0,4667	0,991
LU	0,34	0,4980	0,994	0,49	0,4515	0,980	#	0,30	0,5118	0,992
LV	0,29	0,5215	0,990	0,26	0,5155	0,996	#	0,23	0,5339	0,995
LVh	0,63	0,4525	0,971	0,42	0,5105	0,998	#	0,76	0,4158	0,840
PVc	4,29	0,7100	0,995	4,01	0,6890	0,985	#	4,31	0,6758	0,932
HO	3,39	0,4370	0,993	3,43	0,3960	0,967	#	3,48	0,3889	0,973
LE ₂	0,29	0,7830	0,992	0,33	0,7850	0,999	#	0,31	0,7866	0,997
DTPA-TEA										
LE ₁	0,26	0,4625	0,997	0,24	0,3500	0,998				
LU	0,34	0,5835	0,998	0,33	0,4495	0,997				
LV	0,53	0,4325	0,998	0,34	0,4470	0,992	#	0,45	0,4413	0,993
LVh	0,53	0,5765	0,999	0,42	0,4160	0,999				
PVc	3,44	0,5300	0,999	3,08	0,5590	0,993	#	3,36	0,5694	0,895
HO	3,78	0,4490	0,997	3,22	0,4060	0,992				
LE ₂	0,27	0,6960	0,993	0,37	0,5745	0,995				

= equações que não diferem entre si pelo teste de identidade de modelos, de forma que foi adotada apenas a equação conjunta; ** = significativo a 1% pelo teste F.

O M-3, contudo, apresentou menor capacidade de recuperação do que o Mehlich-1, em todos os solos, como indicado pelas menores declividades das equações. Considerando a média das declividades para o M-3 (0,5399) e para o Mehlich-1 (0,6608), conclui-se que a recuperação foi 18,3% menor para o M-3. Esses resultados podem ser explicados com base nos diferentes mecanismos de extração, resultantes da composição química dos extratores. Assim, o M-1, constituído por dois ácidos fortes diluídos e com pH em torno de 1,2, extrai por dissolução ácida, possuindo maior capacidade de solubilização de formas precipitadas de zinco do que o M-3, menos ácido (pH 2,5) e que extrai zinco por complexação, devido à presença de EDTA, e por troca com íons NH_4^+ (TRAN e SIMARD, 1993). ZHU e ALVA (1993), avaliando as correlações existentes entre as formas de zinco no solo e os teores obtidos pelos extratores M-1 e M-3, verificaram que esses extratores extraem não somente as formas realmente solúveis, como também as formas ligadas à matéria orgânica e precipitadas, bem como a forma residual; verificaram ainda que o M-1 apresenta maior capacidade de extração de todas essas formas de zinco que o M-3.

Os resultados obtidos neste trabalho para Mehlich-1 demonstram que a adoção da filtragem logo após agitação (M-1f) diminuiu a capacidade de extração em relação ao processo mais usual em laboratórios de rotina (M-1s). Demonstram, ainda, que M-1f foi sensível à calagem (Quadro 3). É possível que o contato solo-solução extratora por 16 horas, mesmo sem agitação, promova maior solubilização de formas de Zn não prontamente trocáveis e de menor disponibilidade.

O DTPA, que apresentou a menor capacidade de recuperação de Zn dentre os extratores estudados, foi sensível à elevação de pH provocada pela calagem (Quadro 3). Tal sensibilidade foi maior do que a do M-1f. Esse comportamento decorre do fato de o DTPA ter sido sensível para um maior número de solos e, ainda, ter apresentado o maior decréscimo na recuperação de Zn (20,7%), comparativamente ao M-1f

(13,0%) na presença de calagem, considerando apenas os solos em que os referidos extratores foram sensíveis à calagem.

A variabilidade da recuperação de Zn entre solos é demonstrada pelos respectivos valores dos coeficientes de variação (Quadro 4). Essa variabilidade, que obedeceu à seqüência: M-3 > DTPA-TEA > M-1, dá idéia da sensibilidade diferencial dos extratores estudados a características do solo que refletem a capacidade-tampão de Zn.

Observaram-se correlações significativas e negativas entre as declividades de Zn recuperado em função do adicionado e o teor de argila e água retida a -33 kPa (Quadro 5), características que refletem a extensão da superfície de adsorção. As correlações significativas com o P-rem, também verificadas por COUTO (1985), sugerem que estas características podem ser utilizadas como critério auxiliar na avaliação da disponibilidade e na recomendação de fertilização com Zn.

As correlações para M-1s e M-3, que não foram sensíveis à calagem, demonstram que o M-3 apresentou-se melhor correlacionado com todas as características de solos que o M-1s (Quadro 5), confirmando sua sensibilidade à capacidade-tampão de Zn. Para o Mehlich-1, porém, a filtragem logo após extração (M-1f) resultou em aumento nos valores dos coeficientes de correlação e no número de correlações significativas (Quadro 5), ou seja, modificou a sensibilidade do Mehlich-1 à capacidade-tampão de Zn. A elevação do pH do solo provocou modificações na sensibilidade do DTPA-TEA à capacidade-tampão de Zn. Na ausência de calagem, este extrator apresentou menor sensibilidade à capacidade tampão. No entanto, com a elevação do pH o extrator apresentou-se melhor correlacionado com todas as características dos solos que os demais, sugerindo que possa ser melhor utilizado em solos com maior pH. NORVELL (1984) recomenda o DTPA-TEA para solos com maiores valores de pH, advertindo, inclusive, que o uso desta solução extratora em solos ácidos resulta na diminuição do tamponamento do extrator.

Quadro 4 - Variabilidade entre as declividades de zinco recuperado, em função do adicionado em cada solo, para os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA, na ausência e presença de calagem

	M-1s	M-1f		M-3	DTPA	
		Cal 0	Cal 1		Cal 0	Cal 1
Média	0,7236	0,6473	0,6114	0,5399	0,5323	0,4479
	0,0718	0,0775	0,0952	0,1436	0,0882	0,0914
CV (%)	9,9	12,0	15,6	26,6	16,56	20,40

M-1s = retirada de alíquota após 16 horas; M-1f = filtragem logo após extração; M-3 = Mehlich-3; DTPA = DTPA-TEA.

Quadro 5- Coeficientes de correlação linear entre as declividades da equação de Zn adicionado e recuperado pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA, com algumas características dos solos que refletem o fator capacidade

Característica do solo	M-1s	M-1f		M-3	DTPA-TEA	
		Cal 0	Cal 1		Cal 0	Cal 1
Argila	-0,743*	-0,819*	-0,971**	-0,830*	-0,736*	-0,942*
ÁR	-0,861*	-0,871*	-0,948**	-0,831*	-0,797*	-0,837*
C. orgânico	-0,199 ^{ns}	-0,208 ^{ns}	-0,622 ^o	-0,690 ^o	-0,023 ^{ns}	-0,644 ^o
Al ⁺⁺⁺	-0,610 ^o	-0,744*	-0,781*	-0,756*	-0,620 ^o	-0,920**
H + Al	-0,192 ^{ns}	-0,242 ^{ns}	-0,619 ^o	-0,760*	-0,051 ^{ns}	-0,702 ^o
CTC	-0,323 ^{ns}	-0,312 ^{ns}	-0,656 ^{ns}	-0,772*	-0,106 ^{ns}	-0,676 ^o
P _{rem} ⁽⁶⁰⁾	0,548 ^{ns}	0,735*	0,758*	0,896**	0,6710 ^o	0,897*

M-1s = retirada de alíquota após 16 horas; M-1f = filtragem logo após extração; M-3 = Mehlich-3; DTPA-TEA = DTPA-TEA-TEA; **, *, ^o, ns = significativo a 1%, 5%, 10% e não-significativo, respectivamente.

3.2. Zinco recuperado pelas plantas

A absorção de zinco, considerando tanto o teor como o conteúdo do elemento na parte aérea das plantas de milho, variou com o solo, com a dose e com a calagem (Quadro 6), aumentando linearmente tanto com as doses de zinco adicionadas como com os teores obtidos pelos extratores estudados, na ausência e presença de calagem, para todos os solos, exceto o HO na presença de calagem (Quadro 7). As equações ajustadas tanto para o teor como para o conteúdo de zinco, em função das doses de zinco adicionadas, na ausência e presença de calagem, foram testadas pelo teste de identidade de modelos. O resultado do teste mostrou que, para todos os solos, as equações eram diferentes, indicando sensibilidade das plantas à calagem. As menores declividades das equações na presença de calagem mostram redução na absorção. Esta redução foi de 41,2% no teor e de 36,2% com base no conteúdo, verificada pela média das declividades das equações significativas para teor e conteúdo em função da dose, na presença e ausência de calagem. MURAOKA et al. (1983) verificaram redução no teor de zinco na parte aérea de plantas de feijão, em resposta à calagem, quando o pH do solo passou, em média, de 5,5 para 6,8.

A diminuição na absorção de Zn, promovida pela calagem, sugere diminuição da disponibilidade do elemento, devido ao aumento da adsorção de zinco no solo com o aumento de pH, ou mesmo diminuição da solubilidade do elemento na solução do solo.

SIMS (1986) constatou que a absorção de zinco por plantas de trigo diminuiu com o aumento do pH do solo de 4,5 para 5,8, atribuindo esse efeito ao aumento da adsorção no solo, mostrando que formas trocáveis de zinco foram transformadas em formas ligadas à matéria orgânica, menos disponível para plantas. Resultados semelhantes foram também verificados por IYENGAR et al. (1981) e SIMS e PATRICK JR. (1978).

Quadro 6 -Teores e conteúdos de zinco na parte aérea de plantas de milho, em seis solos de Minas Gerais, nas cinco doses de zinco estudadas, na ausência e presença de calagem

Solo	Dose de Zn mg dm ⁻³	Matéria seca		Teor		Conteúdo	
		Cal 0	Cal 1	Cal 0	Cal 1	Cal 0	Cal 1
		---- g vaso ⁻¹ ----		---- mg kg ⁻¹ ----		---- µg vaso ⁻¹ ----	
LE ₁	0	12,1	11,3	10,4	10,3	126,4	117,5
	2	12,5	13,8	21,2	15,5	266,7	215,3
	4	13,5	15,6	30,0	20,7	406,2	324,3
	6	13,8	15,3	45,2	25,2	628,2	385,9
	8	13,2	15,5	45,1	26,5	598,7	411,9
LU	0	11,0	14,6	13,4	7,9	148,1	116,1
	2	12,6	15,2	25,9	14,2	327,1	217,0
	4	14,8	16,1	34,7	19,8	515,6	320,5
	6	13,5	15,2	46,1	22,2	626,6	338,2
	8	12,7	15,8	50,7	28,9	644,5	459,4
LV	0	8,3	6,2	10,6	8,8	89,0	55,5
	2	8,7	10,4	30,1	17,0	263,3	178,9
	4	9,2	10,1	35,6	23,4	330,5	237,7
	6	8,8	8,9	39,4	34,9	349,8	313,3
	8	8,6	9,4	51,0	39,3	442,7	373,6
LVh	0	14,4	14,4	12,8	8,3	185,3	121,4
	2	12,9	15,1	23,2	13,4	301,6	203,1
	4	14,3	14,6	30,5	17,4	439,6	255,0
	6	13,9	16,4	43,1	19,2	602,7	316,6
	8	14,4	16,3	49,8	23,0	717,1	376,3
PVc	0	14,1	12,5	34,9	33,8	495,2	425,4
	2	13,0	13,0	39,7	39,7	516,8	518,8
	4	13,2	13,4	54,3	46,8	722,7	629,3
	6	14,7	13,5	63,4	50,8	933,3	688,2
	8	13,2	12,5	69,1	61,9	914,6	779,1
HO	0	15,6	14,3	18,5	24,4	290,2	350,7
	2	14,2	11,7	25,8	18,5	368,9	217,0
	4	16,5	12,4	26,3	25,0	436,5	310,1
	6	14,8	13,6	32,4	21,7	480,7	296,1
	8	13,0	13,0	27,7	24,2	361,5	316,6

Quadro 7 - Equações de regressão para os teores (mg kg⁻¹) e conteúdos (mg vaso⁻¹) de zinco na parte aérea de plantas de milho, em função de doses de zinco adicionadas, na ausência e presença de calagem

Solo	Cal 0				Cal 1				Sig.
	b ₀	b ₁ **	b ₁₁ *	R ²	b ₀	b ₁ **	b ₁₁	R ²	
Teor									
LE ₁	11,7	4,6675	-	0,948	11,3	2,1000	-	0,967	x
LU	15,2	4,7400	-	0,982	8,6	2,5008	-	0,983	x
LV	15,3	4,5017	-	0,921	8,9	3,9517	-	0,987	x
LVh	13,1	4,6958	-	0,993	9,2	1,7542	-	0,978	x
PVc	33,9	4,6033	-	0,973	33,1	3,3650	-	0,978	x
HO	21,1	1,2558	-	0,628	22,7	-	-	-	x
Conteúdo									
LE ₁	144,0	65,31	-	0,927	139,1	37,97	-	0,952	x
LU	193,9	64,61	-	0,930	128,7	40,39	-	0,966	x
LV	136,3	39,70	-	0,907	77,7	38,53	-	0,979	x
LVh	176,3	68,24	-	0,997	129,8	31,16	-	0,995	x
PVc	465,5	62,77	-	0,900	432,8	43,84	-	0,993	x
HO	276,8	72,61	-7,486	0,882	298,4	-	-	-	

x = equações que diferem entre si pelo teste de identidade de modelos. **, * : significativo a 1 e 5%; coeficientes dos parâmetros das regressões : b₀ = intercepto; b₁ = coeficiente de reta e b₁₁ = coeficiente quadrático.

A diminuição na absorção de zinco promovida pela calagem não resultou em diminuição de produção, uma vez que a média dos valores de matéria seca para todos os solos, exceto HO, na ausência e presença de calagem, apresentou valores muito próximos, 12,5 e 13,5 g.vaso⁻¹, respectivamente (Quadro 6). As plantas utilizaram melhor o zinco absorvido na presença de calagem, como indicado pelos maiores valores de coeficiente de utilização biológica (CUB) e eficiência de utilização (EU) (Quadro 8).

A calagem, além de promover diminuição da absorção, modificou a sensibilidade das plantas à capacidade-tampão de zinco nos diferentes solos. Com base nos coeficientes de variação das declividades das equações entre teor de zinco na planta e doses de zinco adicionadas (Quadro 9),

Quadro 8- Coeficientes de utilização biológica (CUB) e eficiência de utilização (EU) de zinco, considerando as doses de Zn adicionadas em cada solo, na ausência e presença de calagem

Solo	Dose	CUB		EU	
		Cal 0	Cal 1	Cal 0	Cal 1
	Mg dm ⁻³	g mg ⁻¹		g ² mg ⁻¹	
LE ₁	0	0,10	0,10	1,17	1,09
	2	0,05	0,06	0,59	0,89
	4	0,03	0,05	0,45	0,75
	6	0,02	0,04	0,31	0,61
	8	0,02	0,04	0,29	0,58
LU	0	0,07	0,13	0,82	1,84
	2	0,04	0,07	0,49	1,07
	4	0,03	0,05	0,43	0,81
	6	0,02	0,05	0,29	0,69
	8	0,02	0,03	0,25	0,55
LV	0	0,09	0,11	0,79	0,71
	2	0,03	0,06	0,29	0,62
	4	0,03	0,04	0,26	0,43
	6	0,03	0,03	0,23	0,26
	8	0,02	0,03	0,17	0,24
LVh	0	0,08	0,12	1,13	1,73
	2	0,04	0,07	0,56	1,13
	4	0,03	0,06	0,47	0,84
	6	0,02	0,05	0,32	0,85
	8	0,02	0,04	0,29	0,71
PVc	0	0,03	0,03	0,41	0,37
	2	0,03	0,03	0,33	0,33
	4	0,02	0,02	0,24	0,29
	6	0,02	0,02	0,23	0,27
	8	0,01	0,02	0,19	0,20
HO	0	0,05	0,04	0,85	0,59
	2	0,04	0,05	0,55	0,63
	4	0,04	0,04	0,63	0,50
	6	0,03	0,05	0,46	0,63
	8	0,04	0,04	0,47	0,54

CUB = Matéria seca/conteúdo.

EU = (Matéria seca)² / conteúdo.

Quadro 9 - Variabilidade entre as declividades das equações entre teor de zinco e conteúdo de zinco na parte aérea de plantas de milho, em função das doses adicionadas, na ausência e presença de calagem

	Teor		Conteúdo	
	Cal 0	Cal 1	Cal 0	Cal 1
Média	4,6417	2,7343	60,13	38,38
S	0,093	0,910	11,59	4,64
CV (%)	2,0	33,2	19,3	12,1

considerando somente os solos que apresentaram equações significativas na presença e na ausência de calagem, observa-se variabilidade muito maior na presença de calagem (Quadro 8). O mesmo não acontece quando são consideradas as declividades das equações ajustadas para conteúdo em função das doses de zinco adicionadas. Isso pode ser atribuído ao efeito da calagem, que aumentou a produção de matéria seca, variável considerada na obtenção dos conteúdos, indicando que na ausência de calagem outros fatores, além do zinco, foram limitantes. Dessa forma, mesmo com menor teor de zinco na parte aérea, a maior produção de matéria seca promoveu uma certa homogeneidade entre os solos.

A correlação das declividades das equações ajustadas para os teores e os conteúdos de zinco na planta, em função de doses de zinco adicionadas, com características de solo mostra que a absorção de zinco pelas plantas de milho não foi sensível à capacidade-tampão de zinco no solo, uma vez que correlações significativas, quando ocorrem, devem-se apenas a um valor discrepante em relação aos demais, que tendem a se concentrar num mesmo local (Apêndice B - Figuras 1, 2 e 3). Esse fato favorece a significância da correlação, enquanto a dispersão dos pontos não obedece a um comportamento linear.

3.3. Resposta das plantas de milho à aplicação de zinco e à calagem no solo

A produção de matéria seca de plantas de milho variou com o solo, com a dose de zinco e com a calagem (Quadro 10). Observa-se efeito quadrático para dose, exceto para LVh, em que as doses adicionadas não foram suficientes para atingir a produção máxima, e para Pvc e HO, que não apresentaram resposta à adição de zinco, possivelmente devido aos seus teores iniciais (3,47 e 5,99 mg dm⁻³, respectivamente). Optou-se por não considerar os resultados referentes à planta obtidos no solo LE₂, em razão de grande desuniformidade entre as repetições, ocasionada por problemas no estabelecimento das plantas.

A dose recomendável para os solos em que houve resposta quadrática à adição de zinco variou de 0,73 a 2,64 mg dm⁻³, valores inferiores ao encontrado por LINS e COX (1988), que, estudando o efeito do pH e do teor de argila sobre a disponibilidade de zinco em amostras de solos de cerrado, definiram a dose de 3,2 mg dm⁻³ como suficiente para atingir 90% da produção máxima de plantas de milho.

Quanto aos demais solos estudados, para o LVh, em que as plantas apresentaram resposta linear positiva ao zinco, a dose recomendável foi em torno de 6,3 mg dm⁻³; os solos Pvc e HO não apresentaram resposta à adição de zinco.

O efeito da calagem variou entre solos, sendo negativo para os solos LE₁, LVh e HO; positivo para o LU; e no Pvc e LV não houve efeito. Os solos LU e LV apresentaram comportamento diferenciado em relação aos demais solos, diante da calagem. O efeito positivo da calagem no solo LU possivelmente está relacionado com o baixo teor de Ca trocável (0,30 cmol_c dm⁻³) na ausência de calagem, refletindo em baixo teor de cálcio na planta (0,08 dag kg⁻¹). Para o LV, os valores de pH para os tratamentos sem e com calagem foram de 6,4 e 6,8, respectivamente, ressaltando-se que o pH inicial deste solo era de 5,0 (Quadro 1); logo, o efeito de calagem não foi significativo.

No LV, o aumento de pH verificado, mesmo sem adição de calcário, pode ser atribuído à fixação de fósforo, que libera íons OH⁻ para a solução. Esse efeito apresentou maior magnitude neste solo, devido a sua altíssima capacidade de adsorção desse elemento, demonstrada pelo valor muito baixo de P-remanescente (0,37 mg L⁻¹).

Quadro 10 - Equações de regressão ajustadas entre produção de matéria seca, em função das doses de zinco aplicadas e da calagem, 90% da produção máxima e dose recomendável

Solo	Equações de regressão	R ²	90% Y max		DR	
			CAL 0	CAL 1	CAL 0	CAL 1
			----- g vaso ⁻¹ -----		----- mg dm ⁻³ -----	
LE ₁	$\hat{Y} = 11,68 + 0,8573^{**}D - 0,08378^{**}D^2 - 0,01467^{**}C + 0,3125^{**}DC$	0,937	12,49	14,17	1,05	2,64
LU	$\hat{Y} = 11,54 + 0,9091^{**}D - 0,0923^{**}D^2 + 2,4533^{**}C$	0,866	12,40	14,61	1,06	0,73
LV	$\hat{Y} = 7,63 + 0,8738^{**}D - 0,09164^{**}D^2$	0,455	8,74	8,74	1,51	1,51
LVh	$\hat{Y} = 13,44 + 1,4775^{**}D - 1,3760^{**}C$	0,664	22,73	21,50	6,29	6,39
PVc	$\hat{Y} = \bar{Y} = 13,36$	-	13,36	13,36	0	0
HO	$\hat{Y} = 14,90 - 1,8373^{*}C$	0,420	14,90	13,06	0	0

DR = dose recomendável.

** , * , ns = significativo a 1%, 5% e não-significativo, respectivamente.

3.4. Níveis críticos de zinco no solo

Observou-se ampla variação, de 0,54 a 6,39 mg dm⁻³, dos níveis críticos entre os solos e extratores estudados, considerando presença e ausência de calagem. A variação dos níveis críticos determinados pelos extratores apresentou a seguinte ordem: M-1 > M-3 > DTPA (Quadro 11).

Os níveis críticos definidos pelos diferentes extratores para os solos PVc, LV e HO, nos tratamentos sem e com adição de calcário, apresentam os mesmos valores. Isso decorre do fato de no PVc nenhum extrator ter detectado o efeito da calagem; por esta razão, o modelo utilizado é o mesmo para as duas condições. No solo LV, o efeito de calagem não foi significativo para produção de matéria seca; dessa forma, resultou em mesma dose recomendável. O solo HO também apresenta os mesmos valores de níveis críticos, tanto na ausência como na presença de calagem, exceto para o DTPA-TEA, cuja extração de zinco foi sensível à calagem, de maneira que, para este extrator, dois modelos foram ajustados, definindo níveis críticos diferentes.

Quadro 11-Níveis críticos de zinco para cada solo, definidos pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, sem e com adição de calcário

Solo	Cal 0				Cal 1			
	M-1s	M-1f	M3	DTPA	M-1s	M-1f	M3	DTPA
	----- mg dm ⁻³ -----							
LE ₁	1,34	0,99	0,73	0,54	2,38	1,66	1,47	1,16
LU	1,42	1,12	0,85	0,81	1,17	0,95	0,68	0,66
LV	1,64	1,57	1,04	1,12	1,64	1,57	1,04	1,12
LVh	5,63	4,97	3,38	3,04	5,71	4,60	3,42	3,08
PVc ¹	< 5,14	< 4,36	< 4,31	< 3,36	< 5,14	< 4,36	< 4,31	< 3,36
HO ¹	< 6,36	< 5,19	< 3,48	< 3,78	< 6,36	< 5,19	< 3,48	< 3,13

M-1s = retirada de alíquota após 16 horas; M-1f = filtragem logo após extração; M-3 = Mehlich-3; DTPA = DTPA-TEA.

¹ = em função do ajuste de modelos lineares, adotou-se como nível crítico o valor do intercepto dos modelos.

Para comparação do níveis críticos, os solos foram separados em dois grupos: G1 (grupo 1) - que apresentaram resposta quadrática à adição de zinco (LE₁, LU e LV); e G2 (grupo 2) - solos cuja resposta a zinco foi diferente da quadrática (LVh, PVc e HO).

Na ausência de calagem, os níveis críticos obtidos nos solos do G1 variaram na seguinte ordem: LV > LU > LE₁, para todos os extratores. O que se observa é uma relação inversa desses níveis com o teor de argila, a CTC e a água retida a -33 kPa (AR) (Quadro 1), características que refletem a capacidade-tampão de zinco no solo. Já na presença de calagem os níveis críticos para os solos do G1 foram maiores para o LE₁, seguido pelo LV e pelo LU, também para todos os extratores.

OLSEN e KEMPER (1968) explicam que o coeficiente de difusão de íons no solo é diminuído pelo aumento no teor de argila e que solos com maior área superficial, aqui estimada pela água retida a -33 kPa e CTC, apresentam maior fator capacidade, resultando em menores níveis críticos.

A interação positiva dose de zinco x calagem promoveu aumento da dose recomendada no solo LE₁; por isso, verifica-se aumento dos níveis críticos para este solo, por todos os extratores, na presença de calagem.

Contrariamente ao LE₁, o LU apresentou menores valores de níveis críticos na presença de calagem, estabelecidos pelos extratores testados, uma vez que neste solo a calagem teve efeito positivo sobre a produção de matéria seca, enquanto o LV apresentou mesmos valores de níveis críticos.

Os solos do grupo 2 (G2) apresentaram altos valores de nível crítico. No solo LVh com a maior dose de zinco adicionada não se atingiu a produção máxima (resposta linear); conseqüentemente, o alto valor da dose recomendável elevou o valor crítico. Para os solos PVc e HO, que não apresentaram resposta a zinco, utilizou-se o intercepto das equações de Zn recuperado em função do adicionado, cujos valores elevados, em relação aos demais solos, está relacionado aos teores iniciais de zinco destes solos: 3,47 e 5,99 mg dm⁻³, respectivamente.

Os coeficientes de correlação entre os níveis críticos no solo, definidos por meio dos extratores estudados e algumas características que refletem a capacidade-tampão do solo (Quadro 12), mostram que os níveis críticos definidos por todos os extratores estão melhor correlacionados com argila e água retida a -33kPa (AR), e aqueles definidos pelo extrator M-3 apresentam correlação com o P - remanescente.

A maior superfície de adsorção dos solos, refletida pelo teor de argila e água retida a 1/3 de atm (SHUKLA e MITTAL, 1979), faz com que aumente o fator capacidade de zinco, resultando em menores níveis críticos, como pode ser observado por meio da correlação negativa entre essas características e os níveis críticos.

A obtenção de alta correlação dos níveis críticos de zinco no solo, com capacidade de campo (Quadro 12), sugere que esta característica pode ser utilizada para estimar os níveis críticos de zinco no solo.

Quadro 12 - Coeficientes de correlação linear entre níveis críticos de Zn definidos pelos diferentes extratores e algumas características dos solos estudados

Característica do solo	Extratores							
	Cal 0				Cal 1			
	M-1s	M-1f	M3	DTPA	M-1s	M-1f	M3	DTPA
Argila	-0,789 ^o	-0,790 ^o	-0,896 [*]	-0,772 ^o	-0,674 ^o	-0,748 ^o	-0,802 ^o	-0,802 ^o
AR	-0,868 [*]	-0,876 [*]	-0,918 [*]	-0,871 [*]	-0,750 ^o	-0,818 [*]	-0,819 [*]	-0,847 [*]
C. org.	-0,191 ^{ns}	-0,258 ^{ns}	-0,339 ^{ns}	-0,206 ^{ns}	-0,173 ^{ns}	-0,211 ^{ns}	-0,247 ^{ns}	-0,267 ^{ns}
Al ⁺⁺⁺	-0,259 ^{ns}	-0,250 ^{ns}	-0,441 ^{ns}	-0,253 ^{ns}	-0,079 ^{ns}	-0,165 ^{ns}	-0,288 ^{ns}	-0,251 ^{ns}
H + Al	-0,176 ^{ns}	-0,194 ^{ns}	-0,347 ^{ns}	-0,130 ^{ns}	-0,136 ^{ns}	-0,225 ^{ns}	-0,325 ^{ns}	-0,308 ^{ns}
CTC	0,001 ^{ns}	-0,071 ^{ns}	-0,164 ^{ns}	-0,028 ^{ns}	-0,046 ^{ns}	-0,001 ^{ns}	-0,041 ^{ns}	-0,059 ^{ns}
P-rem	0,564 ^{ns}	0,525 ^{ns}	0,763 ^o	0,475 ^{ns}	0,543 ^{ns}	0,576 ^{ns}	0,759 ^o	0,672 ^o

M-1s = retirada de alíquota após 16 horas; M-1f = filtragem logo após extração; M-3 = Mehlich-3; DTPA = DTPA-TEA

^o, **, *, ns = significativo a 1%, 5%, 10% e não-significativo, respectivamente.

3.5. Teores críticos de zinco na planta

Os teores e conteúdos críticos de zinco na planta variaram com o solo e com a calagem, numa amplitude de 10,6 a 42,7 mg kg⁻¹ e 138 a 608 µg vaso¹, na ausência e presença de calagem (Quadro 13).

A concentração de zinco nas folhas, para a grande maioria das culturas, pode variar de 15 a 100 mg kg⁻¹. Neste trabalho, o teor foi determinado na parte aérea, avaliando-se o teor de zinco nas folhas e no caule. Admitindo que a acumulação de zinco no caule não seja necessariamente muito maior que nas folhas, percebe-se que os níveis críticos na planta, determinados neste estudo, encontram-se na faixa de suficiência. Faixas menores foram verificadas por COUTO (1985), em que a variação dos níveis críticos na planta foi de 16 a 18 mg kg⁻¹ de zinco, e por DE MUNER (1996), que determinou um intervalo de 13,6 a 16,9 mg kg⁻¹. Essas variações podem ser reflexo das características dos diferentes solos utilizados.

Dentre as características que refletem o fator capacidade de zinco, teor de argila e água retida a -33 kPa apresentaram maiores correlações com os níveis e conteúdos críticos de zinco na planta (Quadro 14). As correlações com P-remanescente devem ser vistas com ressalva, já que o comportamento linear está sendo favorecido pelo valor muito elevado de P-remanescente (46,7 mg L⁻¹) do solo PVc, em relação aos demais (Quadro 1).

Quadro 13 - Teores e conteúdos críticos de zinco na planta, definidos para todos os solos, com e sem adição de calcário

Solo	Teores críticos		Conteúdos críticos	
	Cal 0	Cal 1	Cal 0	Cal 1
	----- mg kg ⁻¹ -----		----- µg vaso ⁻¹ -----	
LE ₁	16,6	16,8	208	240
LU	20,2	10,6	258	159
LV	22,1	15,0	200	138
LVh	42,6	20,4	608	329
PVc	33,1	33,1	460	430
HO	21,1	22,7	276	298

Quadro 14 - Coeficientes de correlação linear de teores e conteúdos críticos de zinco na parte aérea de plantas de milho com algumas características de solo

Característica do solo	Teores críticos		Conteúdos críticos	
	Cal 0	Cal 1	Cal 0	Cal 1
Argila	-0,7002 ^o	-0,8055 [*]	-0,6548 ^o	-0,7138 ^o
AR	-0,8261 [*]	-0,7471 ^o	-0,7733 ^o	-0,7039 ^o
C. org.	-0,1453 ^{ns}	-0,5149 ^{ns}	0,0184 ^{ns}	-0,1979 ^{ns}
Al ⁺⁺⁺	-0,1739 ^{ns}	-0,4006 ^{ns}	-0,1570 ^{ns}	-0,2657 ^{ns}
H + Al	-0,0663 ^{ns}	-0,5622 ^{ns}	0,0746 ^{ns}	-0,2341 ^{ns}
CTC	0,0263 ^{ns}	-0,3475 ^{ns}	0,1996 ^{ns}	-0,0008 ^{ns}
P-rem	0,3328 ^{ns}	0,8984 [*]	0,3920 ^{ns}	0,8185 [*]

** , * , ^o , ns = significativo a 1%, 5%, 10% e não-significativo, respectivamente.

Neste estudo observa-se menor variação dos teores críticos na ausência de calagem (CV = 39,8%) do que na presença (CV = 44,5%).

O reflexo das modificações promovidas pela calagem pode estar relacionado ao fator capacidade de zinco dos solos, uma vez que os níveis críticos na planta foram menores. Essa diminuição não promoveu diminuição no crescimento (Quadro 15), fato explicado pelo aumento nos coeficientes de utilização biológica, na condição de dose recomendável, pelas plantas de milho. Paralelamente, houve também aumento na eficiência de utilização (Quadro 15).

Esses resultados refletem que, em suprimento adequado de todos os nutrientes, as plantas utilizaram mais eficientemente o zinco absorvido, apesar da diminuição da disponibilidade no solo. LONGNECKER e ROBSON (1993) explicam que o zinco na planta possui mobilidade muito variável e pode ser retranslocado para maiores extensões quando em suprimento adequado.

Quadro 15 - Coeficientes de utilização básica (CUB) e eficiência de utilização (EU) críticos de zinco para cada solo, definidos para todos os solos, com e sem adição de calcário

Solo	CUB		EU	
	Cal 0	Cal 1	Cal 0	Cal 1
	----- g mg ⁻¹ -----		----- g ² mg ⁻¹ -----	
LE ₁	0,0600	0,0590	0,7500	0,8345
LU	0,0479	0,0917	0,5944	1,3340
LV	0,0437	0,0632	0,3819	0,5527
LVh	0,0374	0,0653	0,8493	1,4037
PVc	0,0290	0,0311	0,3880	0,4151
HO	0,0540	0,0437	0,8030	0,5715

CUB = MS crítica / conteúdo crítico.

EU = (MS crítica)² / conteúdo crítico.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Em experimento conduzido em casa de vegetação, objetivou-se avaliar a eficiência dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA quanto à disponibilidade de zinco em solos de Minas Gerais, com características químicas e físicas variáveis, na ausência e presença de calagem.

Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial 7 x 2 x 5, correspondendo a sete solos, dois níveis de calagem e cinco doses de zinco, no delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

Amostras de 2 dm³ de solo foram incubadas com e sem adição de calcário, por dez dias. As quantidades de calcário adicionadas foram determinadas por meio de curvas de neutralização da acidez, objetivando alcançar pH 6,0. Após esse período de incubação, as amostras receberam zinco nas doses de 0, 2, 4, 6 e 8 mg dm⁻³, na forma de ZnSO₄ em solução. Nessa mesma oportunidade, realizou-se uma adubação básica, livre de zinco, com todos os outros macro e micronutrientes.

Após 15 dias da fertilização das amostras, foram retiradas sub-amostras de 0,4 dm³, para determinação de zinco pelos extratores Mehlich-1, utilizando filtragem logo após extração (M-1f) e retirada de alíquota após 16 horas (M-1s), Mehlich-3 (M-3) e DTPA. O volume de solo restante (1,6 dm³) foi acondicionado em vasos plásticos, para o cultivo do milho. Aos 50 dias de cultivo foi analisada a produção de massa de matéria seca, bem

como o teor e o conteúdo de zinco na parte aérea das plantas. Para avaliação da capacidade de extração dos diferentes métodos, foram ajustadas equações de regressão do Zn recuperado pelos extratores em função das doses adicionadas, para cada solo, na ausência e na presença de calagem. Essas equações foram comparadas mediante teste de identidade de modelos, para avaliar a sensibilidade dos extratores à calagem. A resposta da planta à calagem e às doses de zinco foi avaliada pela produção de massa de matéria seca, pelo teor e pelo conteúdo de zinco na parte aérea.

A capacidade de extração variou na seguinte ordem: M-1s > M-1f > M-3 > DTPA, para todos os solos, na ausência e na presença de calagem. Os extratores M-1s e M-3 não apresentaram diferenças na capacidade de extração com a calagem, enquanto M-1f e DTPA foram sensíveis à calagem. Os teores de zinco obtidos por todos os extratores correlacionaram-se significativamente ($f < 0,05$) e negativamente com o teor de argila e a capacidade de campo dos solos, tanto na ausência como na presença de calagem. A capacidade de extração do DTPA apresentou-se melhor correlacionada com todas as características de solo, na presença de calagem, indicando que este extrator pode ser melhor utilizado em solos com maiores valores de pH. Todos os extratores apresentaram correlações significativas ($f < 0,001$) com o conteúdo de zinco na planta, podendo ser utilizados na avaliação da disponibilidade de zinco do solo. As plantas de milho apresentaram diminuição significativa na absorção de zinco com a calagem, sem, contudo, haver diminuição de produção, uma vez que a planta aumentou a sua eficiência de utilização. Os níveis críticos no solo variaram com os extratores, com os solos e, em alguns deles, com a calagem. Esses níveis correlacionaram-se com o teor de argila e com a capacidade de campo dos solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVA, A.K. Micronutrients status of Florida soils under citrus production. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.2/3. p.2453-2510, 1992.
- ALVAREZ V., V.H. **Avaliação da fertilidade do solo**. (Curso de Fertilidade e Manejo do Solo, Módulo XI). Brasília, ABEAS/UFV, 1994. 98p.
- ALVAREZ V., V.H. **Avaliação da fertilidade do solo**. Superfícies de resposta - modelos aproximativos para expressar a relação fator resposta. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 1985. 75p.
- ALVAREZ V., V.H., DIAS, L.E., OLIVEIRA, J.A. **Determinação de fósforo remanescente**. Viçosa MG:UFV, 1993. 10p (Mimeografado)
- ALVAREZ, V., H.V., NOVAIS, R.F., NEVES, J.C.L., BARROS, N.F. Níveis críticos de enxofre em solos de cerrado para o crescimento de mudas de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19, 1983, Curitiba, **Programa e resumos**, Curitiba: 1983. p.85-86
- BARROW, H.J. Testing a mechanistic model: VI molecular modelling of the effects of pH on phosphate and zinc retention by soils. **J. Soil Sci.**, v.37, p.311-318, 1986.
- BARROW, N.J. Mechanisms of reaction of zinc with soil and soil components. In: ROBSON, A.D. **Zinc in soils and plants**. Austrália: Kluwer Acad. Publ., 1993. p.15-31.

- BARROW, N.J. The effect of phosphate on zinc sorption by a soil. **J. Soil Sci.**, v.38, p.453-459, 1987.
- BRAGA, J.M., DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. **Rev. Ceres**, v.21, n.113, p.73-95, 1974.
- BRAY, R.H. Requirements for successful soil tests. **Soil Sci.**, v.66, p.83-89, 1948.
- CAVALLARO, N., McBRIDE, M.B. Zinc and copper sorption and fixation by acid soil clay effect of selective dissolutions. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.48, p.1050-1054, 1984.
- CHESWORTH, W. Geochemistry of micronutrients. In: MORTVEDT, J.J. et al. **Micronutrients in agriculture**. 2ed. Madison, Wisconsin: Soil Sci. Soc. Am., 1991. p.1-30.
- COUTO, C. **Resposta do eucalipto e do milho à aplicação de zinco em amostras de solos de cerrado**. Viçosa: UFV. Imp. Universitária, Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1985. 72p.
- DE MUNER, L.H. **Disponibilidade de zinco para milho em resposta à correção da acidez e à localização de fósforo no solo**. Viçosa: UFV. Imp. Universitária, Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1996. 101p.
- ELGABARY, M.M. Mechanism of zinc fixation by colloidal clays and related minerals. **Soil Sci.**, v.69, p.167-173, 1950.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de Métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro. 1997. 212p.
- EVANS, C.C., WEAR, J.J., HAJEK, B. F., COPER, J.T. The relationship of soil zinc removed by three extractants to zinc uptake by corn and sorghum in medium - to - fine textured soils. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v.5, p.105-113, 1974.
- GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em Latossolo Vermelho Amarelo, fase Cerrado. **R. bras. Ci. Solo**, v.19, p.255-260, 1995.

- GERLOFF, G.C., GALBELMAN, W.H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LAUCHLI, A., BIELESKI, R.L. (ed.) **Inorganic plant nutrition**, New York: Springer-Verlag. 1983. p.453-480.
- HARTER, R.D. Micronutrient adsorption-desorption reactions in soils. In: MORTVEDT, J.J. et al. **Micronutrients in agriculture**. 2ed. Wisconsin: Soil Sci. Soc. Am., 1991. p.237-255.
- IYENGAR, S.S., MARTENS, D.C., MILLER, W.P. Distribution and plant availability of soil zinc fractions. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.45, p.735-739, 1981.
- KALBASI, M., RACZ, G.J., LOEWEN RUDGERES, L.A. Mechanisms of zinc adsorption by iron and aluminum oxides. **Soil Sci.**, v.125, p.146-150, 1978.
- LANTMANN, A.F., MEURER, E.J. Estudo da eficiência de extratores para avaliação do zinco disponível do solo para o milho. **R. bras. Ci. Solo**, v.16, p.131-135, 1982.
- LIANG, J., KARAMANOS, R.E. DTPA-TEA-extractable Fe, Mn, Cu, and Zn. In: CARTER, M. R. **Soil sampling and methods of analysis**, S.I.: Canadian Soc. Soil Sci., 1993. p.87-90.
- LINDSAY, W.L. Inorganic equilibria affecting micronutrients. In: MORTVEDT, J.J. et al. **Micronutrients in agriculture**. 2ed. Madison, Wisconsin: Soil Sci. Soc. Am., 1991. p.89-111.
- LINDSAY, W.L., NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron manganese, and copper. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, v.42, p.421-428, 1978.
- LINS, I.D.G., COX, F.R. Effects of soil pH and clay content on the zinc soil test interpretation for corn. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.52, p.1681-1685, 1988.
- LONGNECKER, N.E., ROBSON, A.D. Distribution and transport of zinc in plants. In: ROBSON, A.D. **Zinc in soils and plants**. Austrália: Kluwer Acad. Publ., 1993. p.79-91
- MANDAL, L.N., MANDAL, B. Transformation of zinc fractions in rice soils. **Soil Sci.**, v.143, p.205-212, 1987.

- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractants. **Commun. Soil Sci. Plant. Anal.**, v.15, n.2, p.1409-1416, 1984.
- MURAOKA, T., NEPTUNE, A.M.L., NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e de manganês do solo para o feijoeiro. I. Zinco. **R. bras. Ci. Solo**, v.7, p.167-175, 1983.
- NEILSEN, D., HOYT, P.B., MacKENZIE, A.F. Distribution of soil Zn fractions in British Columbia interior orchard soils. **Can. J. Soil Sci.**, v.66, p.445-454, 1986.
- NORVELL, W.A. Comparison of chelating agents as extractants for metals in diverse soil materials. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.48, p.1285-1292, 1984.
- OLSEN, S.R., KEMPER, W.D. Movement of nutrients to plant roots. **Adv. Agron.**, v.20, p.91-151, 1968.
- RAIJ, B.V. Fósforo. In: INSTITUTO DA POTASSA E DO FOSFATO (EUA-SUIÇA) **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba. 1981. p.95-108.
- RIBEIRO, A.C., TUCUNANGO SARABIA, W.A. Avaliação de extratores para zinco e boro disponíveis em latossolos do Triângulo Mineiro. **R. bras. Ci. Solo**, v.8, p.85-89, 1984.
- SEN, A., DEB, D.L. Significance of diffusion in the uptake of zinc by maize plants (*Zea mays*) under varying zinc and moisture levels. **J. Nuclear Agric. Biol.**, v.8, p.103-106, 1979.
- SHUKLA, U.C., MITTAL, S.B. Characterization of zinc adsorption in some soils of India. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.43, p.905-908, 1979.
- SHUMAN, L.M. Effect of phosphorus level on extractable micronutrients and their distribution among soil fractions. **Soil Sci. Amer. J.**, v.52, p.136-141, 1988.
- SIDDIQUI, M.Y., GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **J. Pl. Nut.**, v.4, n.3, p.289-302, 1981.
- SIMS, J.L., PATRICK JR., W.H. The distribution of micronutrient cations in soil under conditions of varying redox potential and pH. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.42, p.258-268, 1978.

- SIMS, T.J. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper and zinc. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.50, p.367-373, 1986.
- STANTON, D.A., BURGUER, R. Du. Studies on zinc in selected Orange Free State soil: V. Mechanisms for the reactions of zinc with iron and aluminum oxides. **Agrochemophysica**, v.2, p.65-76, 1970.
- TRAN, T.S., SIMARD, R.R. Mehlich-III - Extractable elements. In: CARTER, M. R. **Soil sampling and methods of analysis**. Can. Soc. of Soil Science, 1993. p.43-47.
- UREN, N.C. Forms, reactions, and availability of nickel in soils. **Adv. Agron.**, v.48, p.141-203, 1992.
- WEAR, J.I., EVANS, C.E. Relationship of zinc uptake by corn and sorghum to soil zinc measured by three extractants. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, v.32, p.543-546, 1968.
- ZHU, B., ALVA, A.K. The chemical forms of Zn and Cu extractable by Mehlich-1, Mehlich-3, and ammonium bicarbonate-DTPA-TEA extractions. **Soil. Sci.**, v.156, n.4, p.251-258, 1993.

APÊNDICE

APÊNDICE A

1. Estabelecimento de curvas de incubação com calcário

Para estabelecimento das curvas de incubação foram utilizadas amostras de 0,3 dm³ de solo que receberam a mistura corretiva (calcário dolomítico + CaCO₃ comercial, visando estabelecer uma relação estequiométrica entre Ca:Mg de 4:1) em quantidades equivalentes a 0, 1, 2, 3, 4, e 8 t ha⁻¹, para todos os solos, exceto para o solo HO, que, devido ao seu elevado teor de carbono orgânico e H + Al, recebeu as doses de 0, 4, 8, 12, 16 e 20 t ha⁻¹ de calcário.

A mistura solo + calcário foi homogeneizada, acondicionada em sacos plásticos, umedecida para elevar o teor de umidade a 80% da capacidade de campo e incubada por um período de dez dias.

Após o período de incubação, as amostras foram secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm, sendo determinado o pH em água na relação 1:2,5. Por meio de equação de regressão, tendo os valores de pH como variável dependente das doses de calcário, obtiveram-se diferentes modelos (Quadro 1A), que permitiram a definição das quantidades de calcário a serem adicionadas a cada solo, para obtenção do valor de pH 6,0 (tratamento CAL 1).

Quadro 1A - Equações de regressão ajustadas com dose de calcário em kg ha⁻¹ e valores de pH, definidas para cada solo

Solo	Equação	R ²	Dose para pH 6,0 t ha ⁻¹
LE ₁	$\hat{Y} = 4,2878 + 0,2561X - 0,0100X^2$	0,999	5,97
LU	$\hat{Y} = 4,9692 + 0,1325X$	0,997	7,78
LV	$\hat{Y} = 5,2986 + 0,5672X - 0,0341X^2$	0,992	1,35
LVh	$\hat{Y} = 5,1456 + 0,1597X - 0,0040X^2$	0,991	6,38
PVc	$\hat{Y} = 5,6150 + 0,4663X - 0,0257X^2$	0,998	0,86
HO	$\hat{Y} = 5,01464 + 0,078009X - 0,00072545X^2$	0,980	14,6
LE ₂	$\hat{Y} = 5,21974 + 0,589136X - 0,0353499X^2$	0,991	1,45

APÊNDICE B

Quadro 1B - Teores de cálcio, magnésio, fósforo e cobre na parte aérea de plantas de milho

Solo	Dose de Zn	Cal 0				Ca 1			
		Ca	Mg	P	Cu	Ca	Mg	P	Cu
	mg dm ⁻³	--- dag kg ⁻¹ ---		---- mg kg ⁻¹ ----		---- dag kg ⁻¹ ----		---- mg kg ⁻¹ ----	
LE ₁	0	0,30	0,28	0,21	3,37	0,89	0,78	0,31	4,92
	2	0,33	0,28	0,17	3,20	0,53	0,63	0,19	3,97
	4	0,32	0,27	0,20	3,17	0,54	0,62	0,20	4,33
	6	0,38	0,30	0,22	4,38	0,56	0,60	0,23	4,18
	8	0,29	0,25	0,17	3,43	0,52	0,58	0,19	3,70
LU	0	0,07	0,25	0,22	3,50	0,40	0,49	0,19	2,83
	2	0,09	0,27	0,20	3,27	0,56	0,61	0,21	3,52
	4	0,08	0,22	0,17	3,27	0,51	0,55	0,19	3,73
	6	0,09	0,25	0,18	3,22	0,48	0,52	0,18	3,32
	8	0,08	0,22	0,15	2,93	0,46	0,54	0,20	3,75
LV	0	0,18	0,27	0,25	5,72	0,54	0,49	0,32	8,05
	2	0,15	0,24	0,13	4,92	0,50	0,49	0,19	5,83
	4	0,17	0,25	0,15	5,60	0,48	0,44	0,17	5,83
	6	0,18	0,27	0,14	5,98	0,54	0,43	0,23	6,62
	8	0,23	0,27	0,13	4,87	0,47	0,42	0,18	6,42
LVh	0	0,29	0,27	0,19	3,60	0,52	0,55	0,23	4,03
	2	0,28	0,26	0,19	3,27	0,51	0,52	0,21	3,05
	4	0,28	0,25	0,17	3,75	0,47	0,51	0,17	3,50
	6	0,31	0,28	0,21	4,48	0,49	0,50	0,19	3,25
	8	0,31	0,26	0,19	4,12	0,47	0,48	0,19	3,28
PVc	0	0,46	0,46	0,35	5,53	0,56	0,60	0,36	5,80
	2	0,41	0,44	0,34	5,28	0,54	0,58	0,35	5,83
	4	0,45	0,48	0,36	5,52	0,50	0,54	0,35	5,30
	6	0,40	0,45	0,43	5,00	0,52	0,51	0,36	5,12
	8	0,46	0,48	0,37	5,80	0,63	0,62	0,44	6,38
HO	0	0,40	0,44	0,18	4,47	0,45	0,52	0,21	4,95
	2	0,38	0,40	0,20	5,37	0,45	0,54	0,23	5,57
	4	0,39	0,42	0,19	4,53	0,60	0,64	0,23	6,07
	6	0,44	0,46	0,18	5,47	0,47	0,56	0,21	4,98
	8	0,47	0,49	0,19	4,82	0,47	0,56	0,20	4,77

Quadro 2B - Teores de cobre no solo, por diferentes extratores

Solo	Dose de Zn	Extrator							
		Ca1 0				Ca 1			
		M-1s	M-1f	M-3	DTPA	M-1s	M-1f	M-3	DTPA
----- mg dm ⁻³ -----									
LE ₁	0	0,70	0,70	0,91	1,05	0,70	0,70	0,91	1,05
	2	0,57	0,60	0,85	0,86	0,57	0,60	0,85	0,86
	4	0,60	0,69	0,85	0,93	0,60	0,69	0,85	0,93
	6	0,60	0,59	0,90	0,93	0,60	0,59	0,90	0,93
	8	0,63	0,66	0,87	0,97	0,63	0,66	0,87	0,97
LU	0	0,29	0,47	0,57	0,84	0,23	0,26	0,63	0,76
	2	0,29	0,31	0,52	0,82	0,19	0,29	0,52	0,71
	4	0,27	0,51	0,56	0,80	0,17	0,20	0,55	0,63
	6	0,22	0,44	0,49	0,71	0,14	0,18	0,53	0,62
	8	0,24	0,40	0,52	0,72	0,18	0,34	0,63	0,85
LV	0	1,00	0,91	0,70	0,65	1,19	1,02	0,72	0,77
	2	0,86	0,91	0,91	0,68	1,09	1,03	0,74	0,64
	4	0,91	0,87	0,67	0,67	1,05	0,98	0,77	0,59
	6	0,92	0,90	0,64	0,57	0,91	0,83	0,67	0,51
	8	1,10	0,88	0,73	0,68	0,93	0,82	0,66	0,60
LVh	0	0,39	0,56	0,78	0,91	0,33	0,45	0,87	0,84
	2	0,34	0,61	0,75	0,93	0,31	0,46	0,80	0,85
	4	0,36	0,53	0,72	0,96	0,23	0,44	0,82	0,90
	6	0,35	0,50	0,73	0,91	0,23	0,39	0,78	0,79
	8	0,39	0,50	0,82	0,93	0,26	0,40	0,78	0,79
PVc	0	3,35	3,47	4,08	3,45	3,42	3,45	3,88	3,34
	2	3,11	3,00	3,76	2,95	3,31	3,09	3,66	3,03
	4	3,69	3,62	4,29	3,63	3,42	3,22	3,81	3,21
	6	3,14	2,99	3,42	3,19	3,26	3,14	3,31	2,71
	8	2,96	2,93	3,43	2,70	3,26	3,04	3,75	3,55
HO	0	1,83	2,34	3,40	2,68	1,65	2,06	3,69	2,73
	2	1,57	2,29	3,39	2,60	1,53	2,00	3,62	2,90
	4	1,93	2,40	3,42	2,60	1,32	1,96	3,62	2,75
	6	1,74	2,22	3,38	2,54	1,37	1,96	3,62	2,73
	8	1,93	2,45	3,54	2,58	1,44	2,00	3,60	2,78
LE ₂	0	0,37	0,24	0,35	0,39	0,28	0,19	0,31	0,35
	2	0,31	0,18	0,29	0,28	0,24	0,22	0,27	0,29
	4	0,29	0,21	0,29	0,25	0,26	0,16	0,29	0,25
	6	0,28	0,17	0,31	0,33	0,22	0,15	0,25	0,23
	8	0,27	0,18	0,28	0,28	0,13	0,22	0,26	0,26

Quadro 3B - Teores de fósforo no solo, por diferentes extratores

Solo	Dose	Extrator					
		Ca1 0			Ca 1		
		M-1s	M-1f	M-3	M-1s	M-1f	M-3
----- mg dm ⁻³ -----							
LE ₁	0	109,97	144,52	127,95	128,61	146,84	128,34
	2	113,40	145,25	135,51	121,31	148,97	131,95
	4	108,00	150,12	134,82	116,25	146,19	128,56
	6	116,42	152,85	149,09	108,20	144,88	122,91
	8	116,21	154,53	128,75	106,98	134,51	124,23
LU	0	101,42	144,02	144,11	111,60	150,98	140,39
	2	116,23	148,85	145,28	125,80	154,79	139,19
	4	113,68	158,09	146,93	111,57	163,87	137,57
	6	116,29	156,35	150,77	114,13	153,53	137,95
	8	121,15	149,87	156,25	124,80	145,19	143,94
LV	0	38,35	47,37	91,14	43,66	54,33	98,87
	2	37,18	48,51	88,99	46,52	58,66	107,36
	4	39,13	47,20	95,72	47,19	57,98	106,34
	6	40,93	46,25	98,86	45,51	55,31	104,27
	8	45,39	51,82	103,51	45,14	60,52	105,42
LVh	0	124,84	187,68	154,64	152,80	192,98	146,94
	2	121,80	187,41	156,19	135,71	200,99	148,65
	4	135,13	178,05	146,97	138,78	179,34	149,06
	6	125,46	179,61	155,11	150,14	171,77	145,7
	8	121,55	169,39	138,86	135,06	183,37	145,53
PVc	0	100,12	119,76	129,55	114,40	129,34	131,73
	2	108,47	129,93	134,54	119,16	127,57	132,52
	4	107,22	120,88	136,02	117,53	131,66	135,18
	6	157,61	159,61	173,00	116,30	132,75	133,15
	8	105,63	120,89	139,01	115,95	128,58	127,45
HO	0	332,96	383,86	290,09	336,49	418,93	284,01
	2	311,59	387,71	294,2	318,88	421,37	284,25
	4	367,45	394,63	296,23	304,83	431,99	278,13
	6	315,02	367,56	296,23	321,53	412,04	289,29
	8	361,61	388,92	303,86	325,37	419,57	288,59
LE ₂	0	156,77	160,00	187,82	160,40	173,42	183,74
	2	154,15	161,01	162,48	154,72	168,37	174,67
	4	150,77	165,09	208,4	155,42	168,60	181,01
	6	154,47	163,13	196,33	158,05	165,55	189,59
	8	161,15	164,60	186,05	160,89	167,17	191,66

Quadro 4B - Valores de pH e teores de cálcio e magnésio dos solos

Solo	Dose de Zn	Cal 0			Cal 1		
		pH (H ₂ O)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	pH (H ₂ O)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
		mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³		
LE ₁	0	5,2	1,30	0,53	6,1	4,80	1,37
	2	5,3	1,50	0,57	6,2	4,67	1,20
	4	5,4	1,43	0,53	6,2	4,73	1,17
	6	5,3	1,63	0,60	6,2	4,97	1,23
	8	5,3	1,60	0,57	6,2	5,00	1,23
LU	0	5,0	0,27	0,50	5,9	4,73	1,50
	2	5,0	0,30	0,53	5,9	4,73	1,47
	4	4,9	0,27	0,53	6,0	4,80	1,50
	6	4,9	0,30	0,50	6,0	4,67	1,47
	8	4,8	0,27	0,50	6,0	4,60	1,53
LV	0	6,3	0,40	0,43	6,7	1,17	0,50
	2	6,4	0,37	0,43	6,8	1,37	0,53
	4	6,4	0,37	0,43	6,8	1,33	0,53
	6	6,4	0,37	0,43	6,9	1,30	0,53
	8	6,4	0,50	0,43	6,8	1,33	0,53
LVh	0	5,3	1,07	0,50	6,0	4,60	1,27
	2	5,3	1,10	0,53	6,0	4,53	1,33
	4	5,3	1,10	0,53	6,1	4,90	1,37
	6	5,2	1,00	0,50	6,1	4,87	1,27
	8	5,3	1,03	0,53	6,1	5,00	1,33
PVc	0	5,0	2,37	1,03	5,6	3,03	1,13
	2	5,0	2,40	1,10	5,6	3,07	1,20
	4	5,0	2,30	1,07	5,7	3,00	1,17
	6	5,0	2,30	1,10	5,6	2,87	1,10
	8	5,0	2,43	1,07	5,7	2,90	1,10
HO	0	5,2	4,87	1,17	5,5	13,47	1,57
	2	5,2	4,60	1,10	5,6	12,60	1,57
	4	5,0	4,73	1,07	5,5	13,77	1,60
	6	4,9	4,90	1,13	5,7	12,57	1,83
	8	5,2	4,77	1,13	5,6	14,13	1,70
LE ₂	0	5,7	0,27	0,43	6,3	1,03	0,60
	2	5,7	0,23	0,43	6,4	1,13	0,60
	4	5,6	0,23	0,47	6,4	1,13	0,57
	6	5,7	0,30	0,43	6,5	1,00	0,67
	8	5,5	0,27	0,43	6,3	0,97	0,67

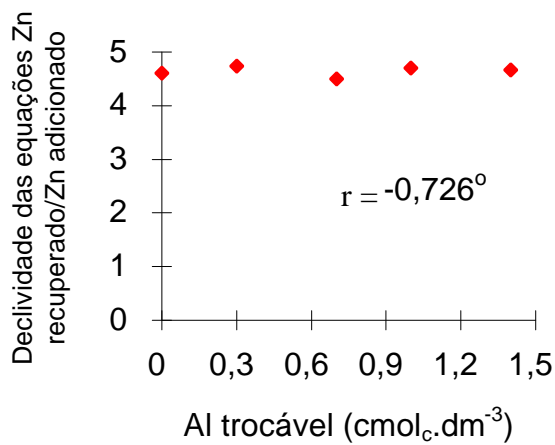
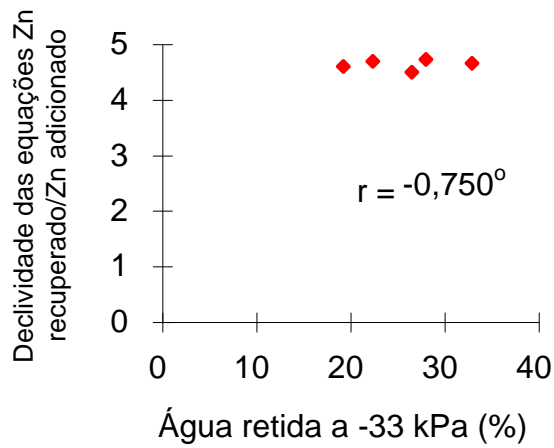
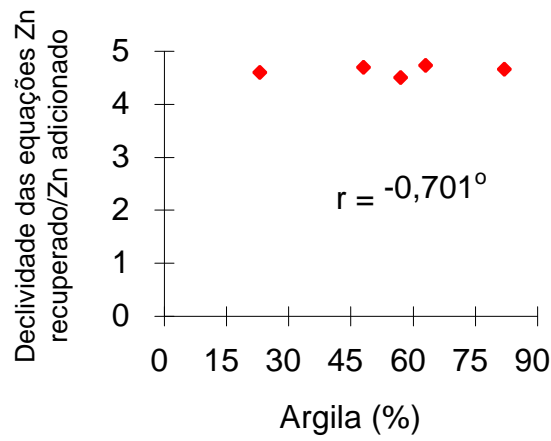


Figura 1B - Correlações entre declividades das equações ajustadas entre teor de zinco na planta, em função de doses de zinco adicionadas, na ausência de calagem, com algumas características dos solos (os pontos indicam os valores observados).

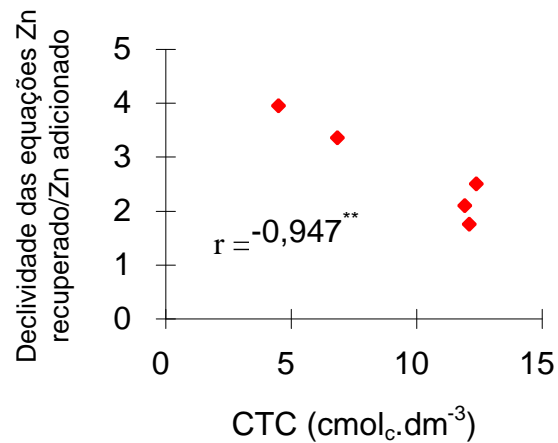
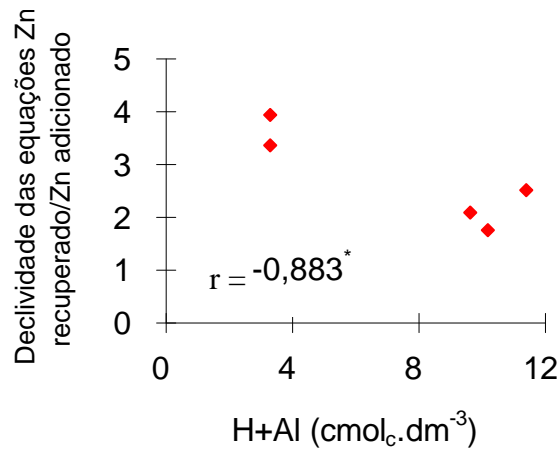
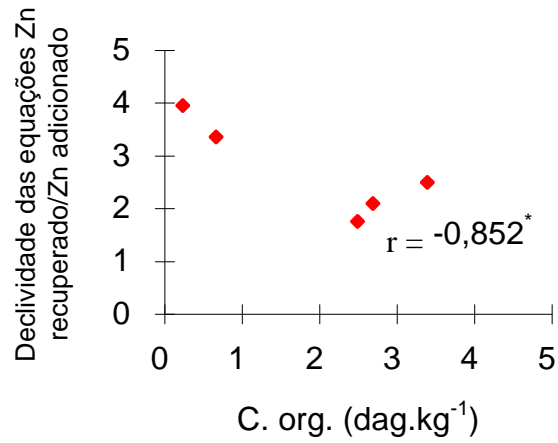


Figura 2B - Correlações entre declividades das equações ajustadas entre teor de zinco na planta, em função de doses de zinco adicionadas, na presença de calagem, com algumas características dos solos (os pontos indicam os valores observados).

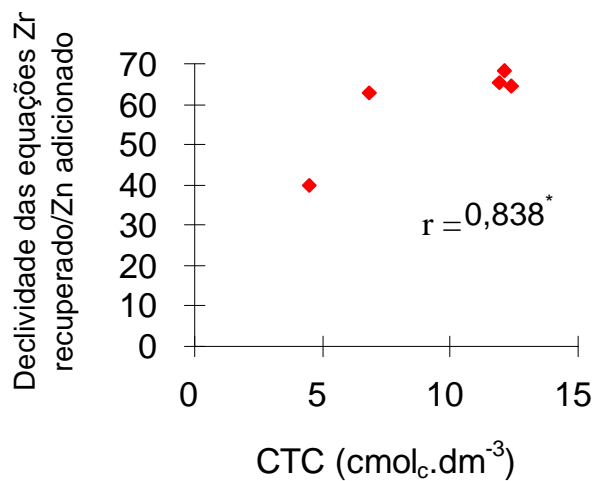
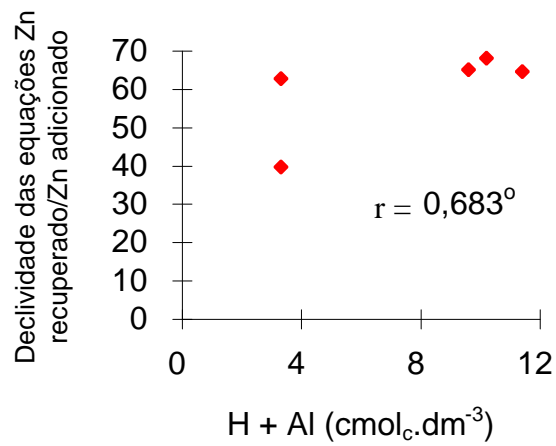
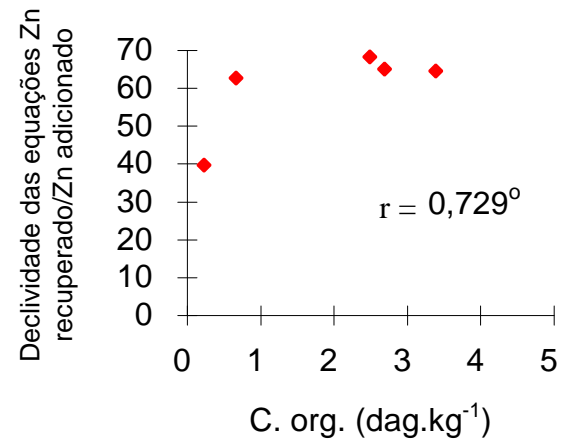


Figura 3B -Correlações entre declividades das equações ajustadas entre conteúdo zinco na planta, em função de doses de zinco adicionadas, na ausência de calagem, com algumas características dos solos (os pontos indicam os valores observados).

APÊNDICE C

Quadro 1C - Resumo da análise de variância

Variáveis	Solo		
	GL	QMR	CV (%)
		LE₁	
MS	18	1,20	8,0
M-1s	18	0,07	7,8
M-1f	18	0,03	6,4
M-3	18	0,02	6,7
DTPA	18	0,23	24,9
Teor	18	9,54	12,3
Conteúdo	18	1987,39	12,8
		LU	
MS	17	1,04	7,2
M-1s	17	0,11	8,9
M-1f	17	0,03	5,1
M-3	17	0,02	6,2
DTPA	17	0,02	6,5
Teor	17	24,28	18,2
Conteúdo	17	6229,21	20,8
		LV	
MS	18	1,37	13,1
M-1s	18	0,11	10,0
M-1f	18	0,17	13,5
M-3	18	0,05	9,8
DTPA	18	0,04	9,2
Teor	18	53,21	25,0
Conteúdo	18	5505,70	28,0

Continua...

Quadro 1C, Cont.

Variáveis	Solo		
	GL	QMR	CV (%)
		LVh	
MS	18	1,13	7,2
M-1s	18	0,07	6,7
M-1f	18	0,15	11,4
M-3	18	0,46	28,2
DTPA	18	0,04	8,5
Teor	18	23,88	20,2
Conteúdo	18	4504,19	19,1
		PVc	
MS	18	2,41	11,6
M-1s	18	1,74	16,4
M-1f	18	1,70	18,3
M-3	18	1,03	14,5
DTPA	18	1,02	17,9
Teor	18	20,33	9,1
Conteúdo	18	13741,76	17,7
		HO	
MS	18	3,71	13,8
M-1s	18	0,40	7,1
M-1f	18	0,17	5,6
M-3	18	0,11	6,6
DTPA	18	0,17	8,3
Teor	18	26,67	21,1
Conteúdo	18	7994,36	26,0
		LE₂	
M-1s	18	0,09	8,9
M-1f	18	0,12	8,9
M-3	18	0,06	6,8
DTPA	18	0,03	5,8

Quadro 2C-Quadrados médios utilizados para testar as equações de regressão

Equação	GL	QMR	SOLO
MS função Dose Cal.	77	1,46	LE ₁ , LU, LV e LVh
MS função Dose Cal.	18	3,71	HO
M-1s função Dose	97	0,42	LE ₁ , LU, LV, LVh, HO e LE ₂
M-1s função Dose	18	1,74	PVc
M-1f função Dose	97	0,14	LE ₁ , LU, LV, LVh, HO e LE ₂
M-1f função Dose	18	1,70	PVc
M-3 função Dose	97	0,06	LE ₁ , LU, LV, HO e LE ₂
M-3 função Dose	38	0,77	LVh e PVc
DTPA função Dose	78	0,05	LU, LV, LVh e LE ₂
DTPA função Dose	38	0,26	LE ₁ e HO
DTPA função Dose	18	1,02	PVc
Teor função Dose	97	19,6	LE ₁ , LU, LVh, HO e PVc
Teor função Dose	18	53,2	LV
Conteúdo função Dose	77	4277,3	LE ₁ , LU, LV e LVh
Conteúdo função Dose	38	10999,4	PVc e HO