



ABSORÇÃO DE ZINCO EM RELAÇÃO À ADUBAÇÃO FOSFATADA E
À CALAGEM, EM DOIS SOLOS DE MINAS GERAIS



por

FRANCISCO GERALDO FRANÇA TEIXEIRA DE CASTRO BAHIA

T
36/93


Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte
das Exigências do Curso de Fitotecnica,
para a Obtenção do Grau
de "Magister Scientiae".


Viçosa - Minas Gerais

1 9 7 3

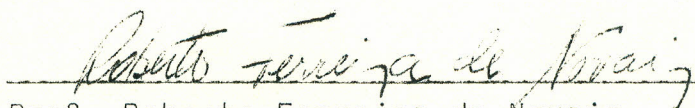
ABSORÇÃO DE ZINCO EM RELAÇÃO À ADUBAÇÃO FOSFATADA E
À CALAGEM, EM DOIS SOLOS DE MINAS GERAIS

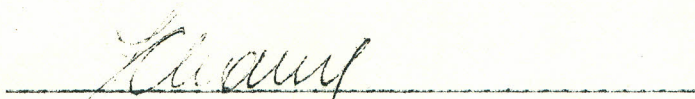
APROVADA:


Prof. José Mario Braga - Orientador


Prof. Moacyr Maestri


Prof. Sérvulo Batista de Rezende


Prof. Roberto Ferreira de Novais


Prof. José Raimundo Pereira Chaves

que não

é possível

qualquer

cultura

regra

superior

todos

analisar

sempre

isso

depois

isso

profir

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que colaboraram para a realização desse trabalho, especialmente às seguintes instituições e pessoas:

Universidade Federal de Viçosa, Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro Oeste e Escola Superior de Agricultura de Lavras, pela oportunidade oferecida para a realização dessa pesquisa.

Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo auxílio oferecido através de uma bolsa de estudos.

Prof. José Mário Braga, pela orientação constante. Centro de Processamento de Dados da U.F.V., pelas análises estatísticas.

Profs. Roberto Ferreira de Novais, Onofre Cristo Brumano e Eng^{os} Agr^{os} Antonio Fernandino de Castro Bahia Filho e Victor Hugo Alvares Venegas, pelas sugestões.

Sr. Carlos Jorge dos Santos pela atenção constante dada aos experimentos, na fase de estufa.

Sr. João Batista Correa pelo auxílio na análise foliar.

Sr. Edson Zanoni de Abreu, pelo trabalho de datilografia.

Prof^a. Juracy de Souza, pela revisão linguística.

BIOGRAFIA DO AUTOR

FRANCISCO GERALDO FRANÇA TEIXEIRA DE CASTRO BAHIA, filho de Antonio Fernandino de Castro Bahia e Dagma França Teixeira de Castro Bahia, nasceu em Sete Lagoas, Minas Gerais, aos 24 de julho de 1943.

Cursou o primário e o ginásial naquela cidade, ingressando depois na Escola Agrotécnica da UREMG, em Viçosa, Minas Gerais.

Formado Engenheiro Agrônomo pela mesma universidade, em 1965, começou sua carreira profissional em 1966, ao ingressar no Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Centro Oeste. Iniciou o Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia na Escola de Pós-Graduação da Universidade Federal de Viçosa, em 1969, como bolsista da Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Transferiu-se, em 1971, para a Escola Superior de Agricultura de Lavras, onde exerce o cargo de Auxiliar de Ensino no Departamento de Ciências do Solo.

CONTEÚDO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. A Deficiência de Zinco em Plantas, Induzida Pela Adubação Fosfatada	3
2.2. A Deficiência de Zinco em Plantas, Induzida Pela Calagem	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1. Caracterização e Preparo dos Solos	7
3.2. Dos Ensaio s	8
3.3. Avaliação de Produção e Análise Foliar	10
3.4. Análises Estatísticas	11
3.5. Determinação de Níveis Críticos	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4.1. Produção de Matéria Seca	12
4.1.1. Produção de Matéria Seca no Latosol <u>Ro</u> XO	12
4.1.2. Produção de Matéria Seca no Solo Bruno Ácido (similar)	16
4.2. Teor de Zinco em Partes das Plantas de Milho.	16
4.2.1. Teor de Zinco em Plantas, no Latosol <u>Ro</u> XO	20
4.2.2. Teor de Zinco em Plantas, no Solo Bru- no Ácido (similar)	21
4.3. Estabelecimento de Níveis Críticos Para Zinco, Relação P/Zn e Relação Ca/Zn, nas Folhas	22
5. RESUMO E CONCLUSÕES	25
6. LITERATURA CITADA	27
7. APÊNDICE	32

este trabalho
ações de adubação fosfatada
nutrição de milho, em solos
branco ácido (similar).

1. INTRODUÇÃO

Em busca de uma tecnologia de maior produtividade para os solos tropicais ácidos, frequentemente com elevada capacidade de fixação de fosfatos, merece destaque a necessidade de utilização de calagem e adubações fosfatadas pesadas. Estas práticas, aparentemente adequadas para a elevação da baixa fertilidade natural desses solos, podem ter seus efeitos benéficos mascarados pela alteração da disponibilidade de micronutrientes para o vegetal.

São frequentes, no Brasil, os relatos de experimentos em que a correção da acidez resulta em decréscimo na produção, quando era esperada resposta positiva ao tratamento. A causa desse comportamento é comumente desconhecida, embora seja aventada, mas nem sempre verificada, a possibilidade de deficiência de micronutrientes, induzida pela calagem. Esta situação é fruto de planejamento experimental inadequado, resultando em pesquisas onde o estudo de macro e micronutrientes é feito isoladamente, como se as quantidades em que são absorvidos pelo vegetal fossem razão suficiente para esta separação.

Sabe-se que a calagem e a adubação fosfatada podem reduzir a disponibilidade de zinco para as plantas, embora não existam referências ao problema em solos brasileiros. A deficiência de zinco, entretanto, vem sendo observada em algumas áreas do Estado de Minas Gerais, frequentemente aquelas de agricultura mais desenvolvida, o que pode ser consequência do cultivo intensivo, aliado à utilização de calagem e adubações desequilibradas com relação ao suprimento de zinco.

Este trabalho objetiva identificar, em estufa, relações da adubação fosfatada e da calagem, com o zinco, na nutrição de milho, em dois solos ácidos: Latosol Roxo e Solo Bruno Ácido (similar).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Deficiência de Zinco em Plantas, Induzida Pela Adubação Fosfatada

A ação depressiva de altos níveis de fósforo no solo sobre o teor de zinco de várias culturas é assunto bastante conhecido, tendo sido constatada por diversos autores (1, 8, 9, 15, 23, 24, 25, 27, 28, 33, 34, 35, 36, 40), embora não esteja bem esclarecido o mecanismo dessa depressão (8, 23, 30, 31). O local de ocorrência da interação é ainda controvertido, havendo indicações de que ela se verifique no solo (3, 22, 24), ou na planta (9, 15, 18, 24, 27, 31, 36, 40).

Algumas evidências, entretanto, indicam que a reação entre fósforo e zinco no solo não é a mais adequada para explicar a interação. BOAWN et alii (6) demonstraram que o $Zn_3(PO_4)_2$, composto de baixa solubilidade e possível produto da interação no solo, pode ser usado como fonte de zinco para as plantas, como um efeito comparável ao do sulfato e óxido de zinco, tradicionais fontes do elemento. Além disto, vários trabalhos mostram que a aplicação de fósforo não altera, ou mesmo aumenta, o teor de zinco solúvel no solo (23, 25, 27, 31, 40).

X Segundo OLSEN ¹⁹⁷² (30), a interação entre fósforo e zinco na planta é mais estudada, atualmente, sob três aspectos principais:

1 - Diminuição da taxa de translocação de zinco das raízes para a parte aérea das plantas, como efeito da adubação fosfatada. BURLESON & PAGE ¹⁹⁵⁷ (2) e STUKENHOLTZ et alii ¹⁹⁶⁶ (36) verificaram que a aplicação de fósforo causou diminuição no

teor de zinco da parte aérea das plantas estudadas e aumentou ou não alterou o zinco das raízes, o que evidencia uma diminuição na mobilidade do elemento. Também a mobilidade relativa de zinco, expressa pela relação entre o teor de zinco das folhas e o teor de zinco das raízes, foi decrescida pela adubação fosfatada, em experimento com milho, (48). ^{WARREN (1970).}

2 - Simple efeito de diluição da concentração de zinco na parte aérea, face à resposta, em crescimento, à aplicação de fósforo. Em geral esta interação ocorre quando o solo é deficiente em fósforo e apresenta o zinco disponível ao redor do limite crítico (30). ^{(COLSEN, 1972).} A diminuição do teor de zinco em folhas de milho foi explicada por KHAN (24) e MARINHO & IGUE (27), ¹⁹⁷² como provocada por efeito de diluição, já que a adubação fosfatada produziu plantas maiores.

3 - Distúrbio metabólico nas células da planta, provocado pelo desequilíbrio entre fósforo e zinco ou interferência da concentração excessiva de fósforo na função metabólica do zinco. Nesse último caso, a concentração de zinco em si não seria a causa do distúrbio no crescimento. De fato, BOAWN & LEGGET (5), ¹⁹⁶⁴ e MILLIKAN (29), ¹⁹⁶³ estudando culturas diferentes — batata e trevo subterrâneo, respectivamente — verificaram que o aparecimento de sintomas de deficiência de zinco, induzida pela adubação fosfatada, era mais bem correlacionado com a relação P/Zn do que com o nível de zinco das folhas. Entretanto, os sintomas de deficiência que apareceram em trevo, quando a relação P/Zn era elevada, foram típicos de deficiência de fósforo o que levou MILLIKAN (29) ¹⁹⁶³ a sugerir que o zinco é essencial para a utilização de fósforo, ao passo que BOAWN & BROWN (4), ¹⁹⁶⁴ acreditam que o fósforo é que interfere com a utilização de zinco pelas plantas.

As indicações de ELLIS et alii (35), ¹⁹⁶⁴ e STUKE-NHOLTZ et alii (36), ¹⁹⁶⁶ de que a interação entre fósforo e zinco pode ocorrer na superfície das raízes, e a sugestão de KEEFER & SINGH (28), ¹⁹⁶⁸ de que o efeito de fósforo poderia ser através da mudança na capacidade fisiológica da planta para absorver zinco, não encontram apoio nos experimentos de CHAUDRY & LONERAGAN (11), ¹⁹⁷². Comparando o efeito inibidor do cálcio sobre a absorção de zinco por plântulas de trigo, em solução

nutritiva, estes autores concluíram que o ânion acompanhante do cálcio, inclusive o H_2PO_4^- , não afetou a absorção de zinco, o que vale dizer que o H_2PO_4^- não interferiu com o zinco na superfície das raízes. X

2.2. A Deficiência de Zinco em Plantas, Induzida Pela Calagem

X Em condições de campo, a aplicação de elevadas doses de calcário pode levar ao aparecimento de diferentes tipos de clorose em plantas, comumente atribuídos a deficiências de micronutrientes. ^{EPSTEIN & STOUT (1951).} (16). No caso específico do zinco, tem-se observado que a calagem reduz o teor do elemento em várias culturas ^{KHAN, 1969; CHAUDRY & LOWE RAGAN, 1972; MELTON et al., 1970.} (1, 11, 12, 24, 28, 31, 34, 37).

Em trabalhos com plântulas de trigo, usando solução nutritiva, verificou-se que os cations alcalino-terrosos, na concentração de $250 \mu\text{M}/\text{l}$, deprimem fortemente a taxa de absorção de zinco, segundo a ordem: $\text{Mg}^{2+} > \text{Ba}^{2+} > \text{Sr}^{2+} = \text{Ca}^{2+}$ ^(CHAUDRY & LOWE RAGAN, 1972a.) (11, 13), e que o efeito do cálcio não é competitivo ^(CHAUDRY & LOWE RAGAN, 1972 b.) (13).

Os estudos em busca do mecanismo da interação têm sido concentrados no efeito indireto da calagem pelo aumento do pH, e no efeito direto, pelo fornecimento de cálcio, principalmente.

Em trabalho com sorgo, WEAR ¹⁹⁵⁶ (41) verificou que a absorção de zinco foi influenciada pelo pH e não pelo cálcio, já que a adição de CaSO_4 , que tende a acidificar o solo, aumentou a absorção de zinco pelas plantas, enquanto a aplicação de CaCO_3 ou Na_2CO_3 , que aumentam o pH, diminuiu a absorção. A comparação dos efeitos de fontes de nitrogênio sobre a absorção de zinco pelas plantas levou BOAWN ¹⁹⁶⁰ et alii (7) e VIETS ¹⁹⁵⁷ et alii (39) à constatação de que o efeito diferencial de fontes era devido a variações no pH do solo: aquelas de reação mais ácida aumentaram a absorção de zinco em comparação com as menos ácidas. De fato, a quantidade de Zn^{2+} em solução, equilibrada com o zinco do solo, decresce cem vezes para cada unidade de aumento no pH, sendo o Zn^{2+} a forma predominante em solos com pH abaixo de 7,7 ^(LINDSAY, 1972) (26).

Existem, entretanto, algumas indicações do efeito

do cálcio sobre a disponibilidade de zinco no solo, bem como na absorção e translocação do elemento pelas plantas. O efeito direto do cálcio na absorção de micronutrientes pelas plantas, inclusive zinco, foi estudado por EPSTEIN e STOUT (1951). Segundo estes autores, a disponibilidade de zinco no solo e sua adsorção às raízes dependeria da relação cálcio/hidrogênio das superfícies de troca das raízes e do solo. Quando se faz calagem, a substituição de íons hidrogênio por cálcio, no complexo de troca do solo, decresce a permutabilidade de um terceiro íon adsorvido, no caso zinco, porque o cálcio é mais fracamente retido no complexo do que o hidrogênio. Por este mecanismo, a calagem diminuiria a disponibilidade do zinco trocável. Por outro lado, se o mecanismo operar também na superfície das raízes, estas teriam sua afinidade por zinco aumentada pela substituição de hidrogênio por cálcio. O aumento ou diminuição na absorção de zinco, afetada pela calagem, ficaria então na dependência da magnitude do efeito do íon complementar no solo e nas raízes.

Uma vez absorvido, o zinco pode ainda ser afetado pelo cálcio (ADRIANO ^{et al}, 1971 e CHAUDRY & LONE RAGAW, 1972). Utilizando soluções nutritivas com pH constante, ADRIANO et al (1971) verificaram que altos níveis de cálcio diminuem o conteúdo de zinco e fósforo da parte aérea de plântulas de milho, sem afetar o das raízes, indicando que o cálcio pode imobilizar fósforo e zinco nas raízes. Acredita-se, inclusive, que o antagonismo entre fósforo e zinco, na nutrição das plantas em zinco, possa, em alguns casos, ser parcialmente explicado pela interferência do cálcio associado aos fertilizantes fosfatados, na absorção de zinco (19) (CHAUDRY & LONE RAGAW, 1972).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização e Preparo dos Solos

Foram selecionados dois solos, nos quais já havia sido observada a deficiência de zinco quando plantados com milho, classificados ao nível de grande grupo como Latosol Roxo (2), procedente do município de Patos de Minas e Solo Bruno Ácido (similar) (14), procedente do município de Carmo da Cachoeira, ambos em Minas Gerais.

Os solos, para os dois ensaios, foram coletados até 20 cm de profundidade e peneirados em malha de náilon de 5 mm, sendo, em seguida, submetidos à desinfecção com brometo de metila.

Os resultados das determinações físicas e químicas, efetuadas nos dois solos, são apresentados nos quadros 1 e 2, respectivamente.

QUADRO 1 - Análises físicas dos dois solos.

Características físicas	Latosol Roxo	Solo Bruno Ácido (similar)
Areias (%)	31,6	36,6
Limo (%)	16,4	19,1
Argila (%)	52,0	44,3
Umidade a 1/3 atm (%)	29,67	24,42
Umidade a 15 atm (%)	20,71	14,16

QUADRO 2 - Análises químicas dos dois solos.

Características químicas	Latosol Roxo	Solo Bruno Ácido (similar)
pH em água (1:2,5)	5,2	4,4
Alumínio (eq.mg Al/100 ml) ¹	0,1	1,3
Fósforo (ppm de P) ²	11	2
Cálcio (eq.mg Ca/100 ml) ¹	1,2	traços
Magnésio (eq.mg Mg/100 ml) ¹	1,0	0,4
Potássio (ppm de K) ²	78	39
Zinco (ppm de Zn) ³	6,4	5,6
C.T.C. (eq.mg/100g) ⁴	14,2	7,8
Carbono (%) ⁵	1,91	1,53

1 - KCl 1 N

2 - "Mehlich" 1 : 10

3 - HCl 0,1 N 1 : 25

4 - NH₄OAc N, pH 7,0

5 - "Walkley Black"

3.2. Dos Ensaios

Para cada solo, foi realizado um ensaio de adubação, utilizando um delineamento fatorial 2 x 3 x 3, com quatro repetições, inteiramente casualizado, composto por calagem e adubação com fósforo e zinco.

A calagem foi aplicada em dois níveis: zero e quantidade suficiente para elevar o pH a 6,5, determinada graficamente nas curvas de incubação dos dois solos com óxido de cálcio p.a., durante 14 dias. Assim, no tratamento com calagem, o Latosol Roxo recebeu 1,85 g de CaO/kg de solo e o Solo Bruno Ácido (similar), 1,53 g de CaO/kg de solo.

A adubação fosfatada foi feita em três níveis: zero, meia e uma vez a capacidade máxima de adsorção de fosfatos, encontrada pela isoterma de Langmuir, segundo FASSBENDER (17). Desta forma foram fornecidos, ao Latosol Roxo, 0, 500, e 1000 ppm de P (0, 500 e 1000 µg de P/g de solo seco

ao ar, respectivamente) e ao Solo Bruno Ácido (similar), 0, 300 e 600 ppm de P (0, 300 e 600 µg de P/g de solo, respectivamente). Foi empregada uma mistura de $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$, KH_2PO_4 e KNO_3 como fonte de nitrogênio, fósforo e potássio, que permitiu a variação nos níveis de fósforo, mantendo constantes, em todos os tratamentos dos dois solos, os níveis de nitrogênio (226 ppm de N) e potássio (630 ppm de K), sem a introdução de nutrientes estranhos aos experimentos (Quadro 1A - apêndice).

A adubação com zinco foi calculada para fornecer, a ambos os solos, zero, 4,5 e 9,0 ppm de Zn, da fonte $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$.

A incorporação de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aos tratamentos que deveriam receber calagem foi feita em porções de 3 kg de solo, por agitação manual em sacos de polietileno de 10 litros. Os tratamentos sem calagem sofreram a mesma agitação, sem a incorporação do corretivo. Cada porção foi colocada em um vaso plástico de 4 litros, recebendo em seguida água desmineralizada suficiente para elevar o teor de umidade a 80% da água retida a 1/3 de atmosfera (Quadro 1), umidade esta que se procurou manter, por pesagem diária, até o 14º dia de incubação. Após secagem por três dias, foi efetuada a incorporação dos tratamentos de fósforo e zinco e a adubação básica com nitrogênio e potássio, utilizando a mesma técnica da calagem.

O plantio foi feito vinte dias após a calagem, colocando-se 10 sementes de milho híbrido 'Ag 206' por vaso, à profundidade de 1 cm. O milho foi escolhido por sua elevada sensibilidade à deficiência de zinco (38). O desbaste para 5 plantas por vaso foi realizado 12 dias após a germinação. Dois dias após o desbaste foram aplicados 100 ml de solução nutritiva a todos os tratamentos, nos dois solos, que forneceu, por vaso, 14 mg de magnésio, 14 mg de ferro, 11 mg de manganês, 4 mg de cobre e 1,4 mg de boro.

Foram usados reagentes p.a. para calagem e adubações. Durante o período de condução dos ensaios adicionou-se, diariamente, água desmineralizada, controlada por pesagem dos vasos, na tentativa de manter a umidade constante, em torno de 80% de água retida a 1/3 da atmosfera (Quadro 1). Nas duas últimas semanas que antecederam à colheita, o controle

de umidade foi feito duas vezes ao dia. Os vasos sofreram rotação semanal, para melhor casualização.

A colheita foi realizada 60 dias após o plantio, cortando-se as plantas com lâmina de aço inoxidável, 0,5 cm acima da superfície do solo. A parte aérea foi separada em caules e folhas. Considerou-se como caule as bainhas das folhas. A parte superior do caule foi delimitada pela última folha com inserção visível. As raízes foram separadas do solo em peneira de náilon e, para a retirada dos resíduos de solo, foram submetidas a fortes jatos de água de torneira, seguidos de lavagem com água desmineralizada. A fração do caule remanescente após o corte foi considerada como raiz.

3.3. Avaliação de Produção e Análise Foliar

O material fresco dos ensaios foi seco em estufa com circulação forçada de ar, a 70 - 75°C, por 96 horas. Após a pesagem da matéria seca de folhas, caules e raízes, o material foi passado em moinho tipo WILEY, provido de facas e peneira de 20 malhas por polegada, de aço inoxidável.

O material para determinação de cálcio, fósforo e zinco foi preparado conforme recomendação de ISAAC e KERBER (21), com algumas modificações. A incineração de caules e folhas foi feita em 4 horas e a de raízes em 8 horas, ambas a 550°C. Utilizou-se apenas 0,4 g de material seco para incineração, completando-se o volume final de extrato para 10 ml. Na determinação de zinco em raízes, foi observada baixa re-
produtividade entre as repetições do experimento, atribuída à interferência de sílica. A reprodutividade foi sensivelmen-
te melhorada pela dissolução das cinzas em 1 ml de ácido flu-
orídrico a 48%, para a eliminação da sílica. Após secagem, as cinzas foram novamente dissolvidas em HCl e 20%.

Por falta de material vegetal em alguns tratamen-
tos, as análises químicas foram feitas em apenas três das quatro repetições dos ensaios.

As determinações de zinco e cálcio foram feitas em espectrofotômetro de absorção atômica PERKIN ELMER, modelo 290 B.

A determinação de fósforo, pelo método do azul sul fomolíbídico, foi feita em espectrocolorímetro METROHM, modelo E 1009, a 625 nm.

3.4. Análises Estatísticas

As análises de variância foram executadas segundo modelo para experimentos inteiramente casualizados, no Centro de Processamento de Dados da Universidade Federal de Viçosa, em computador IBM (20). Para os testes de significância, foram utilizadas as tabelas de GOMES (19).

3.5. Determinação de Níveis Críticos

Para a determinação de níveis críticos foi aplicado o método gráfico de CATE e NELSON (10), fixando-se a produção relativa em 80%.

As produções relativas foram calculadas tomando-se, como máximo (100%), a maior produção de matéria seca total de cada experimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produção de Matéria Seca

As médias de produção de matéria seca, para os dois solos, são apresentadas nos quadros 3 e 4. O resumo das análises de variância dos dados de produção, encontra-se no quadro 5.

O efeito dos tratamentos sobre a produção de folhas, caules, raízes e matéria seca total, segue, com poucas exceções, a mesma tendência. Assim, salvo especificação contrária, será discutido apenas o último parâmetro.

4.1.1. Produção de Matéria Seca no Latosol Roxo

A produção de matéria seca foi diminuída pela calagem e aumentada pela aplicação de fósforo e zinco; a produção de raízes, entretanto, não foi afetada pela calagem (Quadro 3 e 5).

A interpretação dos dados de análise química deste solo (Quadro 2), segundo os níveis de fertilidade usados atualmente em Minas Gerais (32), indica maior probabilidade de resposta para a adubação fosfatada do que para a calagem.

Os dados dos quadros 3 e 5 mostram que a calagem diminuiu a produção apenas na ausência de zinco. Na presença de calagem, a adubação fosfatada só aumentou a produção quando na presença de zinco, chegando a diminuí-la na ausência. O aumento de produção pela adubação com zinco ocorreu apenas quando se aplicou fósforo e foi maior quando se fez calagem. Conseqüentemente, neste solo, podem ser obtidas maiores pro-

QUADRO 3 - Efeito de diferentes doses de calagem, fósforo e zinco, na produção de matéria seca no Latosol Roxo. Médias de quatro repetições.

Zinco aplicado (ppm)	Fósforo aplicado (ppm)					
	0			1000		
	sem calagem			com calagem		
	Produção de folhas (g/vaso)					
0	4,65	9,98	6,23	3,75	2,69	1,39
4,5	4,57	14,54	13,08	5,09	12,25	11,69
9,0	4,45	14,56	13,82	5,11	13,84	13,36
	Produção de caules (g/vaso)					
0	2,56	9,64	5,43	2,45	2,78	1,06
4,5	2,21	11,48	9,93	2,97	9,66	10,45
9,0	2,45	10,37	10,42	3,08	10,20	11,05
	Produção de raízes (g/vaso)					
0	3,15	6,21	2,90	2,75	2,01	0,80
4,5	2,87	7,21	5,87	3,02	8,41	6,15
9,0	2,43	7,31	5,59	2,88	7,76	6,97
	Produção total (g/vaso)					
0	10,36	25,83	14,56	8,94	7,48	3,25
4,5	9,66	33,23	28,88	11,08	30,32	28,29
9,0	9,33	32,25	29,83	11,07	31,80	31,38

DMS	5 %	1 %
Folhas	2,12	2,44
Caules	2,20	2,53
Raízes	2,28	2,62
Total	5,15	5,93

QUADRO 4 - Efeito de diferentes doses de calagem, fósforo e zinco, na produção de matéria seca no Solo Bruno Ácido (similar). Médias de quatro repetições.

Zinco aplicado (ppm)	Fósforo aplicado (ppm)					
	0	300	600	0	300	600
	sem calagem			com calagem		
	Produção de folhas (g/vaso)					
0	1,99	6,64	6,53	2,31	3,19	2,55
4,5	1,69	6,98	6,18	2,51	8,81	8,80
9,0	1,98	7,68	6,01	2,49	9,54	10,45
	Produção de caules (g/vaso)					
0	0,87	4,19	3,65	1,00	3,45	2,14
4,5	0,68	3,91	2,88	0,89	6,53	6,23
9,0	0,83	4,29	2,92	0,97	6,99	6,79
	Produção de raízes (g/vaso)					
0	2,16	4,00	2,88	1,92	3,41	1,73
4,5	1,99	4,03	1,87	1,46	5,93	5,57
9,0	1,98	4,75	1,90	1,25	5,94	5,67
	Produção total (g/vaso)					
0	5,02	14,83	13,06	5,23	10,05	6,41
4,5	4,37	14,93	10,94	4,85	21,27	20,59
9,0	4,79	16,72	10,84	4,71	22,47	22,91

DMS	5 %	1 %
Folhas	1,97	2,26
Caules	1,68	1,94
Raízes	1,45	1,67
Total	4,69	5,39

QUADRO 5 - Análises de variância dos dados de produção de matéria seca de milho (quadrados médios), no Latosol Roxo e no Solo Bruno Ácido (similar).

Fonte de Variação	G.L.	Latosol Roxo				Solo Bruno Ácido (similar)			
		Folhas	Caules	Raízes	Total	Folhas	Caules	Raízes	Total
Zinco	2	266,948**	119,992**	58,8790**	1191,57**	41,309**	10,325**	5,8019**	152,666**
Fósforo	2	301,056**	285,854**	79,3144**	1826,99**	184,322**	108,893**	49,8040**	957,754**
Calagem	1	62,180**	26,064**	1,7174	204,53**	5,467**	25,692**	11,8746**	110,905**
Interações:									
Zn x P	4	55,659**	33,643**	15,3294**	289,49**	9,971***	2,966**	3,0806**	39,530**
Zn x Cal.	2	29,021**	30,397**	16,7061**	223,95**	38,788**	16,348**	9,8669**	187,361**
P x Cal.	2	19,209**	17,167**	1,3823	91,62**	1,335	5,027**	10,1746**	38,374**
Zn x P x Cal.	4	3,353**	5,296**	3,5376**	32,68**	9,642**	4,486**	4,7212**	49,294**
Erro	54	0,668	0,725	0,7768	3,95	0,583	0,427	0,3113	3,293
Total	71								
C. V. %		9,48	12,96	18,92	10,00	14,26	19,86	17,18	15,31

* - excede ao nível de probabilidade de 5%

** - excede ao nível de probabilidade de 1%

duções pela aplicação de fósforo e zinco, cujos efeitos isolados foram pequenos ou inexistentes. A limitação de produção por deficiência de zinco parece ser induzida, de alguma forma, pela adubação fosfatada e acentuada pela calagem, aspectos já observados em trabalhos anteriores (1, 8, 9, 11, 12, 15, 23, 24, 25, 27, 28, 31, 33, 34, 35, 36, 40).

4.1.2. Produção de Matéria Seca no Solo Bruno Ácido (similar)

A aplicação de calagem, fósforo e zinco aumentou a produção de matéria seca (Quadros 4 e 5).

Elevada probabilidade de resposta à adubação fosfatada e calagem poderia ser prevista pelos resultados de análise química desse solo (Quadro 2), interpretados segundo os níveis de fertilidade usados pelos laboratórios de análise de solo de Minas Gerais (32).

Examinando os dados dos quadros 4 e 5 verifica-se que a calagem somente aumentou a produção quando na presença de fósforo e zinco, chegando mesmo a diminuí-la na presença de fósforo e ausência de zinco. O aumento de produção pela aplicação de fósforo foi maior quando na presença de calagem e zinco. Na ausência de calagem a adubação fosfatada não parece limitar a produção por indução da deficiência de zinco, como aconteceu no Latosol Roxo. A adubação com zinco somente afetou a produção na presença de adubação fosfatada, com calagem.

Estas observações permitem inferir que, neste solo, podem ser obtidas maiores produções pela aplicação de calagem, fósforo e zinco. A limitação de produção por deficiência de zinco parece ter sido induzida apenas pela aplicação conjunta de calagem e adubação fosfatada.

4.2. Teor de Zinco em Partes das Plantas de Milho

As médias dos teores de zinco em folhas, caules e raízes de milho, nos dois solos, são mostradas nos quadros 6 e 7. O resumo das análises de variância destes dados encontra-se no quadro 8.

QUADRO 6 - Efeito de diferentes doses de calagem, fósforo e zinco, no conteúdo de zinco em folhas, caules e raízes de milho, no Latosol Roxo. Médias de três repetições.

Zinco aplicado (ppm)	Fósforo aplicado (ppm)					
	sem calagem			com calagem		
	0	500	1000	0	500	1000
	Zinco nas folhas (ppm de Zn)					
0	22	13	12	12	13	14
4,5	32	23	16	24	16	17
9,0	37	23	26	23	19	15
	Zinco nos caules (ppm de Zn)					
0	21	18	20	17	16	14
4,5	41	24	26	24	16	27
9,0	79	42	37	25	24	18
	Zinco nas raízes (ppm de Zn)					
0	43	37	97	35	45	35
4,5	55	55	54	38	45	75
9,0	39	50	87	34	71	62

DMS	5 %	1 %
Folhas	9	10
Caules	16	18
Raízes	32	37

QUADRO 7 - Efeito de diferentes doses de calagem, fósforo e zinco, no conteúdo de zinco em folhas, caules e raízes de milho, no Solo Bruno Ácido (similar). Médias de três repetições.

Zinco aplicado (ppm)	Fósforo aplicado (ppm)					
	sem calagem			com calagem		
	0	300	600	0	300	600
	Zinco nas folhas (ppm de Zn)					
0	29	18	18	16	13	10
4,5	136	64	48	23	16	16
9,0	245	142	110	41	30	26
	Zinco nos caules (ppm de Zn)					
0	37	26	26	16	19	18
4,5	177	133	93	32	23	23
9,0	377	201	139	41	24	26
	Zinco nas raízes (ppm de Zn)					
0	25	36	48	36	34	31
4,5	73	69	62	18	43	36
9,0	141	130	131	29	48	49

DMS	5 %	1 %
Folhas	34	39
Caules	46	54
Raízes	31	37

QUADRO 8 - Análises de variância do teor de zinco em folhas, caules e raízes de milho (quadra dos médios), no Latosol Roxo e no Solo Bruno Ácido (similar).

Fonte de Variação	G.L.	Latosol Roxo			Solo Bruno Ácido (similar)		
		Folhas	Caules	Raízes	Folhas	Caules	Raízes
Zinco	2	428,6 **	1818,6 **	329,0	30293,8 **	55838,1 **	13335,9 **
Fósforo	2	360,2 **	712,3 **	3536,2 **	9631,7 **	16813,1 **	220,2
Calagem	1	450,7 **	2744,9 **	1005,3 **	64204,5 **	162361,0 **	25393,3 **
Interações:							
Zn x P	4	23,5 *	260,5 **	291,5 *	1837,9 **	6329,3 **	57,5
Zn x Cal.	2	53,7 **	881,1 **	517,3 *	17609,1 **	43568,7 **	9166,9 **
P x Cal.	2	78,2 **	392,1 **	887,3 **	5958,0 **	12463,1 **	292,6
Zn x P x Cal.	4	25,4 *	182,7 **	1276,8 **	1374,8 **	4717,1 **	444,3 **
Erro	36	8,6	26,7	109,2	122,6	226,0	104,9
Total	53						
C. V. %		14,76	18,79	19,62	19,94	18,92	17,73

* - excede ao nível de probabilidade de 5%

** - excede ao nível de probabilidade de 1%

4.2.1. Teor de Zinco em Plantas, no Latosol Roxo

O teor de zinco em folhas e caules foi elevado pela aplicação do elemento na adubação, não tendo sido alterado significativamente nas raízes, embora apresentasse tendência de aumento (Quadros 6 e 8).

O teor mais elevado de zinco em raízes foi alcançado na ausência de calagem e zinco, com a aplicação de 1000 ppm de fósforo (Quadro 6). A aplicação de 4,5 ppm de Zn, para os mesmos níveis de fósforo e calagem, entretanto, aumentou significativamente a produção de raízes (Quadro 3). Os dados sugerem que, embora existisse elevado teor de zinco nas raízes, não havia bom aproveitamento do elemento pela planta.

O aumento do teor de zinco em folhas e caules, pela aplicação do elemento na adubação, foi maior na ausência de fósforo (Quadros 6 e 8). Por outro lado, a adição de zinco tende a aumentar mais o teor do elemento nas raízes, quando na presença de fósforo (Quadros 6 e 8), o que faz com que os teores mais elevados de zinco em folhas e caules sejam observados na ausência de adubação fosfatada, ocorrendo o inverso em relação às raízes (Quadro 6).

Estas observações sugerem que tenha ocorrido um acúmulo de zinco nas raízes, induzido pela adubação fosfatada, o que é confirmado pelo confronto dos dados dos quadros 3, 5, 6 e 8. A adubação fosfatada aumentou a produção de folhas, caules e raízes (Quadros 3 e 5) e diminuiu o teor de zinco de folhas e caules, porém aumentou o das raízes (Quadros 6 e 8).

O efeito negativo da calagem parece ocorrer através da redução do teor de zinco em todas as partes da planta aqui consideradas (Quadros 6 e 8), o que resultou em decréscimo na produção de folhas, caules e raízes, quando na ausência de zinco (Quadros 3 e 5). O aumento do teor de zinco, pela adubação com o elemento, foi maior na ausência de calagem (Quadros 6 e 8). Tanto a redução no teor de zinco em folhas e caules, como o aumento em raízes, induzidos pela adubação fosfatada, foram maiores na ausência de calagem (Quadros 6 e

8).

Os dados indicam que a maior parte do efeito depressivo da calagem ocorra antes da absorção de zinco pela planta, uma vez que o teor deste elemento foi reduzido tanto em folhas como em caules e raízes, ao ponto de limitar a produção, provavelmente por deficiência.

Estas observações não mostram que o cálcio tenha afetado a mobilidade de zinco na planta, conforme indicam A DRIANO et alii (1).

4.2.2. Teor de Zinco em Plantas, no Solo Bruno Ácido (similar)

A aplicação de zinco, na adubação, aumentou o teor do elemento em folhas, caules e raízes, sendo este efeito maior, em folhas e caules, na ausência de adubação fosfatada (Quadros 7 e 8). A produção de folhas, caules e raízes aumentou com a aplicação de fósforo (Quadros 4 e 5) enquanto o teor de zinco diminuiu em folhas e caules e não foi afetado nas raízes (Quadros 7 e 8). Isto evidencia um acúmulo relativo de zinco nas raízes, induzido pela adubação fosfatada, à semelhança do que foi encontrado para o Latosol Roxo.

O aumento do teor de zinco, pela adubação com o elemento, e a diminuição induzida pela adubação fosfatada, foram maiores na ausência de calagem (Quadros 7 e 8).

Também neste solo, a redução do teor de zinco em folhas, caules e raízes, pela aplicação de calagem (Quadros 7 e 8), indica que o efeito do tratamento, sobre a disponibilidade de zinco para as plantas, se manifestou antes da absorção.

Embora o efeito geral da calagem tenha sido de aumento de produção (Quadros 4 e 5), pode ser observado um decréscimo na matéria seca total, quando o tratamento foi aplicado na ausência de zinco (Quadro 4), provavelmente por redução do teor de zinco a valores abaixo do limite crítico.

É interessante notar no quadro 7 que, na ausência de calagem, os níveis de zinco alcançados em todas as partes da planta são bastante superiores aos verificados no Latosol

Roxo (Quadro 6). Como o solo em estudo apresenta apenas traços de cálcio (Quadro 2), conhecido inibidor da absorção de zinco (11, 13) e redutor da permutabilidade de zinco no solo (16), pH bastante baixo (Quadro 2), o que facilitaria ainda mais a disponibilidade do elemento (7, 26, 39, 41), acredita-se que os altos teores de zinco na planta sejam o resultado integrado da maior disponibilidade de zinco no solo, aliada à baixa inibição de absorção. A drástica redução nos teores de zinco pela calagem corrobora a suposição (Quadro 7).

4.3. Estabelecimento de Níveis Críticos Para Zinco, Relação P/Zn e Relação Ca/Zn, nas Folhas

Na determinação de níveis críticos é necessário que o nutriente estudado seja o único a limitar a produção e que todos os demais estejam em nível "adequado". Procurando satisfazer a esta condição na determinação de níveis críticos para zinco, relação P/Zn e relação Ca/Zn, foram selecionados apenas os dados dos tratamentos que receberam fósforo, no Latosol Roxo, e fósforo com calagem, no Solo Bruno Ácido (similar). Estes dados são apresentados no quadro 6A. As produções de matéria seca total dos quadros 3 e 4 foram transformadas em produções relativas. Para o cálculo da relação P/Zn foram usados os teores de fósforo na folha, dos quadros 2A e 3A, e os teores de zinco na folha, dos quadros 6 e 7. Para o cálculo da relação Ca/Zn foram tomados os dados de zinco na folha, dos quadros 6 e 7, e os teores de cálcio na folha, dos quadros 4A e 5A. Com dados do quadro 6A foi elaborado o gráfico da figura 1 e encontrado o nível crítico de 14,5 ppm para zinco nas folhas.

Nos dois experimentos, o exame dos teores de zinco na folha (Quadros 6 e 7) permite constatar que o nível de 14 ppm de Zn ou menos só foi alcançado quando se aplicou a adubação fosfatada e/ou a calagem. Esta observação suporta a afirmativa de que, nesses experimentos, a adubação fosfatada e/ou a calagem reduziram o teor de zinco a limites críticos para a produção.

Nos dois solos, entretanto, o tratamento de 4,5ppm

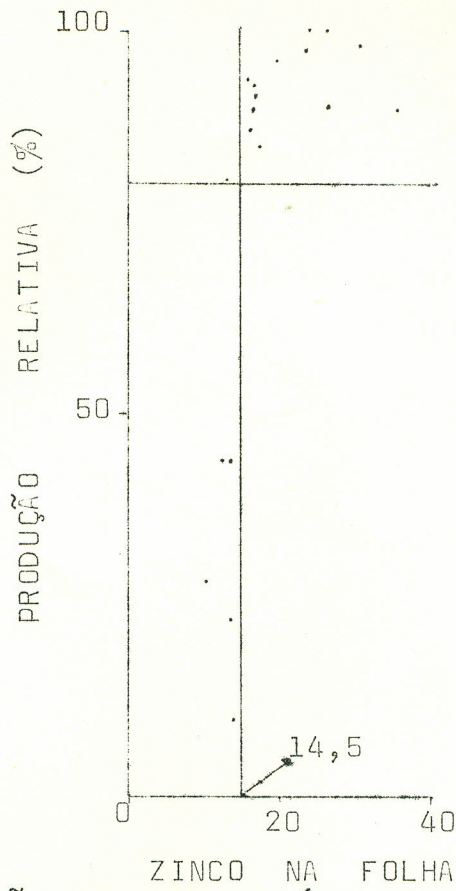


FIGURA 1 - Produção relativa e nível de zinco na folha.

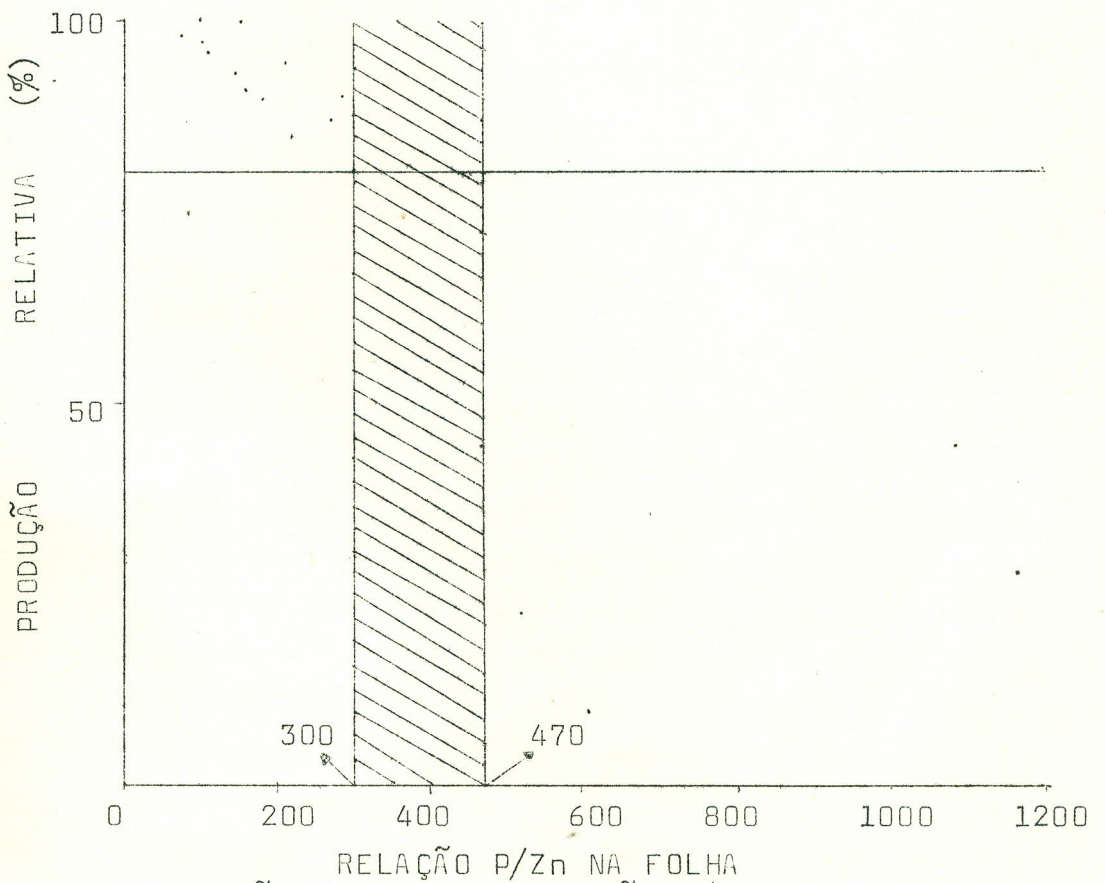


FIGURA 2 - Produção relativa e relação P/Zn na folha.

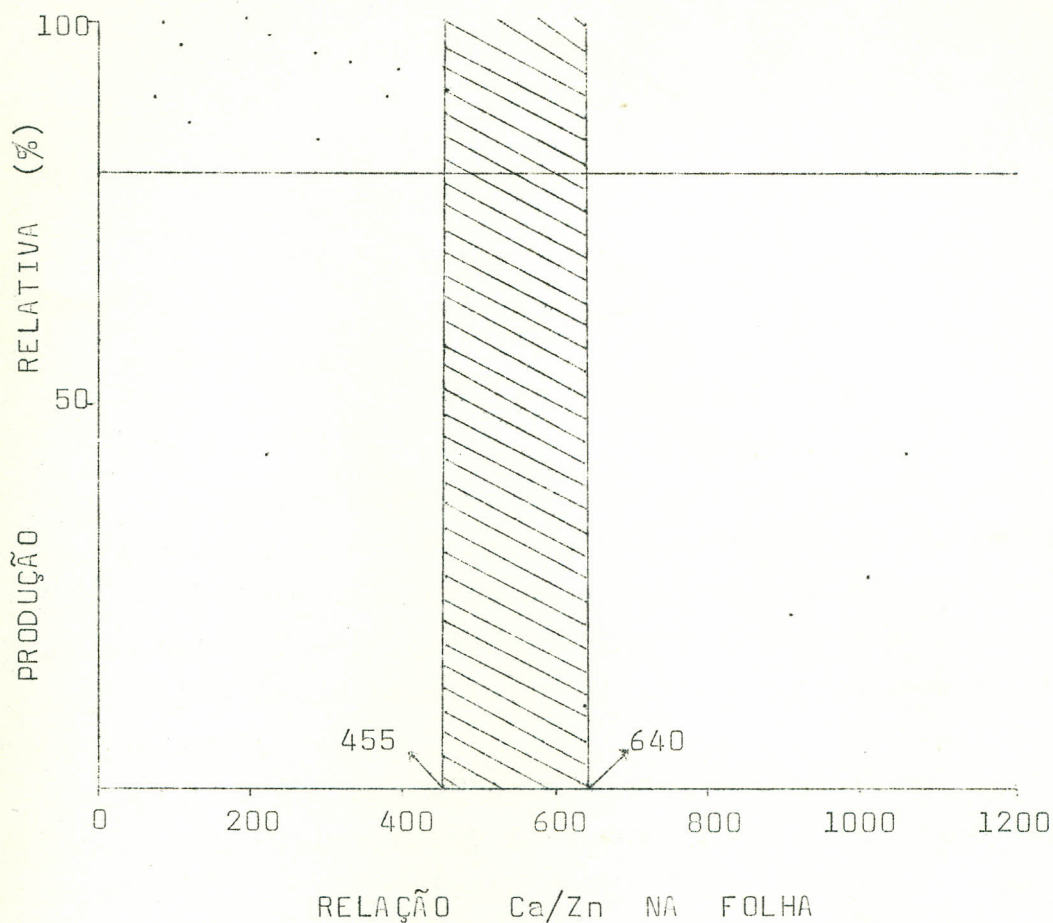


FIGURA 3 - Produção relativa e relação Ca/Zn na folha.

de zinco foi suficiente para elevar o teor do elemento nas folhas a valores acima do limite crítico (Quadros 6 e 7), aumentando também a produção, anteriormente limitada por deficiência de zinco (Quadros 3 e 4).

Nas figuras 2 e 3, também baseadas em dados do quadro 6A, procura-se determinar, respectivamente, os limites críticos para as relações P/Zn e Ca/Zn nas folhas. O número reduzido de observações não permitiu o estabelecimento preciso da relação crítica P/Zn, que deve situar-se, pela figura 2, entre 300 e 470. Segundo STUKENHOLTZ *et alii* (36) têm sido verificados, em experimentos de estufa, valores entre 10 e 400, sem depressão na produção. O limite superior (400) encontra-se na faixa determinada nesses experimentos.

Finalmente, parece existir, também, como indica a figura 3, uma relação crítica Ca/Zn, situada entre 455 e 640.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de identificar relações entre a adubação fosfatada e a calagem, com o zinco, na nutrição de milho, foram montados dois experimentos, em estufa, o primeiro em um solo classificado como Latosol Roxo e o segundo em um Solo Bruno Ácido (similar), ambos plantados com milho híbrido 'Ag 206'.

O delineamento usado foi um fatorial $2 \times 3 \times 3$, inteiramente casualizado, em quatro repetições, composto pela combinação de dois níveis de calagem (ausência e quantidade suficiente para elevar o pH a 6,5), três níveis de fósforo (zero, meia e uma vez a capacidade máxima de adsorção de fosatos de cada solo, pela isoterma de Langmuir) e três níveis de zinco (zero, 4,5 e 9,0 ppm de Zn).

Foram estudados a produção de matéria seca e o nível de zinco em folhas, caules e raízes, bem como as relações P/Zn e Ca/Zn na folha.

Nestas condições, tanto a adubação fosfatada como a calagem diminuíram o teor de zinco das folhas de milho, tendo sido alcançados níveis iguais ou inferiores a 14 ppm, valor inferior ao nível crítico para a obtenção de colheitas superiores a 80% das produções máximas dos experimentos. A aplicação de 4,5 ppm de zinco ao solo foi suficiente para que o nível do elemento na folha fosse elevado acima do nível crítico, elevando também a produção, quando anteriormente limitada por deficiência de zinco.

A interação entre fósforo e zinco, na planta, ocorreu principalmente nas raízes, reduzindo a translocação de zinco para as folhas.

A interação entre a calagem e o zinco verificou-se, principalmente, antes da absorção de zinco pela planta. ||

Parecem existir, nas folhas, relações críticas para o crescimento entre fósforo e zinco, e entre cálcio e zinco. A relação crítica P/Zn situou-se entre 300 e 470 e a relação crítica Ca/Zn, entre 455 e 640.

6. LITERATURA CITADA

- (1) ADRIANO, D.C., PAULSEN, G.M. & MURPHY, L.S. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationships in corn (Zea mays L.) seedlings as affected by mineral nutrition. Agron. J., Madison, 63:31-39. 1971.
- (2) BAHIA, F., MAGNAVACA, R., SANTOS, H.L., SILVA, J., BAHIA F^o., A.F.C., FRANÇA, G.E., MURAD, A.M., MACEDO, A. A., & SILVA, T. Ensaio de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio na cultura do milho, em Minas Gerais. I. Análise pela Lei de Mitscherlich. Pesq. Agropec. Bras., 1973. (no prelo). 87:231-238. 1973
- (3) BINGHAM, F.T. Relation between phosphorus and micronutrients in plants. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 26:389-391. 1963.
- (4) BOAWN, L.C. & BROWN, J.C. Further evidence for a P-Zn imbalance in plants. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 32:94-97. 1968.
- (5) _____ & LEGGET, G.E. Phosphorus and zinc concentrations in Russet Burbank potato tissue in relation to development of zinc deficiency symptoms. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 28:229-232. 1964.
- (6) _____, VIETS Jr., F.G. & CRAWFORD, C.L. Plant utilization of zinc from various types of zinc compounds and fertilizer materials. Soil Science, Baltimore, 83:219-227. 1957.
- (7) _____, _____, _____ & NELSON, J. L. Effect of nitrogen carrier, nitrogen rate, zinc

rate and soil pH on zinc uptake by sorghum, potatoes and sugar beets. Soil Science, Baltimore, 90:329-337. 1960.

- (8) BURLESON, C.A., DACUS, A.D. & GERARD, C.J. The effect of phosphorus fertilization on the zinc nutrition of several irrigated crops. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 25:365-368. 1961.
- (9) _____ & PAGE, N.R. Phosphorus and zinc interactions in flax. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 31: 510-513. 1967.
- (10) CATE, R.B. & NELSON, L.A. Um método rápido para correlação de análise de solos com dados de reações das plantas. North Carolina Sta. Univ. Raleigh, 1965. 13 p. (Int. Soil Testing Program. Bull nº 1).
- (11) CHAUDRY, F.M. & LONERAGAN, J.F. Zinc absorption by wheat seedlings: I. Inhibition by macronutrient ions in shortterm experiments and its relevance to long-term zinc nutrition. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 36:323-327. 1972.
- (12) _____ & _____ Zinc absorption by wheat seedlings: II. Inhibition by hydrogen ions and by micronutrient cations. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 36:327-331, 1972.
- (13) _____ & _____ Zinc absorption by wheat seedlings and the nature of its inhibition by alkaline earth cations. J. Exp. Bot., London, 23:552-560. 1972.
- (14) COMISSÃO DE SOLOS. Levantamento de reconhecimento dos solos da região sob influência do reservatório de Furnas. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 1962. 462p. (Bol. Tec. nº 13).
- (15) ELLIS Jr., R., DAVIS, J.F. & THURLOW, D.L. Zinc availability in calcareous Michigan soils as influenced by phosphorus level and temperature. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 28:83-86. 1964.

- (16) EPSTEIN, E. & STOUT, P.R. The micronutrient cations iron, manganese, zinc and copper: their uptake by plants from the adsorbed state. Soil Science, Baltimore, 72: 47-65, 1951.
- (17) FASSBENDER, H.W. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. Fitotecnia Latino-americana, Turrialba, 3: 203-216. 1966.
- (18) GANIRON, R.B., ADRIANO, D.C., PAULSEN, G.M. & MURPHY, L. S. Effect of phosphorus carriers and zinc sources on phosphorus-zinc interaction in corn. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 33:306-309. 1969.
- (19) GOMES, F.P. Curso de Estatística Experimental. 3ª ed, Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1966. 404 p.
- (20) IBM. International Business Machines Corporation, 1130, Statistical System (1130-CA-06X) User's Manual. 2ª ed. New York, 1967. 118 p.
- (21) ISAAC, R.A. & KERBER, J.D. Atomic absorption and flame photometry: techniques and uses in soil, plant and water analysis. In Walsh, L.M., ed. Instrumental Methods for Analysis of Soils and Plant Tissue, Madison, Soil Science Society of America Inc. 1971. p. 17 - 37.
- (22) KALIANASUNDARAM, N.K. & MEHTA, B.V. Availability of zinc, phosphorus and calcium in soils treated with varying levels of zinc and phosphate - a soil incubation study Plant and Soil, Netherlands, 33:699-706. 1970.
- (23) KEEFER, R.F. & SINGH, R.N. The mechanism of P and Zn interaction in soils as revealed by corn growth and composition. Int. Congr. Soil Sci. Trans. 9 th, Adelaide, 1968, Vol. II. p. 367-374.
- (24) KHAN, D.H. Response of sweet corn and rice to phosphorus, zinc and calcium carbonate on acid Glenview soil of California. Soil Science, Baltimore, 108:424 - 428. 1969.

- (25) LANGIN, E.J., WARD, R.C., OLSON, R.A. & RHOADES, H. F. Factors responsible for poor response of corn and grain sorghum to phosphorus fertilization: II Lime and P placement effects on P - Zn relations. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 26:574-578. 1962.
- (26) LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In Mortvedt, J.J., Giordano, P.M. & Lindsay, W.L., ed. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America Inc., 1972. p. 41-57.
- (27) MARINHO, M.L. & IGUE, K. Factors affecting zinc absorption by corn from volcanic ash soils. Agron. J., Madison, 64: 3 - 8. 1972.
- (28) MELTON, J.R., ELLIS, B.G. & DOLL, E.C. Zinc, phosphorus and lime interactions with yield and zinc uptake by Phaseolus vulgaris. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 34:91-93. 1970.
- (29) MILLIKAN, C.R. Effects of different levels of zinc and phosphorus on the growth of subterranean clover (Trifolium subterraneum L.). Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 14:180-205, 1963.
- (30) OLSEN, S.R. Micronutrient interactions. In Mortvedt, J. J., Giordano, P.M. & Lindsay, W.L. ed. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America Inc., 1972. p. 243-264.
- (31) PAULI, A.W., ELLIS Jr., R. & MOSER, H.C. Zinc uptake and translocation as influenced by phosphorus and calcium carbonate. Agron. J., Madison, 60:394-396. 1968.
- (32) PROGRAMA INTEGRADO DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações do Uso de Fertilizantes Para o Estado de Minas Gerais. 2ª tentativa. Belo Horizonte, Secretaria de Estado da Agricultura de Minas Gerais. 1972. 88 p.
- (33) RUDGERS, L.A., DEMETRIO, J.L., PAULSEN, G.M. & ELLIS, Jr., R. Interaction among atrazin, temperature and P induced zinc deficiency in corn (Zea mays L.). Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 34:240-244. 1970.

- (34) SHUKLA, V.C. & MORRIS, H.D. Relative efficiency of several zinc sources for corn. Agron. J., Madison, 59: 200-202. 1967.
- (35) SOLTANPOUR, P.N. Effect of nitrogen, phosphorus and zinc placement on yield and composition of potatoes. Agron.J., Madison, 61:288-289. 1969.
- (36) STUKENHOLTZ, D.D., OLSEN, R.J., GOGAN, G. & OLSON, R.A. On the mechanism of phosphorus-zinc interaction in corn nutrition. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 30:759-763. 1966.
- (37) THORNE, W. Zinc deficiency and its control. Advances in Agronomy, Michigan, 9:31-61. 1957.
- (38) VIETS Jr., F.G., BOAWN, L.C. & CRAWFORD, C.L. Zinc contents and deficiency symptoms of 26 crops grown on a zinc-deficient soil. Soil Science, Baltimore, 78:305-316. 1954.
- (39) _____, _____ & _____ The effect of nitrogen and types of nitrogen carrier on plant uptake of indigenous and applied Zn. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 21:197-201. 1957.
- (40) WARNOCK, R.E. Micronutrient uptake and mobility within corn plants (Zea mays L.) in relation to phosphorus induced zinc deficiency. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 34:765-769. 1970.
- (41) WEAR, J.I. Effect of soil pH and calcium on uptake of zinc by plants. Soil Science, Baltimore, 81:311-315. 1956.

7. APÊNDICE

QUADRO 1A - Quantidades aplicadas por vaso e por tratamento, das fontes de nitrogênio, fósforo e potássio.

Tratamentos		NH ₄ H ₂ PO ₄			KH ₂ PO ₄			KNO ₃			Totais/vaso		
ppm de P	mg P/ vaso	mg/ vaso	mg P/ vaso	mg N/ vaso	mg/ vaso	mg p/ vaso	mg K/ vaso	mg/ vaso	mg N/ vaso	mg K/ vaso	mg N	mg P	mg K
0	0	0	0	0	0	0	0	4892	678	1892	678	0	1892
300	900	1672	451	203	1973	449	567	3427	475	1325	678	900	1892
500	1500	2787	751	339	3288	748	945	2446	339	946	678	1499	1891
600	1800	3344	901	407	3946	898	1134	1955	271	756	678	1799	1890
1000	3000	5574	1503	678	6576	1497	1889	0	0	0	678	3000	1889

QUADRO 2A - Efeito de diferentes doses de calagem, fósforo e zinco no conteúdo de fósforo em folhas, caules e raízes de milho, no Latosol Roxo. Médias de três repetições.

Zinco aplicado (ppm)	Fósforo aplicado (ppm)					
	0	500	1000	0	500	1000
	sem calagem			com calagem		
Fósforo nas folhas (% de P)						
0	0,102	0,392	1,301	0,098	0,674	0,853
4,5	0,092	0,227	0,492	0,101	0,254	0,374
9,0	0,099	0,240	0,448	0,103	0,207	0,317
Fósforo nos caules (% de P)						
0	0,106	0,297	0,925	0,091	0,500	1,082
4,5	0,105	0,225	0,534	0,110	0,218	0,344
9,0	0,108	0,209	0,382	0,101	0,222	0,299
Fósforo nas raízes (% de P)						
0	0,080	0,314	0,487	0,086	0,184	0,279
4,5	0,066	0,227	0,432	0,101	0,206	0,348
9,0	0,065	0,237	0,429	0,084	0,284	0,312

DMS	5 %	1 %
Folhas	0,228	0,265
Caules	0,115	0,134
Raízes	0,095	0,110

QUADRO 3A - Efeito de diferentes doses de calagem, fósforo e zinco, no conteúdo de fósforo em folhas, caules e raízes de milho, no Solo Bruno Ácido (similar). Médias de três repetições.

Zinco aplicado (ppm)	Fósforo aplicado (ppm)					
	sem calagem			com calagem		
	0	300	600	0	300	600
	Fósforo nas folhas (% de P)					
0	0,075	0,338	1,063	0,076	0,613	1,167
4,5	0,093	0,309	1,130	0,071	0,234	0,452
9,0	0,092	0,323	1,102	0,081	0,227	0,395
	Fósforo nos caules (% de P)					
0	0,098	0,350	0,880	0,097	0,421	1,039
4,5	0,108	0,320	0,973	0,099	0,247	0,417
9,0	0,097	0,314	1,014	0,103	0,230	0,357
	Fósforo nas raízes (% de P)					
0	0,060	0,247	0,402	0,060	0,221	0,347
4,5	0,065	0,234	0,414	0,053	0,182	0,292
9,0	0,060	0,245	0,514	0,051	0,180	0,305

DMS	5 %	1 %
Folhas	0,259	0,302
Caules	0,257	0,299
Raízes	0,087	0,102

QUADRO 4A - Efeito de diferentes doses de calagem, fósforo e zinco, no conteúdo de cálcio em folhas, caules e raízes de milho, no Latosol Roxo. Médias de três repetições.

Zinco aplicado (ppm)	Fósforo aplicado (ppm)					
	0	500	1000	0	500	1000
	sem calagem			com calagem		
	Cálcio nas folhas (% de Ca)					
0	0,539	0,306	0,258	1,096	1,176	0,896
4,5	0,511	0,204	0,190	0,872	0,728	0,496
9,0	0,491	0,246	0,194	0,808	0,536	0,504
	Cálcio nos caules (% de Ca)					
0	0,296	0,150	0,073	0,616	0,536	0,258
4,5	0,282	0,132	0,102	0,664	0,330	0,230
9,0	0,330	0,156	0,097	0,568	0,371	0,270
	Cálcio nas raízes (% de Ca)					
0	0,212	0,132	0,138	0,688	0,712	0,435
4,5	0,218	0,084	0,094	0,616	0,371	0,288
9,0	0,234	0,124	0,150	0,608	0,308	0,244

DMS	5 %	1 %
Folhas	0,204	0,238
Caules	0,096	0,111
Raízes	0,106	0,124

QUADRO 5A - Efeito de diferentes doses de calagem, fósforo e zinco, no conteúdo de cálcio em folhas, caules e raízes de milho, no Solo Bruno Ácido (similar). Médias de três repetições.

Zinco aplicado (ppm)	Fósforo aplicado (ppm)					
	sem calagem			com calagem		
	0	300	600	0	300	600
	Cálcio nas folhas (% de Ca)					
0	0,355	0,198	0,148	1,208	1,371	1,008
4,5	0,320	0,178	0,130	1,064	0,632	0,608
9,0	0,346	0,190	0,144	1,112	0,680	0,512
	Cálcio nos caules (% de Ca)					
0	0,214	0,092	0,070	1,216	0,888	0,840
4,5	0,222	0,095	0,113	1,016	0,576	0,512
9,0	0,214	0,174	0,097	0,872	0,532	0,488
	Cálcio nas raízes (% de Ca)					
0	0,105	0,064	0,075	1,096	1,120	1,184
4,5	0,117	0,086	0,065	1,056	0,600	0,445
9,0	0,088	0,076	0,060	0,880	0,664	0,512

DMS	5 %	1 %
Folhas	0,185	0,215
Caules	0,191	0,222
Raízes	0,188	0,218

QUADRO 6A - Tratamentos selecionados para a determinação dos níveis críticos, com as respectivas produções relativas de matéria seca total e teores de Zn, relações P/Zn e relações Ca/Zn nas folhas.

		Tratamentos		P R %	Zn	P/Zn	Ca/Zn
		P (ppm)	Zn (ppm)		(ppm)		
Latosol Roxo	sem calagem	500	0	80	13	301	235
		500	4,5	180	23	99	89
		500	9,0	97	23	104	107
		1000	0	44	12	1084	215
		1000	4,5	87	16	270	119
		1000	9,0	90	26	172	75
	com calagem	500	0	23	13	518	904
		500	4,5	91	16	159	455
		500	9,0	96	19	109	282
		1000	0	10	14	609	640
		1000	4,5	85	17	220	292
		1000	9,0	94	15	211	336
Solo Bruno Ácido (s)	com calagem	300	0	44	13	471	1055
		300	4,5	93	16	146	395
		300	9,0	98	30	76	227
		600	0	28	10	1167	1008
		600	4,5	90	16	283	380
		600	9,0	100	26	152	197