

INFLUÊNCIA DO FÓSFORO E SESQUIÓXIDOS LIVRES NA ABSORÇÃO DE  $^{65}\text{Zn}$   
POR MILHO EM SOLOS TROPICAIS

Tese de Grau de *Magister Scientiae*

*Murilo Lins Marinho*

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIÊNCIAS AGRÍCOLAS DA OEA  
Centro de Ensino e Pesquisa  
Departamento de Fitotecnia e Solos  
Turrialba, Costa Rica  
Agosto, 1970

INFLUÊNCIA DO FÓSFORO E SESQUIÓXIDOS LIVRES NA ABSORÇÃO  
DE <sup>65</sup>Zn POR MILHO EM SOLOS TROPICAIS

Tese

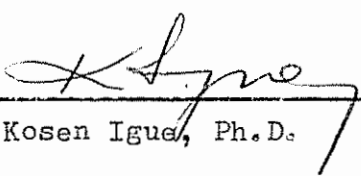
Apresentada ao Conselho da Escola para Graduados  
como requisito parcial para obter o grau de

Magister Scientiae


no

Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA

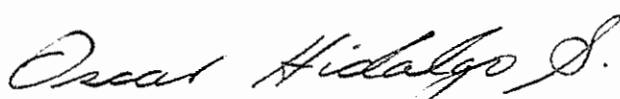
APROVADA:

  
Kosen Igue, Ph.D.

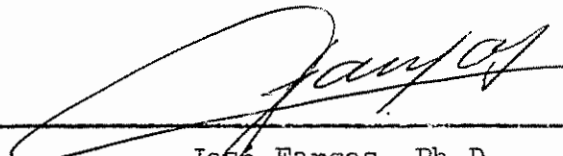
Conselheiro

  
Gilberto Páez, Ph.D.

Comité

  
Oscar Hidalgo-Salvatierra, Ph.D.

Comité

  
José Fargas, Ph.D.

Comité

Agosto, 1970

À memória do meu pai

À minha mãe

Aos meus irmãos e sobrinhos

À minha esposa Nildes

À minha filha Larissa.

## AGRADECIMENTOS

O autor deixa patente os seus maiores agradecimentos ao Dr. Kosen Igue, Conselheiro Principal por seu constante apoio e orientação na execução da presente pesquisa.

Ao Dr. Gilberto Páez por seus conselhos e sugestões que permitiram melhorar sensivelmente os resultados e apresentação deste estudo.

Aos demais membros do Comitê, Dr. Hidalgo-Salvatierra e Dr. José Fargas pelas sugestões apresentadas na revisão dos originais.

Ao Dr. Elemer Bornemisza ex-Conselheiro, pelo estímulo e orientação nos primeiros passos deste trabalho. Ao Dr. Hans Fassbender ex-membro do Comitê, pelas oportunas sugestões.

Ao Eng. Agron. Raul Fuentes, por seus valiosos conselhos nos trabalhos de laboratório. Ao colega Walther Arno Schneider pela cuidadosa revisão dos originais.

Ao Eng. Agron. Carlos López G., professor da Universidade de Costa Rica, pela ajuda na localização dos solos estudados.

Aos colegas e amigos que com seu estímulo e apoio facilitaram a realização desta tese.

À Direção do Programa de Energia Nuclear (NEP) por permitir usar seus laboratórios e materiais.

Ao Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA e a Fundação Zoobotânica do Distrito Federal, pela oportunidade da concretização deste curso.

## BIOGRAFIA

O autor, de nacionalidade brasileira, nasceu no dia 2 de janeiro de 1939 no município de Muricí, Estado de Alagoas.

Realizou seus estudos Universitários na Escola Superior de Agricultura da Universidade Rural de Pernambuco, obtendo o título de Engenheiro Agrônomo no ano de 1963.

Ainda como estudante, em 1963, foi estagiário na Seção de Estatística Experimental e Planejamento do Instituto de Pesquisas de Pernambuco.

Em 1964, foi contratado pela Secretaria de Agricultura Indústria e Comércio de Alagoas, onde desempenhou as funções de: Diretor Técnico da Companhia Progresso Agrícola de Alagoas (5/1964-4/1966); Executor do Convênio Sudene/Estado de Alagoas para o Desenvolvimento da Cultura Algodoeira (4/1966-3/1968); Componente do Conselho Rodoviário do Departamento de Estradas de Rodagem de Alagoas (4/1966-3/1968).

Em março de 1968 foi contratado pela Fundação Zoobotânica do Distrito Federal, para servir no Setor de Solos do Departamento de Pesquisa e Experimentação.

Ingressou na Escola para Graduados do Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA em outubro de 1968, finalizando seus estudos em agosto de 1970.

## CONTEÚDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Conteúdo de zinco total no solo .....	3
2.2. Zinco disponível e sua avaliação .....	4
2.3. Fatores que afetam a disponibilidade do zinco .	6
2.3.1. Influência da acidez do solo .....	7
2.3.2. Influência da matéria orgânica .....	9
2.3.3. Influência das argilas .....	12
2.3.4. Influência do fósforo .....	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	18
3.1. Características dos solos utilizados .....	18
3.2. Procedimento analítico .....	20
3.2.1. Análise de solos .....	20
3.2.2. Análise do tecido vegetal .....	26
3.3. Estudo em casa de vegetação .....	29
3.3.1. Delineamento experimental .....	30
3.3.2. Dados obtidos .....	33
3.4. Análise estatística .....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
4.1. Teores de Zn no solo .....	35
4.2. Dados obtidos do ensaio biológico .....	38
4.2.1. Produção de matéria seca .....	39
4.2.2. Absorção de Zn .....	41
4.2.3. Valor "L" .....	45
4.2.4. Absorção de outros elementos .....	51
4.3. Interpretação final .....	53
5. CONCLUSÕES .....	63
6. RESUMO .....	65
6a. SUMMARY .....	67
7. LITERATURA CITADA .....	69
APÊNDICE .....	80

## RELAÇÃO DE QUADROS

Quadro Nº		<u>Página</u>
1	Características químicas e físicas dos 3 solos estudados .....	19
2	Efeito do Zn e P aplicados sobre o peso seco, absorção e concentração de Zn nos 3 solos (médias de 3 repetições) .....	38
3	Coefficientes de correlações lineares obtidos entre todos os tratamentos do ensaio biológico e os equivalentes do ensaio químico .....	55
4	Coefficientes de correlações obtidos entre tratamentos do ensaio biológico com doses de Zn de 7,5 e 15 kg/ha e os tratamentos equivalentes do ensaio químico .....	56

## LISTA DE FIGURAS

Figura Nº		<u>Página</u>
1	Zinco extraído por EDTA 0,01 M e HCl 0,1 N em função de: a) doses de P; b) teor de $R_2O_3$ e c) doses de Zn aplicadas .....	36
2	Efeito de fósforo, $R_2O_3$ livres e zinco sobre a produção de matéria orgânica .....	40
3	Efeito e P aplicado sobre a absorção total de Zn e concentrações de Zn e P em plantas nos 3 solos, com aplicação de 7,5 kg/ha de Zn ...	42
4	Absorção total de zinco e concentrações de zinco e fósforo nas plantas em função de doses de Zn aplicadas nos 3 solos .....	43
5	Zn total e extraível com HCl e EDTA e o valor "L" calculado para os 3 solos .....	46
6	Zinco total absorvido do fertilizante e do solo em função de fósforo aplicado nos 3 solos.	48
7	Valor "L" calculado para os 3 solos em função de doses de fósforo e de zinco aplicadas ....	49
8	Retenção de zinco no solo alto em sesquióxidos (solo), em função do tempo de agitação ..	60



## 1. INTRODUÇÃO

O zinco como um dos elementos essenciais para as plantas, representa um papel muito importante na nutrição dos cultivos. Apesar de ser utilizado em pequenas quantidades pelos vegetais a sua falta ou deficiência provoca uma série de distúrbios fisiológicos e nutricionais.

Deficiências de Zn são frequentemente observadas em plantas cultivadas em várias partes do mundo e em variados tipos de solos. A falta deste elemento é explicada devido às pequenas quantidades de Zn total encontradas nos solos, bem como, devido a baixa disponibilidade para as plantas do Zn presente.

Dentre os fatores que contribuem para a indisponibilidade do Zn destacam-se, a reação do solo, conteúdo de matéria orgânica, quantidades e tipos de argila presente e concentração de fosfatos no solo.

Os trabalhos existentes acerca da influência da concentração de fósforo no solo, não esclarecem totalmente quais as propriedades do solo que favorecem a interação entre Zn e P, o mecanismo das reações, como também a importância do fenômeno em relação ao fornecimento de zinco para os cultivos.

No caso particular dos solos tropicais são inúmeras as informações existentes sobre a deficiência de Zn, explicada em parte pela pobreza deste elemento em grande parte dos minerais que originaram estes solos, pelo alto grau de meteorização e maiores perdas por lixiviação nos trópicos úmidos. Por outro lado, o alto conteúdo de sesquióxidos de Fe e Al presentes na maioria dos solos

tropicais, juntamente com a pobreza em P disponível para as plantas e a alta capacidade de fixação de P, implica em fertilizações massivas de P que poderia ser um fator importante na disponibilidade de Zn.

Apesar da importância que representa a deficiência de Zn, são escassos os estudos sobre o comportamento do Zn em solos tropicais, sobre métodos de análises químicas que melhor indiquem o estado de disponibilidade e sobre o aproveitamento do Zn usado em forma de fertilizantes no solo.

Os principais objetivos deste estudo são:

- 1) Obter informações sobre o comportamento do Zn do solo e aplicado como fertilizante em solos tropicais, classificados como deficientes em Zn.
- 2) Determinar o efeito de concentrações de fósforo e do teor de sesquióxidos livres de Fe e Al, na disponibilidade de Zn.
- 3) Correlacionar métodos de análises químicas para Zn disponível no solo, com as quantidades extraídas pelas plantas e com o valor "L" (Larsen).
- 4) Observar o comportamento do valor "L" com relação a doses de Zn e P.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Conteúdo de zinco total no solo.

O conteúdo de Zn total nos solos é relativamente baixo em comparação com outros nutrientes. Encontra-se em quantidades que variam entre 10 a 300 ppm (81, 111). Em solos tropicais, Kanehiro e Sherman (58) obtiveram valores entre 51 e 288 ppm em 19 solos de Hawái, enquanto Malovic e Pinta (86), em solos de Madagascar, encontraram valores superiores a 280 ppm. Em solos alcalinos da Índia Ocidental, Nair e Mehta (85) encontraram teores entre 20 e 95 ppm com uma média de 60 ppm. Navrot e Ravinovitch (87) estudando 21 solos calcáreos de Israel encontraram teores entre 40 e 142 para Zn total. Bradford e colaboradores (18) relatam que em 48 solos de Califórnia, 26 apresentaram teores de Zn total acima de 80 ppm e limites entre 28 e 173 ppm. Stanton e Burger (102), em 44 perfis em África do Sul, encontraram para Zn total valores entre 5,5 e 25,6 ppm com uma média de 11,2 ppm.

O zinco se encontra nos solos em minerais primários, adsorvido no complexo de troca do solo em forma de cationes divalentes, em combinações orgânicas, solúvel em água, e numa fração relativamente insolúvel composta por fosfatos, hidróxidos, carbonatos e silicatos com pH ligeiramente ácido a alcalino (81, 114).

Em muitas rochas básicas o conteúdo de Zn total varia entre 100 e 200 ppm, e em casos de rochas ácidas estes teores podem estar abaixo de 50 ppm (81). Thorne (110) estudando 69 solos de Utah

encontrou valores altos para Zn total, variando entre 285 e 871 ppm para rochas calcáreas, graníticas, quartzíticas e gneiss; as quantidades de Zn extraível por uma solução de KCl-HOAc nas rochas calcáreas foram insignificantes em comparação com as quantidades extraídas do granito, quartzitos e gneiss, o que leva a supor maior liberação de Zn durante os processos de intemperismo dessas últimas rochas. O teor de Zn solúvel em água em muitos solos encontra-se na ordem de partes por bilhão (114).

## 2.2. Zinco disponível e sua avaliação

Bradford (18) menciona trabalho efetuado por Trierweiler em 42 solos de Colorado no qual observou que 80 por cento desses solos com teores de Zn total abaixo de 80 ppm, deram resposta à aplicação de Zn. Outros autores (85, 112) encontraram correlações positivas entre Zn total no solo e quantidades absorvidas pelas plantas. Em solos de Hawaii (58) encontrou-se que as correlações entre Zn total e Zn absorvido por plantas de milho (Zea mays) foram evidenciadas em solos relativamente jovens e intemperizados, entretanto, resultaram nulas com oxissóis e ultissóis. Mitchell (81) se refere a diversos trabalhos que sugerem correlações entre Zn total e Zn disponível obtido com extratores químicos. Yoshida e Tanaka (122) encontraram baixas correlações entre Zn total e o Zn absorvido por arroz. Tisdale e Nelson (111) consideram que as quantidades de Zn total nos solos não constituem um critério seguro para avaliar sua disponibilidade para as plantas em virtude de uma variedade de

fatores que contribuem para torná-lo não aproveitável. Viets e Boawn (114) mencionam que Zn total no solo é de interêsse para avaliar as reservas dêste elemento nos solos ou para indicar áreas de extrema carência ou toxicidade, porém tem sido de pequeno valor para estimar "disponibilidade".

O uso de extratores químicos para avaliar o Zn disponível nos solos, tem demonstrado melhores correlações com o Zn absorvido pelas plantas (58, 87, 112, 114, 122).

A extração e determinação de Zn disponível nos solos é um problema complexo e tem merecido grande atenção de pesquisadores de zonas temperadas e tropicais (58, 77, 87, 96, 105, 112, 114, 117, 120, 122). Para extração de Zn disponível no solo, se usam frequentemente ácidos diluídos (11, 58, 77, 93, 96, 112, 114, 120), extratores orgânicos (21, 30, 46, 53, 87, 96, 98, 112, 114, 117, 120, 122) e sais (30, 77, 87, 96, 105).

Dentre os ácidos mais usados para extração de Zn, destaca-se o método com 0,1 N HCl (58, 93, 96, 112, 114, 120). Êste método tem sido utilizado frequentemente em solos tropicais com bons resultados (58, 96). Para Berger e Pratt (4) a extração de Zn com 0,1 N HCl em solos ácidos tem dado resultados úteis na diagnose de deficiência de Zn. Rubinstein (96) estudando 11 solos de Costa Rica encontrou que os métodos com 0,1 N HCl e EDTA dissódico a 1% apresentaram correlações mais altas que  $MgCl_2$  2N, com a concentração de Zn foliar cafeeiro (Coffea arabica L.). Em solos do Arizona, Martens (77) obteve melhor correlação entre Zn extraível com  $MgCl_2$  2N

( $r = 0,93$ ), que com  $0,1\text{ N HCl}$  ( $r = 0,297$ ). Stewart e Berger (105) em 42 solos de Wisconsin obtiveram as correlações  $r = 0,93$ ,  $r = 0,73$  e  $r = 0,63$  para  $2\text{N MgCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{ OAc}$  - Ditizona e  $0,1\text{ N HCl}$  respectivamente e absorção de Zn pelas plantas.

Os extratores orgânicos mais utilizados são, EDTA (30, 96, 112, 117, 120) e  $\text{NH}_4\text{ OAc}$  - Ditizona (21, 46, 53, 98, 112, 114, 122). Viets e Boawm (114) mencionam que os métodos de extração com  $\text{NH}_4\text{ OAc}$  - Ditizona e  $0,1\text{ N HCl}$  foram suficientemente calibrados com absorção das plantas. Recentemente o EDTA vem sendo utilizado devido a simplicidade da metodologia e bons resultados obtidos (96, 112). Além dos mencionados, existem vários outros extratores utilizados por diferentes pesquisadores, já revisados (22, 50).

### 2.3. Fatores que afetam a disponibilidade do zinco

Já se indicou acima que as deficiências de Zn em plantas ocorrem devido às pequenas quantidades totais deste elemento nos solos, bem como, devido a fatores que contribuem para sua baixa disponibilidade independente das quantidades totais de Zn presentes. Dentre os fatores destacam-se: a acidez do solo, conteúdo de matéria orgânica, tipo e porcentagem de argila e, concentração de fosfatos (76, 81, 111).

Chapman (22) menciona os seguintes seis tipos de solos onde comumente podem ocorrer deficiências de Zn:

- a. arenosos, lavados e ácidos, onde o teor Zn total é baixo;

- b. solos alcalinos, onde a disponibilidade de Zn é decrescida;
- c. solos derivados de granitos e gneiss;
- d. local previamente utilizado para curral de animais;
- e. alguns solos orgânicos onde o Zn é mantido em formas não facilmente disponível para as plantas;
- f. solos contendo argilas com baixa proporção Si/Mg, onde o Zn pode ser fixado em formas indisponíveis.

### 2.3.1. Influência da acidez do solo

Numerosos estudos indicam que o Zn é geralmente mais disponível em solos ácidos do que em aqueles alcalinos. Deficiências são notadas na maioria dos casos, com pH entre 6 e 8 (4). Yoshida e Tanaka (122) encontraram, em solos da Índia e Paquistão, que a disponibilidade de Zn para arroz era controlada pelo pH. Viets e colaboradores (116), Boawn et al (11) relatam que aplicação de diferentes fontes de N afetou a absorção de Zn por planta devido à mudança no pH do solo causada pelas formas de N aplicadas. Assim para  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$  que promoveu um pH mais baixo, resultou maior absorção; já o  $\text{NH}_4 \text{NO}_3$  resultou pH e absorção intermediárias enquanto que o  $\text{NaNO}_3$  resultou pH em torno de 7, causando uma menor absorção. A adição de Zn no solo aumentou a absorção de Zn a todo nível de pH, observando a mesma tendência anterior. Wear (119) adicionou  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e  $\text{CaSO}_4$  em um solo e encontrou que a absorção de Zn pelo sorgo (Sorghum vulgare L.) era influenciada pelo pH do solo e não pelo efeito do cálcio. O  $\text{CaSO}_4$  diminuiu o pH de 5,6 para

4,8 e aumentou a absorção de Zn e cálcio pela planta. Efeito contrário observou-se para aplicação de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . A aplicação de  $\text{CaCO}_3$  resultou na elevação de pH, aumento da absorção de cálcio e diminuição da absorção de Zn.

Jurinak e Bauer (55) usando técnica de diluição isotópica no estudo da adsorção de Zn por calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) e magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), encontraram que Zn foi adsorvido mais fortemente pela magnesita, em grau intermediário pela dolomita e menos fortemente pela calcita. Os resultados deste estudo indicaram que as reações entre Zn e calcita foram diferentes das reações com dolomita e magnesita, e evidenciaram que Zn é adsorvido na superfície do cristal da dolomita e magnesita em lugares ocupados normalmente por Mg, uma vez que os diâmetros iônicos são similares. Isto explica em parte a pequena disponibilidade de Zn em solos calcáreos especialmente dolomíticos, como também deficiências induzidas por calagem. Navrot e Ramikovitch (87) estudando 21 solos calcáreos de Israel relatam que houve uma relação inversa entre a absorção de Zn por plantas e a quantidade de  $\text{CaCO}_3$  do solo. Notaram também que a adsorção do Zn adicionado ao solo como  $\text{ZnSO}_4$ , decresceu com o tamanho de grânulos de  $\text{CaCO}_3$  existente no solo. Em solos tropicais severas deficiências de Zn foram associadas com pesadas calagens (40, 123), sendo esta uma das razões pelas quais se aconselha fazer calagens moderadas. Entretanto, em muitos solos o pH não controla a disponibilidade de Zn para as plantas. Em trabalhos realizados em 53 solos da California (111), 86% destes solos responderam à



aplicação de Zn quando tinham 0,55 ppm de Zn ou menos (extraídos com solução de ditizona), independente do pH, que variou de 4 a 8,3. Entre solos tropicais ácidos existem várias informações sobre deficiência de Zn (37, 41, 45, 51, 52, 58, 72, 74, 112), indicando mais bem um baixo teor de Zn total.

### 2.3.2. Influência da matéria orgânica

Deficiências de Zn foram observadas muitas vezes em solos com elevado conteúdo de matéria orgânica. Entretanto para muitos autores, as provas encontradas ainda não concluem que a matéria orgânica em si esteja envolvida na disponibilidade de Zn e que existem outros fatores relacionados (4, 22, 99, 108, 111). Thorne (109) indicou deficiências de Zn em pomares de Utah, relacionadas com adição de estêrco de curral ou em plantios feitos em antigos currais. Pratt e colaboradores em California (93), estudando as modificações químicas ocorridas em pomares de citrus tratados com vários níveis de estêrco durante 28 anos, não encontraram diferença entre tratamentos para Zn extraído com 0,1 N HCl. Houve um decréscimo para cobre solúvel, enquanto que o teor de matéria orgânica triplicou com a dose mais alta de estêrco.

Em solos orgânicos, ou em solos onde uma apreciável parte da capacidade de troca de cations (CTC) derive do complexo orgânico, a fração orgânica poderia ter maior influência na disponibilidade de Zn (99). Alguns autores (22, 108) sugerem que microrganismos do solo podem interferir na liberação de Zn em virtude de que em solos

deficientes, prévias fumigações e esterilizações causaram aumento na absorção de Zn pelas plantas. Isto parece ser devido ao aumento de Zn disponível proveniente de células mortas. Entretanto, em outros solos ocorreu o contrário (108). De Remer e Smith (27), em estudos de campo, encontraram diminuição de Zn disponível após incorporar ao solo resíduos de beterraba. Foi postulado que a decomposição do material orgânico e a microflora reduziram a disponibilidade de Zn.

Notou-se também que alfafa aumentou a absorção de Zn em cultivos associados ou em rotação seguida do plantio da alfafa (4, 22).

Hibbard (48), Delecour (29) encontraram que em solos sob florestas, a superfície contém mais Zn total e extraível que o subsolo, devido provavelmente à deposição de folhas e ramas. Isto pode ser um fator de deficiência de Zn em algumas plantas de raízes profundas. Müller (84) por exemplo, menciona que às vezes se encontram em plantas de café (Coffea arabica L.) deficiência de Zn não uniformemente distribuída, devido a disponibilidade variável deste elemento dentro do horizonte radicular. Baugman (3) encontrou em 2 solos estudados, que a existência de 2/3 do Zn total em um e quase metade de Zn total no outro solo, estava associada à presença de matéria orgânica. Indica também que a formação de agentes quelatantes é importante causa na fixação de Zn nos solos. Em teste de fixação de Zn nêstes 2 solos êste autor menciona que o Zn adicionado encontrou-se em 3 formas: Zn trocável extraído com acetato de amônio, Zn quelatado extraído com acetato de cobre e Zn fortemente

complexado, somente extraído com ditizona após oxidação da matéria orgânica com  $H_2O_2$ . Grandes quantidades de Zn foram retidas pelo solo com maior quantidade de matéria orgânica e quando se eliminou previamente a matéria orgânica, a diferença entre solos (do Zn retido), foi insignificante. Verificou-se também que o Zn fortemente complexado dependia do pH e foi totalmente recuperado a pH entre 2,5 a 3,0 e o mínimo de recuperação deu-se a pH 7. Misra e Tiware (82) estudando a fixação de Zn em solos da Índia, encontraram que após remoção da matéria orgânica, a porcentagem de Zn retida foi reduzida 87% em um solo vermelho com 0,33% de carbono orgânico, 24,1% em um solo negro com 0,85% de carbono orgânico e a zero em um solo alcalino com 0,26% de carbono orgânico. Quando os carbonatos foram removidos a retenção de Zn foi reduzida em, 0, 32,7 e 93,3% respectivamente para os solos vermelho, negro e alcalino. Entretanto as quantidades de Zn retidas foram muito superiores para o solo negro. A retenção de Zn duplicou com tratamento prévio com Ca no solo vermelho e manteve-se a mesma com tratamento  $H^+$ . Entretanto para os solos negros e alcalinos as quantidades de zinco retidas diminuíram para metade com os tratamentos cálcio e H. Os tratamentos utilizaram HCl e  $CaCl_2$  os quais acidificaram o solo, sendo esta uma das possíveis explicações para a menor fixação de Zn, mencionada também por Baugman (3). Entretanto o aumento de Zn retido pelo solo vermelho com o tratamento com Ca não foi suficientemente explicado.

Muitos quelatos formados com Zn em forma estável são

facilmente absorvidos pelas plantas. Entre os mais importantes encontram-se Zn-EDTA, Zn-HEDTA e  $\text{Na}_2\text{Zn-EDTA}$ , (89). Hilmes (49) relata que as quantidades de Zn absorvidas pelo solo estudado, foi incrementada com o aumento de pH. Com a remoção de sílicas hidratadas, a retenção de Zn foi similar ao solo original, representando forte evidência da importância da matéria orgânica. A fração húmica reteve 59% enquanto a fúlvica 12% do total de Zn retido pelo solo.

Lindsay e Norvell (71) estudando as relações entre agentes quelatantes, EDTA e DTPA e íons metálicos no solo, evidenciaram a hipótese que Zn reage com  $\text{SiO}_2$  amorfo para formar  $\text{Zn-SiO}_2$ . A concentração de  $\text{Zn}^{++}$  em equilíbrio com fase sólida de  $\text{Zn-SiO}_2$  e  $\text{SiO}_2$  amorfo foi de  $10^{-6}$  M a pH 6 e decresceu 100 vezes para cada unidade de aumento de pH.

### 2.3.3. Influência das argilas

Tem sido observado que a capacidade de troca de cations (CTC) de uma argila é grandemente aumentada quando determinada com elementos como Zn, Cu, Fe (81). Estes elementos podem formar sais básicos com argila e então só parte das valências vão para o complexo de troca. Se ocorre este efeito em solos com baixa concentração de microelementos, isto poderia ser importante para a disponibilidade destes (81). Elgabaly (32) encontrou que Zn absorvido por bentonita, caolinita, pirofilita, muscovita, biotita, vermiculita, brucita e talco, não foi totalmente substituído por acetato de amônio, o

que foi considerado como fixado pelos minerais. Em minerais com alumínio no arranjo octaédrico como bentonita, caolinita, pirofilita, muscovita e biotita, o Zn era fixado seguindo-se um decréscimo na capacidade de troca de anions. Explicou-se que Zn foi absorvido nas cavidades não ocupadas por ions Al na camada octaédrica dos aluminos-silicatos. Nos minerais com Mg nas posições octaédricas, Zn substitui o Mg nestas posições, não havendo mudanças nas propriedades de adsorção do mineral uma vez que Zn e Mg possuem a mesma valência. As substituições são possíveis já que o rádio iônico do Zn, 0,74Å (Angoström) é similar aos ocupantes normais divalentes FeII, 0,76Å e Mg, 0,65Å. No caso dos alúminos-silicatos, cavidades de comparável tamanho são fornecidas por posições não ocupadas por Al. Assim se explica em parte o poder fixador de Zn por solos cujas argilas tem baixa relação Si/Mg (22).

Nelson e Melsted (88) adicionaram  $^{65}\text{Zn}$  com diferentes ions a solos e argilas e mediram a adsorção de Zn. A retenção de Zn em relação a outros cations foi a seguinte:  $\text{H(Al)} > \text{Zn} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$ . Quando Zn foi adicionado a um sistema ácido, foi facilmente lavado com acetato de amônio. Com sistema cálcico, parte do Zn adicionado foi removido somente com HCl. A caolinita reteve menos Zn que a illita.

Bingham e colaboradores (8), estudando a retenção de Zn por montmorilonita, encontraram que não houve diferença de adsorção de Zn por H-Montmorilonita nas formas de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{NO}_3^-$  e que esta adsorção foi similar a CTC. Entretanto  $\text{Zn(OAc)}_2$ , produziu fixação

acima do CTC. Com ajuda de  $^{14}\text{C}$  no sistema argila, foi observada a retenção de acetato concomitantemente à retenção de Zn. A retenção de acetato ocorre de uma maneira independente da retenção dos metais, isto é, por mecanismos diferentes. O estudo acima foi efetuado com pH de 2,0 a 6,5. A máxima retenção de Zn deu-se em pHs entre 6 e 7, enquanto que para acetato deu-se no redor de pH 3.

Existem poucas informações sobre a ocorrência de Zn em sesquióxidos do solo. Trabalhos realizados por Le Riche e Weir (70) mostram altas porcentagens de Fe, Co, Cu, Pb, Mn e V total contidas em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  amorfo, o que leva a supor que Zn ocorre também nêstos óxidos.

Kee e Bloomfield (59) estudando a fermentação de material vegetal (Dactylis glomerata e Medicago sativa) em solos, sob condições anaeróbicas, relatam que houve apreciável mobilização de Zn. Em testes de precipitação observou-se que o Cu e Zn eram coprecipitados com óxidos de Fe. Em ausência de óxidos de ferro precipitado, mais de 90% de Cu, Zn, Co e Ni permaneciam na solução após o extrato fermentado ser oxidado mediante aeração. A um pH de 7, 50% do Zn mobilizado no extrato fermentado foi removido da solução por  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . A pH mais baixo a adsorção decresceu. O mesmo efeito foi observado com areia tratada com óxido de Fe (81).

Stanton e Burger (103) encontraram que o conteúdo de Zn total nas concreções ferruginosas eram maiores que o solo no qual estas concreções foram formadas.

Stanton e Burger (104), na África do Sul, estudando a adsorção de Zn em solos e em suspensão de óxidos hidratados de Fe, relatam

que, quando em presença de fosfatos e óxido de ferro em suspensão, a absorção de Zn por raízes seccionadas de milhete (Japanese Millet) foi diminuída. Em solos, cujos sesquióxidos livres de ferro eram removidos, ou em soluções sem suspensões de óxido hidratado de ferro, a aplicação de P não influenciou na absorção de Zn por raízes e "seedlings" da planta estudada. Entretanto o efeito depressivo na absorção de Zn foi notado no solo com sesquióxidos livres de Fe e aplicação de P. Sem aplicação de P não houve efeito dos sesquióxidos na absorção de Zn, tanto no solo como em suspensão aquosa. Os autores sugerem que os sesquióxidos livres de Fe e Al jogam papel importante na fixação de Zn em presença de fosfatos.

#### 2.3.4. Influência de fósforo

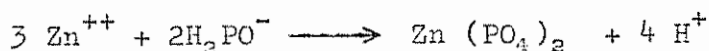
O problema do efeito depressivo do P na absorção de Zn pelas plantas vem sendo mencionado há tempo. Em 1938, West (121), na Austrália, indicou a deficiência de Zn em fôlhas de citrus, induzida por excesso de fosfatos no solo. Como êste, existem muitos trabalhos que evidenciam diminuição da absorção de Zn por cultivos, por influência da concentração de P no solo (6, 7, 9, 19, 33, 60, 66, 80, 92, 100, 112, 121).

Por outro lado, observações existem de que aplicações massivas de P não influenciaram a absorção de Zn pelas plantas experimentadas (10, 44). Reuther e colaboradores (95) encontraram que o fósforo aumentou a absorção de Zn em plantas cítricas.

Os trabalhos iniciais a respeito da indisponibilidade de Zn

para as plantas devido a altos níveis de P no solo, geralmente sugerem uma precipitação de Zn no solo em forma de fosfatos insolúveis como possível explicação do fenômeno. Jurinak (56) estudou a formação de fosfatos de cobre e zinco em um sistema aquoso em presença de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  e tratado com NaOH. Os dados indicam que se formou ortofosfato de Zn,  $[(\text{Zn}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})]$ , o cobre precipitou-se como  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{OH}]$ .

A solubilidade do fosfato de cobre, assim como do ortofosfato de Zn, variou com o pH. A solubilidade de ambos foi mínima na região do ponto isoelétrico, que foi pH 5,88 e 7,40 para sistema Cu e Zn, respectivamente, demonstrando que o fosfato de cobre é mais estável que o ortofosfato de Zn a baixos valores de pH. A reação entre clorêto de Zn e fosfato monopotássico poderia ser:



Bingham e Garber (6), Laker (65) Pauli et al (92) e Keefer e Sing (60), relatam acréscimo de Zn solúvel no solo com aumento de fertilização fosfatada. Entretanto houve diminuição na absorção de Zn nas plantas utilizadas nos experimentos com doses mais altas de P, o que sugere que a precipitação de Zn em forma de fosfato no solo não explica o fenômeno do decréscimo na absorção de Zn.

Seatz e Jurinak (99) sugeriram que o efeito depressivo dos fosfatos na absorção, poderia ser devido ao efeito do íon cálcio do superfosfato. Entretanto, este efeito estaria limitado somente aos casos em que houver mudanças no pH do solo (119). Por outro lado



trabalhos efetuados com outros ions acompanhantes de P nos fosfatos, influenciaram depressivamente a absorção de Zn por plantas (6, 112).

Burleson (19) encontrou decréscimo de absorção de Zn devido à P em vários cultivos no campo; em experimento em casa de vegetação com feijão (Phaseolus vulgaris) encontrou interação significativa entre P e Zn sobre a absorção desses dois elementos, evidenciando um possível antagonismo entre P e Zn dentro das raízes. Outros trabalhos (6, 33, 65, 66, 92, 100, 106) relatam que independentemente do comportamento de Zn e P no solo, existe uma interação entre ambos no interior da planta. Esta interação ocorre nos tecidos conductores da planta, principalmente nas raízes, reduzindo assim a solubilidade e mobilidade de Zn ou P, quando em presença de altas quantidades de um ou do outro. Em trabalho recente, Burleson e Page (20) caracterizam bem o antagonismo de P e Zn na planta. Eles estudaram a interação Zn e P em soluções nutritivas, usando uma técnica especial com duas zonas de raízes, de modo que Zn e P foram colocados separadamente, acompanhados de outros elementos essenciais. Portanto as reações que ocorreram entre P e Zn tiveram lugar na superfície das raízes ou no interior da planta. Utilizaram linho (Linum usitatissimum L.) como planta indicadora. Os resultados indicaram que ao adicionar Zn e P no substrato, a concentração e o total de ambos elementos absorvidos aumentou em toda planta; quando P foi colocado em excesso depois de Zn, a concentração deste foi aumentada na parte baixa das raízes e decrescida no resto da planta; quando o Zn foi colocado em excesso depois de P, ocorreu o contrário, P foi incrementado nas raízes e decrescido no resto da planta.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Características dos solos utilizados

Se escolheram 3 solos cujas características são apresentadas no Quadro 1. Estas amostras foram escolhidas com base em análises químicas de várias amostras de solos coletadas em áreas onde sintomas de deficiências de zinco foram observadas (83,96) conforme indicado no Quadro 1 do Apêndice.

A seleção foi feita em função de conteúdos de óxidos livres de Fe e Al e teores de zinco extraído com 0,1 HCl. Uma descrição geral desses solos é apresentada a seguir:

Solo 1 - Barrial. Este solo pertence à denominada série Heredia descrita por Vargas e Torres (113), originada pelo arraste e deposição, em tempos passados, de materiais em forma de barro pastoso (mud flow) de depósitos piroclásticos finos e grossos (cinzas e areias vulcânicas). Parte deste material arrastado já se encontrava em um processo de avançada meteorização. Posteriormente houve nova caída de cinzas e areias vulcânicas que sepultaram estes solos. São considerados de boa fertilidade, textura fina, ricos em matéria orgânica e de boa drenagem.

Solo 2 - Capri. Os solos da região onde se extraiu a amostra, pertencem à chamada série Escazú (113) e são considerados como colúvio - alovionais. Foram originados pela deposição de materiais provenientes dos montes ao redor daquela região, formados por arenitos, grano-dioritos. Também se encontram capas de areia fina

Quadro 1. Características químicas e físicas dos 3 solos estudados.

Características	Solos		
	1 Barrial Heredia	2 Hacienda Capri	3 Juan Viñas
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5,42	7,78	16,64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4,85	4,43	5,65
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	10,27	12,21	22,29
Matéria orgânica (%)	8,3	12,6	13,0
CTC (meq/100 g solo)	42,3	47,2	48,0
pH em água (1:2,5)	5,4	5,2	5,0
Zn - HCl 0,1 N (ppm)	8,1	4,3	2,2
Zn - EDTA 0,01 M (ppm)	1,8	1,3	0,7
Zn total (ppm)	44	42	37
P - Mehlich (ppm)	1,5	0,8	traços
Ca - Mehlich (ppm)	580	80	25
Ca - NH <sub>4</sub> OAc (ppm)	315	160	90
K - Mehlich (ppm)	300	150	80
K - NH <sub>4</sub> OAc (ppm)	180	197	50
Mg - Mehlich (ppm)	300	80	20
Mg - NH <sub>4</sub> OAc (ppm)	507	192	95
Areia (%)	47,3	51,0	51,5
Limo (%)	27,0	21,0	18,5
Argila (%)	26,0	24,0	29,5

indicando ação aluvial. Apresentam as seguintes características: são considerados de fertilidade média, textura moderadamente pesada com grava, franco argilosos, drenagem de boa a regular e ricos em matéria orgânica.

Solo 3 - Juan Viñas. Pertence à série Birrisito, descrita por Dóndoli e Torres (31) e atualmente classificado como andosol (122). Os solos pertencentes a esta série foram originados de cinzas vulcânicas depositadas sobre camadas de lavas andesíticas velhas. A espessura da camada de cinzas pode alcançar até alguns metros nas partes menos erodidas. O horizonte A é orgânico, negro, poroso, permeável. O horizonte B é argilo-arenoso e amarelado. Um terceiro horizonte é constituído por material de transição ao lávico. São solos considerados de mediana fertilidade, alta permeabilidade estrutura granular, textura argilosa e alta relação carbono/nitrogênio.

### 3.2. Procedimento analítico

#### 3.2.1. Análise de solos

Depois de coletados, os solos foram secados ao ar sobre folhas de plástico (polietileno) limpas, homogeneizados, passados por um tamis com abertura de 0,6 cm construído com fios de nylon, novamente homogeneizados com ajuda das folhas de plásticos em movimentos em diagonal (98, 118). Em seguida se tomaram amostras representativas suficientes para estudo de laboratório.

a) Tamanho de partículas

Utilizou-se a técnica descrita por Forsythe (38) baseada no método do hidrômetro de Bouyoucos com as modificações promovidas por Day (24).

b) Densidade de partículas

Seguiu-se a técnica descrita por Forsythe (39). O procedimento consistiu na utilização de um líquido não polar (querozene, no caso) para determinação do volume ocupado pelas partículas do solo. Esta determinação foi utilizada no cálculo do tamanho de partículas.

c) Capacidade de troca de cations (CTC)

Para esta determinação se usou a técnica de Bower et al (17), modificada por Diaz - Romeu e Balerdi (28), que consiste em saturar o solo com 3 lavagens de acetato de amônio normal pH 7, para substituição das bases trocáveis. Para substituir o amônio adsorvido se saturou o solo com KCl 10% e se determinou a CTC, por destilação do amônio em aparelho semimicro Kjeldahl e titulação com ácido sulfúrico diluído.

d) Bases trocáveis

Se seguiu a técnica descrita para a determinação de CTC (28). Consiste em determinar as bases contidas no acetato de amônio. A determinação de Ca, K e Mg foi efetuada em um espectrofotômetro de absorção atômica Perkin-Elmer 303.

e) Fósforo, cálcio, potássio e magnésio disponíveis

Se utilizou o método de Mehlich (94), que consistiu em extrair os elementos do solo por agitação por 1 minuto de 5 g do solo com 20 ml de uma solução 0,025 N HCl e 0,025 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Se centrifugou e se efetuaram as determinações. A análise de P se efetuou por colorimetria utilizando-se o método azul de sulfomolibdico (91), lendo-se a transmitância em um espectrofotômetro Coleman Junior, modelo 6 A. A análise de Ca, K e Mg se fez por espectro-fotometria de absorção atômica (12) em um aparelho Perkin-Elmer 303 conforme indicado.

f) pH

Se utilizou o método internacional para medição do pH do solo em água (98), usando-se a proporção solo:água 1:2,5.

Se tomaram medidas em um potenciômetro de electrodos de vidro e calomelano, Beckman Zeromatic, modelo 96.

g) Matéria orgânica

Se usou a técnica descrita por Saiz del Rio e Bornemisza (98), baseada no método de Walkley e Black, que consiste na oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio em presença de ácido sulfúrico. O excesso de dicromato foi determinado por titulação com o sal de Mohr.

h) Oxidos livres de Alumínio ( $Al_2O_3$ )

Se seguiu a técnica para extração de  $Al_2O_3$  por dissolução em  $Na(OH)$  0,1 N, baseada no método de Hashimoto y Jackson, modificada por Bornemisza e Igue (15). Se efetuou a determinação do Al por colorimetria pelo método da aluminona, utilizando-se um espectrofotômetro Coleman Júnior, modelo 6 A.

i) Oxidos livres de Ferro ( $Fe_2O_3$ ).

Se utilizou basicamente a técnica de Kilmer (62) com as modificações de Bornemisza e Igue (84), que consiste em extrair os óxidos de ferro por redução com ditionito de sódio ( $Na_2S_2O_4$ ) em solução. O ferro elementar foi determinado por espectro-fotometria de absorção atômica (12), em um aparelho Perkin-Elmer, modelo 303.

j) Zinco disponível

Para avaliação de Zn disponível se utilizaram 2 métodos para extração deste elemento:

Método com 0,1 N HCl. Se utilizou basicamente o método descrito por Trierweiler e Lindsay (112) com pequenas adaptações.

O procedimento utilizado foi como segue: -1 g de solo seco ao ar [passado por tamis de nylon nº 18 (1 mm)] foi colocada em tubos plásticos de centrífuga de 50 ml, juntando-se em seguida 25 ml de 0,1 N HCl. Os tubos foram tapados com rólhas de borracha envolvidas com folhas de polietileno delgada, para evitar contaminações ao

contacto da borracha com a suspensão (114). Depois de uma noite em repouso, a suspensão foi agitada por 30 minutos, centrifugada e passada pelo funil provido de malha de nylon. A determinação de Zn se efetuou directamente no extrato filtrado por espectro-fotometria de absorção atómica.

A solução extratora foi preparada a partir de uma solução HCl 6 N, proveniente da destilação de iguais volumes de HCl concentrado: água destilada em um destilador de vidro Pyrex (21).

Método com EDTA-Dissódico 0,01 N. Se usou o método descrito por Trierweiler e Lindsay (112), com algumas adaptações: usou-se EDTA-dissódico a 0,01 M em vez de EDTA-ácida, e não se adicionou  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  1 N considerando que o método destina-se a solos tropicais ácidos e não haveria problema com dissolução de carbonatos do solo. Não se ajustou o pH da solução.

O método constou do seguinte, 10 g do solo sêco ao ar (passado por um tamis de nylon nº 18) foram colocadas em tubos de centrifuga de 50 ml. Em seguida se juntaram 20 ml da solução extratora e levou-se a um agitador por 30 minutos tomando-se o cuidado de tampar bem com rólha envolvida em plástico. A seguir se centrifugou a suspensão de solo em uma "Servall super speed" tipo ss-1A; filtrou-se rapidamente em um funil provido de fina malha de nylon e determinou-se Zn por espectro-fotometria de absorção atómica directamente no extrato.

As soluções extratoras para os 2 métodos utilizados foram preparadas em diluições com água destilada e desionizada (53, 114) em



um desmineralizador "Bantam", modelo BD-1, provido de coluna com resinas cambiadoras de anions e cations.

A solução padrão de Zn foi preparada dissolvendo-se 1 g de Zn metálico em 25 ml de 6 N HCl completando-se para 1 litro com água bidestilada em vidro pyrex. Desta solução original se prepararam diluições que continham 0,05 - 0,1 - 0,02 - 0,5 - 0,8 - 1,0 - 1,2 - 1,4 - 1,6 - 1,8 - 2,0 - 3,0 e 4,0 ppm de Zn, preparadas com as soluções extratoras correspondentes.

Outras precauções foram tomadas no preparo dos reagentes e limpeza da vidraria, para evitar contaminações (46, 53, 114).

k) Zinco total

Se seguiu a técnica descrita por Jackson (53), que consiste na decomposição dos solos com HF, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> e HClO<sub>4</sub>. A destrição de SiO<sub>2</sub> com o uso de HF proporciona valores de Zn total superiores que aqueles obtidos com o uso de HClO<sub>4</sub> somente. Assim se procedeu: pesou-se 1 g de solo seco ao ar, finamente moído em almofariz de ágata e se o transferiu para cadinho de platina, se umedeceu com água e 3 gotas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. Em seguida 2 porções de 5 ml de HF 48% foram colocados e evaporados seguidamente em um banho de areia a 180°C com o fim de volatizar SiO<sub>2</sub>. A seguir o cadinho foi posto em um vaso de 250 ml, juntou-se 10 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado e completou-se o volume do cadinho com água desmineralizada, se aqueceu e se transferiu a suspensão para o vaso com ajuda de um bastão polícia e levando-se com água desmineralizada. Esta

suspensão foi evaporada até secar. Em seguida, a oxidação da matéria orgânica foi completada por digestão a 200°C com uma mistura de 10 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado, 1 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, e 4 ml de HClO<sub>4</sub> a 60%. Adicionou-se ao resíduo 10 ml de HCl:H<sub>2</sub>O (1:1) para lavar e dissolver os sais (112). A solução foi transferida para balão volumétrico de 100 ml, e determinou-se Zn por espectro-fotometria de absorção atômica.

Se efetuaram provas em branco utilizando-se os reagentes usados e o mesmo processamento, para controlar possíveis contaminações.

### 3.2.2. Análises do tecido vegetal

Após colhidas, as plantas foram lavadas durante 30 segundos por imersão e agitação em solução contendo 0,1 N HCl e em seguida lavadas da mesma maneira em água destilada e desmineralizada, segundo procedimento descrito por Arkley et al (1). A seguir as plantas foram secadas em estufa com circulação de ar a 70-80°C durante 70 horas, pesadas e moídas em moinho "Wiley intermediate Mill", equipado com partes de contacto de aço inoxidável e provido de uma malha nº 20 (0,84 mm). Em seguida as amostras foram homogeneizadas em um misturador mecânico apropriado.

Nas operações com amostras vegetais foram tomadas os cuidados necessários para manêjo do material radioactivo.

a) Análises químicas

O material vegetal foi digerido com uma mistura de 5:1 de  $\text{HNO}_3$  concentrado e  $\text{HClO}_4$  a 60% (96). Pesou-se 0,5 g de tecido vegetal passou-se para Erlenmeyer de 250 ml, adicionou-se 10 ml da mistura  $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4$ , tapou-se com funil para digestão e manteve-se em repouso por 20 horas (pre-digestão). Após, continuou-se a digestão com aquecimento dos Erlenmeyer sobre placa quente até obter-se um volume de 1 a 2 ml de solução clara, evitando-se dissecação total em virtude do perigo de explosão (53). A seguir se lavou o resíduo com 0,05 N HCl, passou-se para um balão volumétrico de 50 ml, levou-se a volume com a mesma solução HCl. Após a sílica sedimentar, determinou-se Zn por espectro-fotometria de absorção atômica.

Os elementos Cu, Fe, Mn, Ca, Mg, e K foram também determinados por espectro-fotometria de absorção atômica, no mesmo extrato. O P foi analisado por colorimetria pelo método azul de sulfomolibdico (21, 91).

As soluções padrões foram preparadas adicionando-se os mesmos reagentes utilizados e seguindo o mesmo processamento. Provas em branco foram também preparadas para controlar possíveis contaminações.

b) Análise radioquímica

A determinação da radioatividade do material vegetal e da solução de  $^{65}\text{Zn}$  empregada se efetuou em um cintilador "Nuclear Chicago", modelo DS5, provido de um cristal de 2 x 2 polegadas, de

iodêto de sódio (NaI) ativado com tálio (Tl), em forma de poço. Para registro da radiação utilizou-se um escalímetro "Nuclear Chicago", modelo 192 A ultra scaler.

A atividade nos tecidos vegetais do  $^{65}\text{Zn}$  foi determinada diretamente no material vegetal: pesou-se 1,5 g do material moído passou-se para um tubo de ensaio que em seguida foi introduzido no poço do cintilador para medição da atividade.

Se preparou curva de calibração do aparelho tomando-se amostras do material vegetal com pesos entre 0,25 g e 1,5 g para determinar a perda de eficiência do cristal cintilador em função da altura da amostra dentro do tubo de ensaio. Com êstes dados se efetuaram correções para a contagem final obtidas para as amostras vegetais. Se fez também calibração do aparelho em função da concentração de  $^{65}\text{Zn}$ , tomando-se quantidades crescentes de 0,25 ml até 1,5 ml. A altura da amostra no tubo se manteve constante. Os resultados destas calibrações são apresentadas nas Figuras 1 e 2 do Apêndice.

Se contou o tempo necessário para acumular 10.000 contagens.

Não houve necessidade de correção por decaimento em vista de que as amostras vegetais foram contadas juntamente com a solução fertilizante original.

### c) Cálculo do valor "L"

O valor "L" foi proposto por Larsen (42, 68) e se define como a quantidade de um nutriente disponível no solo para as plantas.

Os valores "L", "A" e "E", são matemàticamente similares (76, 79, 107), apenas variando no procedimento experimental; o valor "L" requer que o nutriente aplicado esteja em completo equilíbrío com o solo; para o valor "A" o nutriente não deve estar em equilíbrío com o solo e sim localizado (42), e o valor "E" é utilizado em trabalhos de laboratório e é calculado sem necessidade de absorção do nutriente por plantas, como nos valores "A" e "L" (42).

Os valores "A" e "L" se baseiam no conceito de que uma planta que cresce no solo, absorve um nutriente de duas fontes em função de suas respectivas quantidades:

$$\frac{(A) \text{ solo}}{(B) \text{ solo}} = \frac{(A) \text{ planta}}{(B) \text{ planta}}$$

desta equação se deriva a fórmula para o cálculo de "L" e "A"

$$"L" = B \left( \frac{Sf}{Sp} - 1 \right)$$

onde

L = quantidade do nutriente do solo;

B = quantidades do nutriente aplicado como fertilizante;

Sf = atividade específica do fertilizante;

Sp = atividade específica do fertilizante absorvido pela planta

### 3.3. Estudo em casa de vegetação

Se utilizaram potes de plástico inerte, de cor branca (99), com capacidade para 1,5 litros, nos quais se colocaram terra seca

ao ar em quantidades equivalentes a 1 kg de solo sêco à 110°C. No fundo dos potes se colocou uma malha de nylon fina para evitar perda de solo pelos orifícios de drenagem de água. Abaixo dos potes foram colocados pratos apropriados para recolher e devolver aos potes os possíveis excessos de água de irrigação, entretanto evitou-se ao máximo excesso de água.

Se usou milho (Zea mays L.) como planta indicadora devido ser muito exigente em Zn e apresentar sintomas de deficiências a êste elemento bem definidos (64, 115).

### 3.3.1. Delineamento experimental

Ensaio com planta. Se utilizou um desenho de tratamentos fatorial com 3 solos (representando 3 níveis de sesquióxidos), 3 níveis de Zn e 2 níveis de P, levado a cabo em um delineamento experimental totalmente ao acaso com 3 repetições. As doses de Zn e P utilizadas foram.

Dose	Zn kg/ha	P kg/ha
1	0	400
2	7,5	1600
3	15,0	-

Para efeito de comparação usou-se tratamentos extras sem P, considerando sòmente a dose média de Zn (7,5 kg/ha).

A fixação de P em solos tropicais da região é muito elevada (34, 35). Para o estabelecimento dos níveis de P se efetuou um

estudo de fixação nos 3 solos com o objetivo de fornecer uma dose média de P suficiente para um desenvolvimento normal das plantas e uma dose bastante elevada para provocar a interação P-Zn. Para este estudo utilizou-se o método descrito por Waug e Fitts (118), que consiste em incubar o solo com diversos níveis de P e após 4 dias em repouso fazer-se extração de P pelo método de Mehlich (94). Para incubação usou-se as concentrações de 0-50-200-400 e 600 ppm de P. O resultado deste estudo é apresentado na Figura 3 do Apêndice. Com base na fixação de P se estabeleceram os níveis de 200 e 800 ppm de P, correspondentes a 400 e 1600 kg de P por ha (assumindo-se que 1 ha do solo arável pesa 2.000.000 de kg). P foi fornecido em forma de  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Se usaram 2 e 4  $\mu\text{Ci}$  (microcurios) de  $^{65}\text{Zn}$  por pote (101) para as doses de 7,5 e 15 kg/ha de Zn, respectivamente, preparados da maneira seguinte: tomou-se 50 $\lambda$  (lâmbda) da solução original (10,5 mCi/0,945 ml) e diluiu-se 10 vezes; em seguida tomou-se 4 ml desta solução e adicionou-se a uma solução fertilizante de  $\text{ZnCl}_2$ , completando-se o volume para 1 litro. A aplicação de 10 e 20 ml desta solução fertilizante por pote correspondeu às doses de 2 e 4  $\mu\text{Ci}$  em 7,5 e 15 kg/ha de Zn respectivamente.

Ensaio sem plantas. Paralelamente se utilizaram tratamentos extras sem plantas para análises periódicas de Zn. Estes tratamentos foram compostos dos mesmos fatores em delineamento  $3^3$  sem repetição, isto é, incluindo tratamentos com o nível zero de P.

Fertilizações básicas com outros elementos. Os nutrientes Ca e Mg não entraram como variáveis no delineamento experimental, entretanto, devido a variação em formas disponíveis destes nos 3 solos, como também variações no pH, levou ao estabelecimento de níveis para ajustar as diferenças apresentadas. Para isto se preparou uma curva de titulação com 50 g de solo, água para formar uma pasta e diversos níveis de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ . A medição de pH se fez em um potenciômetro Beckman Zeromatic modelo 96, depois de equilibrado o pH (5 dias depois da aplicação).

Com base no estudo se estabeleceram os níveis para os 3 solos:

Solo	Níveis	pH resultante
1. Barrial	100 kg/ha de $\text{CaCO}_3$	5,3
	80 " " $\text{MgCO}_3$	
2. Capri	200 " " $\text{CaCO}_3$	5,4
	140 " " $\text{MgCO}_3$	
3. Juan Viñas	300 " " $\text{CaCO}_3$	5,3
	200 " " $\text{MgCO}_3$	

O corretivo foi aplicado antes de receber os demais tratamentos (78).

O tratamento completo constou de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (200 kg/ha de N), KCl (100 kg/ha de K),  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (50 kg/ha de S),  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (5 kg/ha de Cu),  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (2,8 kg/ha de Mn),  $\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (10 kg/ha de Fe),



$\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (4 kg/ha de Mo) e  $\text{NaB}_4\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (1,2 kg/ha de B).

Durante a fase de instalação do experimento teve-se o cuidado de misturar  $^{65}\text{Zn}$  com o solo ainda úmido em um misturador rotatório elétrico em forma de V, a fim de evitar contaminação radioativa.

Seis sementes de milho (Zea mays) de variedade híbrida T-66 foram plantadas em cada pote e 5 dias após emergência as plantas foram reduzidas a 3 por pote.

Para irrigação se utilizou água destilada e desmineralizada em quantidades suficientes para bom desenvolvimento das plantas. Os potes do ensaio químico foram mantidos com umidade equivalente a capacidade de campo.

Periódicamente se mudavam as posições dos potes, reduzindo ao mínimo a influência das posições.

Vinte e seis dias após o plantio notaram-se sintomas de deficiências de N e Mg e se efetuou uma aplicação de  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  líquido nos potes em geral, em níveis de 100 e 84 kg/ha de N e Mg respectivamente.

### 3.3.2. Dados obtidos

As seguintes informações foram colhidas:

- a) Ensaio sem plantas - foram retiradas amostras de cada pote dos solos incubados, para determinação de Zn disponível com 2 métodos de análise, em intervalos de 4, 22 e 35 dias após aplicação de Zn;

- b) Ensaio com plantas - 35 dias após o plantio as plantas foram colhidas, preparadas e forneceram as informações:
- Pêso por pote de matéria sêca a estufa (70-80°C);
  - concentração de Zn neste material por pote;
  - total de Zn absorvido, por tratamento (média de 3 potes);
  - contas por minuto por grama de matéria sêca por pote;
  - contas por minuto total por tratamento;
  - valor "L", por tratamento (Larsen);
  - concentração e quantidades totais na matéria sêca, dos elementos, P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, Fe, por tratamentos;

Nota: Todas análises químicas, físicas e radioquímicas no solo ou no material vegetal foram realizadas com repetição, de maneira que cada dado apresentado corresponde à média de 2 análises.

#### 3.4. Análise estatística

As análises estatísticas levadas a cabo nesta pesquisa foram realizadas no Centro de Cálculo Eletrônico da Universidade de Costa Rica com ajuda de um computador IBM, modelo 1620 e se referem a: 1) comparação de efeitos das diferentes fontes de variação; para êste propósito se efetuou análise de variação e alguns contrastes ortogonais para discriminação de médias; 2) análise de correlações para detectar algumas associações entre variáveis. Os detalhes destas análises encontram-se no capítulo de resultados e discussão.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos utilizados no presente estudo evidenciam claramente as diferenças de características químicas (Quadro 1). Se observa que os conteúdos de óxidos de Fe e Al livres são diferentes. Se observa também que as quantidades de Zn extraídas com HCl 0,1 N e EDTA 0,01 M e o total são relativamente baixas. O conteúdo decresce com o aumento de  $R_2O_3$  livres. Outra importante característica desses solos são os teores baixos de fósforo solúvel em HCl 0,05 N e  $H_2SO_4$  0,025 N; estes teores estão inversamente relacionados com os teores de  $R_2O_3$  livres. As quantidades de fósforo retidas por esses solos, utilizando o método de incubação já descrito, podem ser observadas na Figura 3 do Apêndice. As quantidades de P fixado variam com o solo, sendo maior nos solos 2 e 3. Este resultado indica maior disponibilidade de P no solo 1, extraído pelo método de Mehlich (94).

##### 4.1. Teores de Zn no solo

As quantidades de Zn extraído com HCl 0,1 N e EDTA 0,01 M em função do solo e diferentes tratamentos são apresentados no Quadro 2 do Apêndice. Observa-se que o HCl extrai maiores quantidades de Zn que o EDTA nos diferentes solos e se observa também que as quantidades extraídas pelos dois métodos aumentam com a aplicação de Zn o que é de se esperar. Os efeitos dos tratamentos de P e de Zn nos 3 solos estão representados na Figura 1. Observa-se que as doses de P aumentaram o teor de Zn extraído com EDTA nos 3 solos

— EDTA 0,01 M - - - HCl 0,1 N

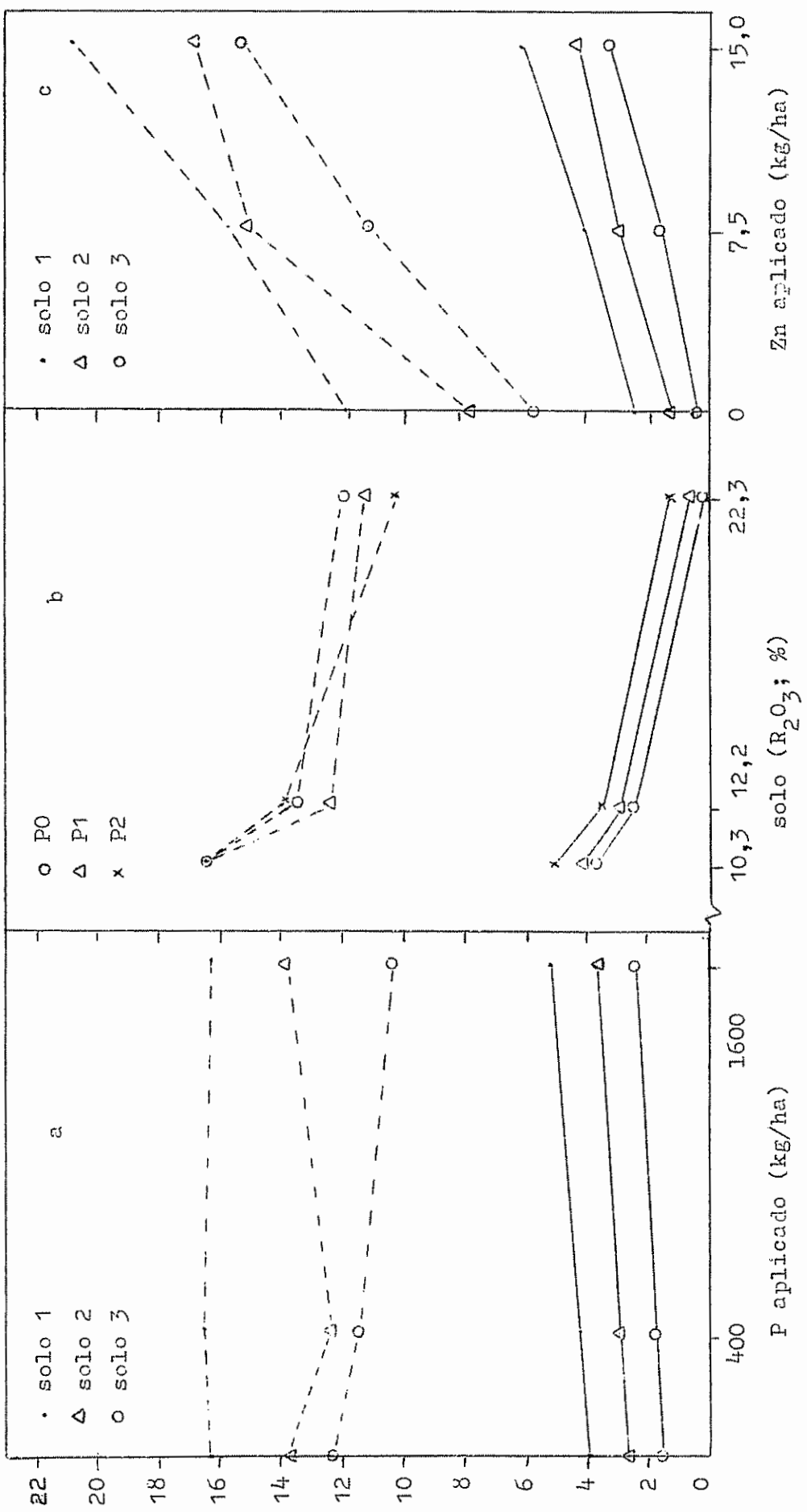


Figura 1. Zinco extraído por EDTA 0,01 M e HCl 0,1 N em função de: a) doses de P; b) teor de  $R_2O_3$  e c) doses de Zn aplicadas.

estudados, enquanto que o efeito para o Zn extraído com HCl foi diferente; não houve efeito de P no solo 1, enquanto que o solo 3 diminuiu o teor de Zn extraído com HCl. No caso do solo 2 houve um decréscimo na dose 1 de P e aumento com a dose 2 de P. Diferenças altamente significativas foram observadas para métodos, solo e para Zn aplicado; se detectou efeito significativo a nível de 0,05% de probabilidade para aplicação de P (Quadro 3 do Apêndice).

Com respeito a solos, se observa que as quantidades de Zn extraídas por ambos métodos diminuem com o aumento dos teores de óxidos livres de Fe e Al. Nota-se que HCl apresenta uma tendência maior que EDTA, de extrair mais Zn nos solos com menores teores de óxidos livres; esta tendência teve significação estatística (interação método vs solo). Para o caso de EDTA se observa que doses de P tendem a aumentar o Zn extraído, enquanto que no caso de HCl não se nota nenhuma tendência definida, talvez por ser um extrator menos seletivo. Aumentos nas formas solúveis de Zn por influência de P foram também observados por vários pesquisadores (7, 60, 66, 92). Para verificar êsse efeito de P tratou-se de analisar a fonte de P utilizada no presente estudo e o resultado demonstrou a pureza dêste fertilizante em relação a possível contaminação de Zn.

A resposta à aplicação de Zn e o efeito de solos são significativos, evidenciando que o Zn extraível aumenta com doses de Zn aplicada (Figura 1 c).

#### 4.2. Dados obtidos do ensaio biológico

Os resultados do experimento levado a cabo com milho em casa de vegetação estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Efeito do Zn e P aplicados sobre o peso seco, absorção e concentração de Zn nos 3 solos (médias de 3 repetições).

Tratamentos (R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Zn:P)	Pêso sêco (g/pote)	Zn total absorvido (mg/pote)	Concentração de Zn (ppm)
101	11,88	0,202	17
102	13,77	0,165	12
110*	4,93	0,168	34
111	12,18	0,256	21
112	14,59	0,204	14
121	12,76	0,345	27
122	16,03	0,337	21
201	8,60	0,129	15
202	14,42	0,114	10
210*	3,08	0,102	33
211	8,94	0,179	20
212	12,64	0,190	15
221	8,80	0,378	43
222	13,28	0,359	27
301	5,09	0,076	15
302	9,98	0,070	7
310*	2,40	0,091	38
311	5,98	0,114	19
312	9,28	0,102	11
321	6,35	0,165	26
322	9,86	0,197	20

\* Tratamentos extras.

#### 4.2.1. Produção de matéria seca

Conforme se observa, a matéria seca produzida foi significativamente influenciada por doses de fósforo, solos e doses de zinco, (Quadro 5 do Apêndice).

O fósforo teve um efeito marcante sobre o crescimento das plantas nos 3 solos estudados. A média geral de produção dos 3 solos com a dose de 400 kg de P/ha foi de 8,95 g/pote, com dose de 1600 kg de P/ha foi de 12,27 g/pote, comparados com o tratamento zero kg de P/ha que foi de 3,45 g/pote.

Conforme se observou anteriormente, esses solos apresentam diferentes graus de fixação de fósforo principalmente o solo 3 com 22,29% de óxidos livres de Fe e Al. Assim os solos 1, 2 e 3 produziram 13,54, 10,61 e 7,74 g/pote de matéria seca respectivamente.

Com respeito às doses de zinco aplicadas, a produção de matéria seca foi significativamente aumentada ao nível de 0,01% de probabilidades e as produções de massa foram de 10,1 g, 10,6 g e 11,18 g/pote, para as doses de 0, 7,5 e 15 kg/ha de Zn respectivamente.

O efeito geral dos tratamentos está sumarizado na Figura 2. Quanto maior a disponibilidade de P, maior foi a produção observada (Figura 2a). O mesmo se observa com respeito às doses de Zn nos 3 solos (Figuras 2b e 2c).

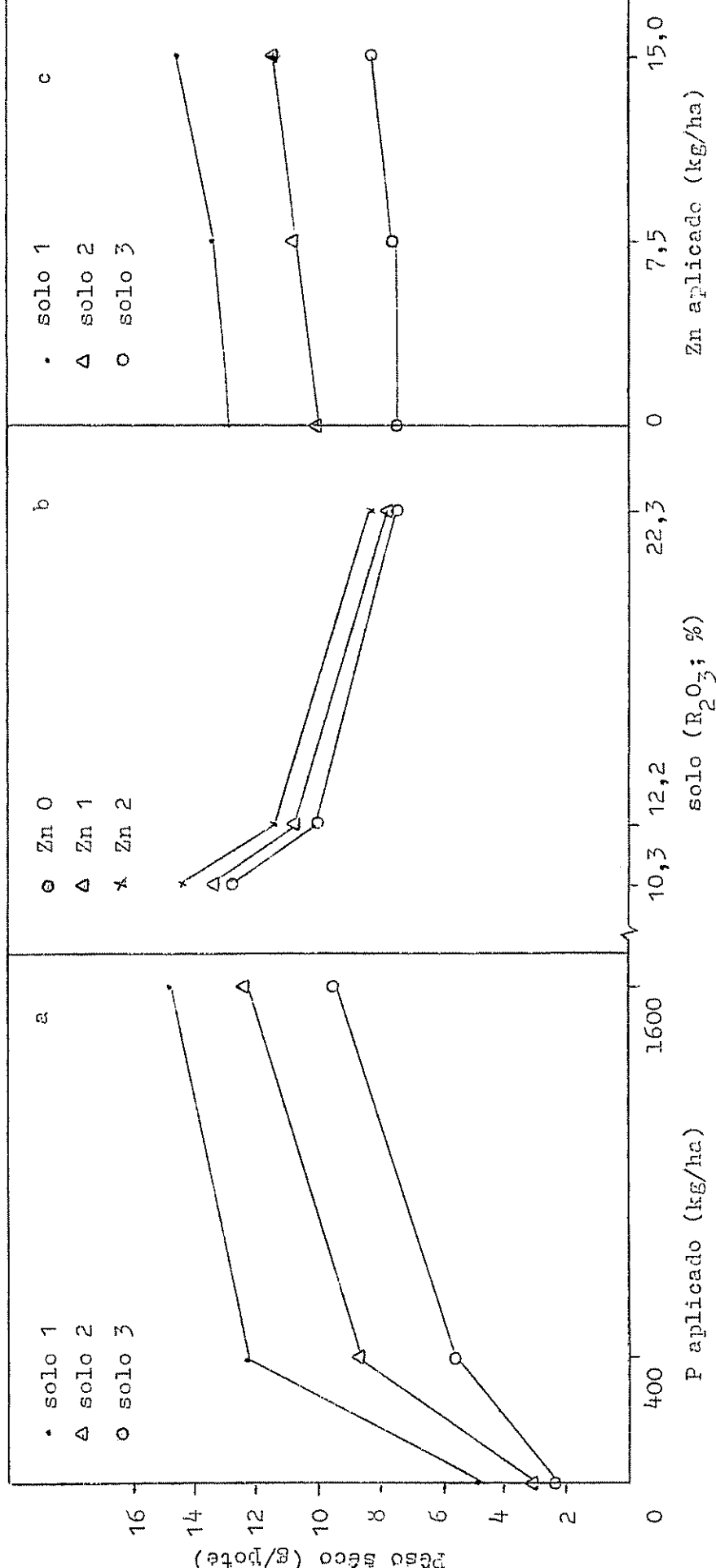


Figura 2. Efeito de fósforo,  $R_2O_3$  livres e zinco sobre a produção de matéria seca.



#### 4.2.2. Absorção de zinco

As quantidades de Zn absorvidas por plantas de milho estão indicadas no Quadro 2. As concentrações de Zn e o total absorvido variam também de acordo com os tratamentos. O efeito de P e Zn sobre a absorção total está representado nas Figuras 3 e 4. A medida que aumenta a dose de Zn a absorção total aumenta significativamente (Quadro 7 do Apêndice). Houve diferenças significativas com respeito aos diferentes solos, sendo observado maior absorção no solo 1, seguido de 2 e 3. Isto indica que a absorção total está em função do teor disponível no solo, conforme demonstrado na análise química. Por outro lado nota-se maior absorção no solo 2 com a dose de 15 kg/ha de Zn (Figura 4b); este efeito foi estatisticamente significativo (Quadro 5 do Apêndice).

O efeito de P não foi significativo estatisticamente no teor de Zn total absorvido, devido possivelmente ao solo 2 e 3 onde não existe uma tendência definida. Já no solo 1 maior quantidade de Zn é absorvida com a dose 1 de P comparada com a dose 2. Se observa (Figura 3 do Apêndice) que o comportamento do solo 2 e 3 são bastante semelhantes no que respeita a fixação de P, sendo ambos muito distintos do solo 1. Por outro lado observa-se que não houve efeito interativo entre P e solo (Quadro 7 do Apêndice), evidenciando que não houve efeito conjunto entre P e  $R_2O_3$  na absorção total de Zn.

Quanto a concentração de Zn, se nota que diminui com aumento nas doses de P (Figura 3). Maior crescimento promovido pelo P provoca uma diluição na concentração de Zn; esse efeito é citado por

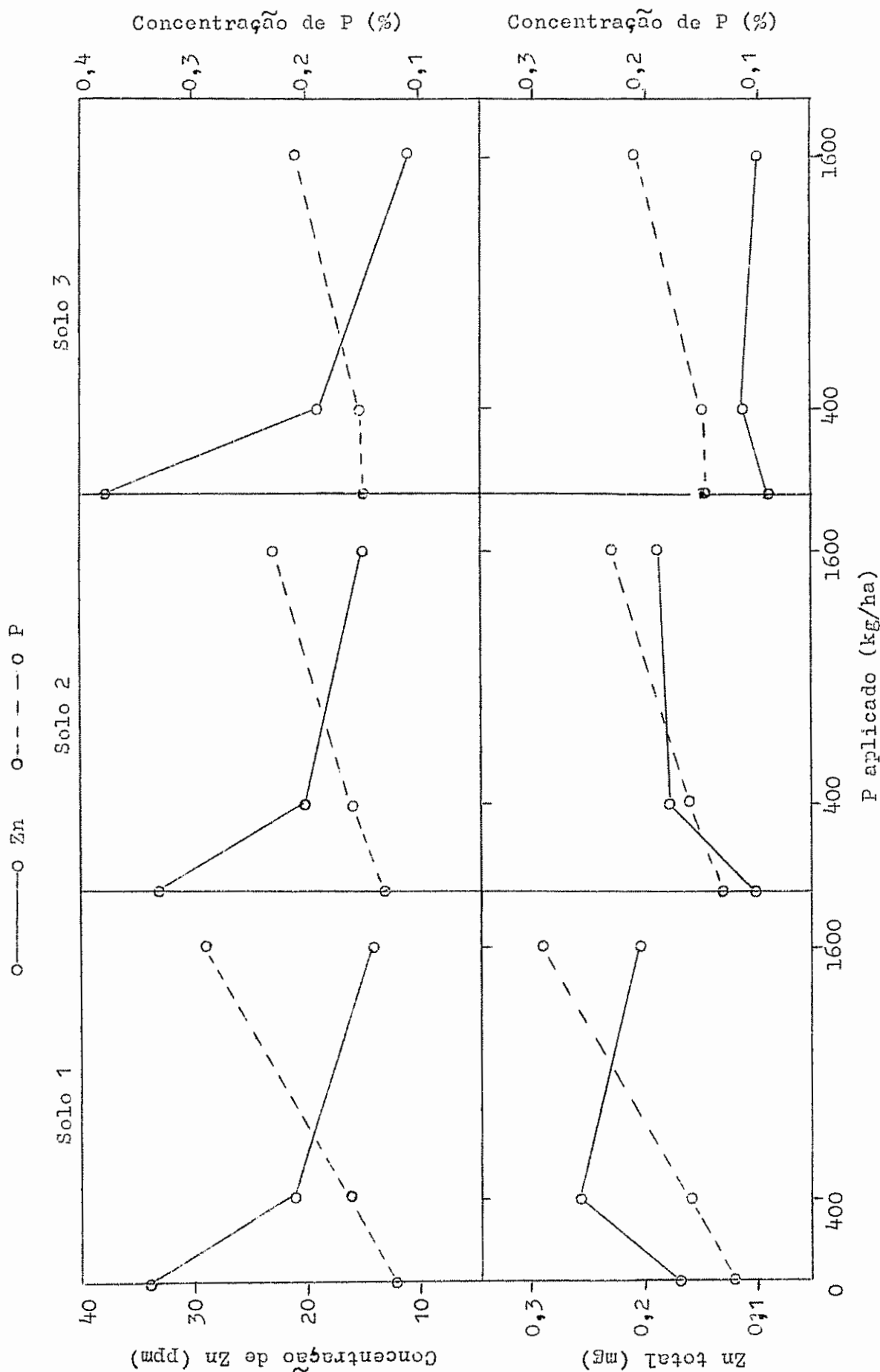
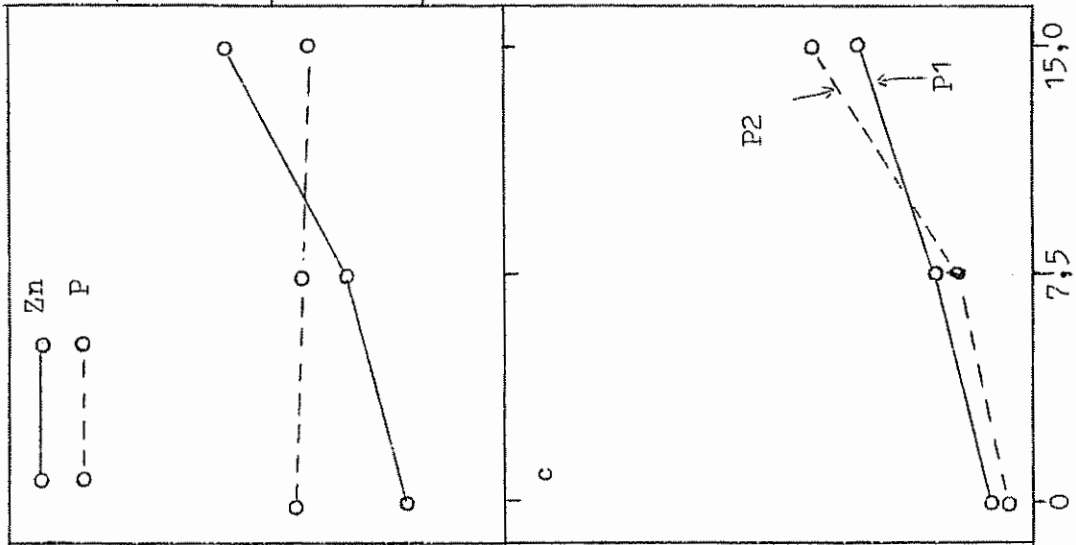


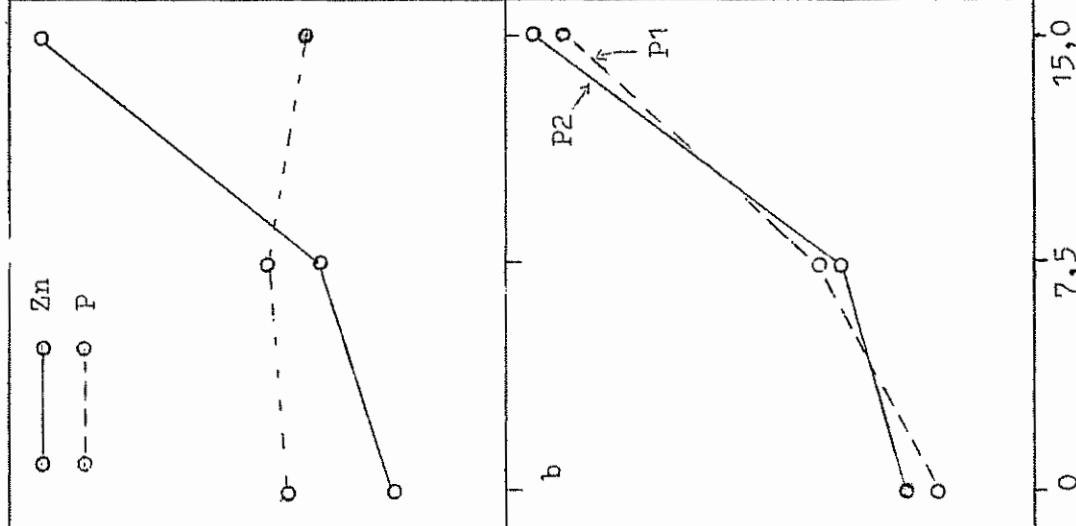
Figura 3. Efeito de P aplicado sobre a absorção total de Zn e concentrações de Zn e P em plantas nos 3 solos, com aplicação de 7,5 kg/ha de Zn.

Concentração de P (%)

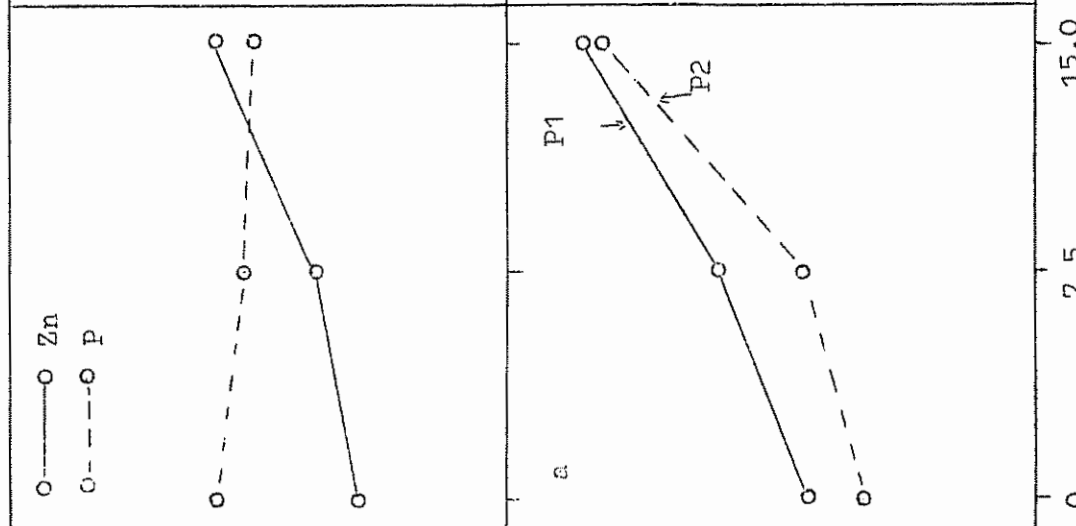
Solo 3



Solo 2



Solo 1



Zn aplicado (kg/ha)

Concentração de Zn (ppm)

Zn total (mg)

Figura 4. Absorção total de zinco e concentrações de zinco e fósforo nas plantas em função de doses de Zn aplicadas nos 3 solos.

Khan (61) e explica em parte o caso presente. A concentração de Zn aumenta com as doses de Zn aplicadas e diminui com o aumento de óxidos livres do solo, sendo altamente significativos os efeitos dos fatores referidos; a interação entre P e solo não foi significativa; a interação entre Zn e solo foi significativa a 0,01% e mostra que houve maior concentração de Zn no solo 2 (Figura 4 e Quadro 5 do Apêndice).

Nas Figuras 3 e 4 estão também indicadas as concentrações de P no tecido vegetal, as quais aumentam com o aumento das doses de P e se nota efeito marcado do solo. A concentração de P na planta está inversamente relacionada com a concentração de Zn. Assim é interessante observar que a concentração de zinco diminuiu com o aumento de P aplicado, e vice-versa, a concentração de P na planta diminuiu com o aumento de Zn aplicado. É interessante resaltar também que a concentração de Zn nas plantas crecidas nos diferentes solos decresceu com o aumento no teor de  $R_2O_3$  livres. As concentrações máximas de Zn nas plantas foram observadas nos tratamentos sem P e com dose 1 de Zn. A esta dose de Zn, o aumento de P influenciou grandemente na concentração de Zn. De uma maneira geral somente a última dose de Zn levou a concentração deste elemento na planta, a um nível considerado suficiente para o milho (23,54).

No presente caso da concentração de Zn, como também para o Zn total absorvido, a interação entre solo e P não alcança nível significativo o que não concorda com os resultados obtidos por Stanton e Burger (104) na África do Sul. Estes encontraram que não houve

efeito independente de P e óxidos livres e sim efeito interativo desses 2 fatores influenciando negativamente na absorção total de Zn pelas plantas. No presente caso se notou que o Zn total absorvido aumenta com a dose de P, exceto no solo 1 onde se observa decréscimo com a dose 2 de P. Neste caso se poderia pensar no efeito antagônico de P sobre o Zn, uma vez que neste solo houve uma maior concentração de P no tecido vegetal, enquanto que no caso do solo 2 e 3, um maior crescimento produzido pelo fósforo promoveu maior absorção total com diminuição da concentração de Zn (Figura 3). Aqui deve-se mencionar que os solos 2 e 3 apresentam teores mais altos de  $R_2O_3$ . Resultados semelhantes aos obtidos no presente estudo em que aplicação de P aumentou o Zn solúvel no solo, porém provocou diminuição do total de Zn absorvido pelas plantas são mencionados (7, 65, 92). Para Keefer e Singh (60) o efeito antagônico entre P e Zn é no exterior da planta, dificultando a penetração de Zn nas raízes; encontraram estes autores aumentos de Zn solúvel em água com aplicação de P e decréscimo de Zn nas raízes e parte aérea de plantas de milho (Zea mays).

#### 4.2.3. Valor "L"

Os resultados obtidos para o valor "L", assim como outros dados calculados com o uso de  $^{65}Zn$  são apresentados no Quadro 8 do Apêndice. Na Figura 5 estão representados os valores de "L" e os teores de Zn total e disponível. Nota-se que o valor "L" está relacionado com Zn total do solo. O Zn extraído com os extratores

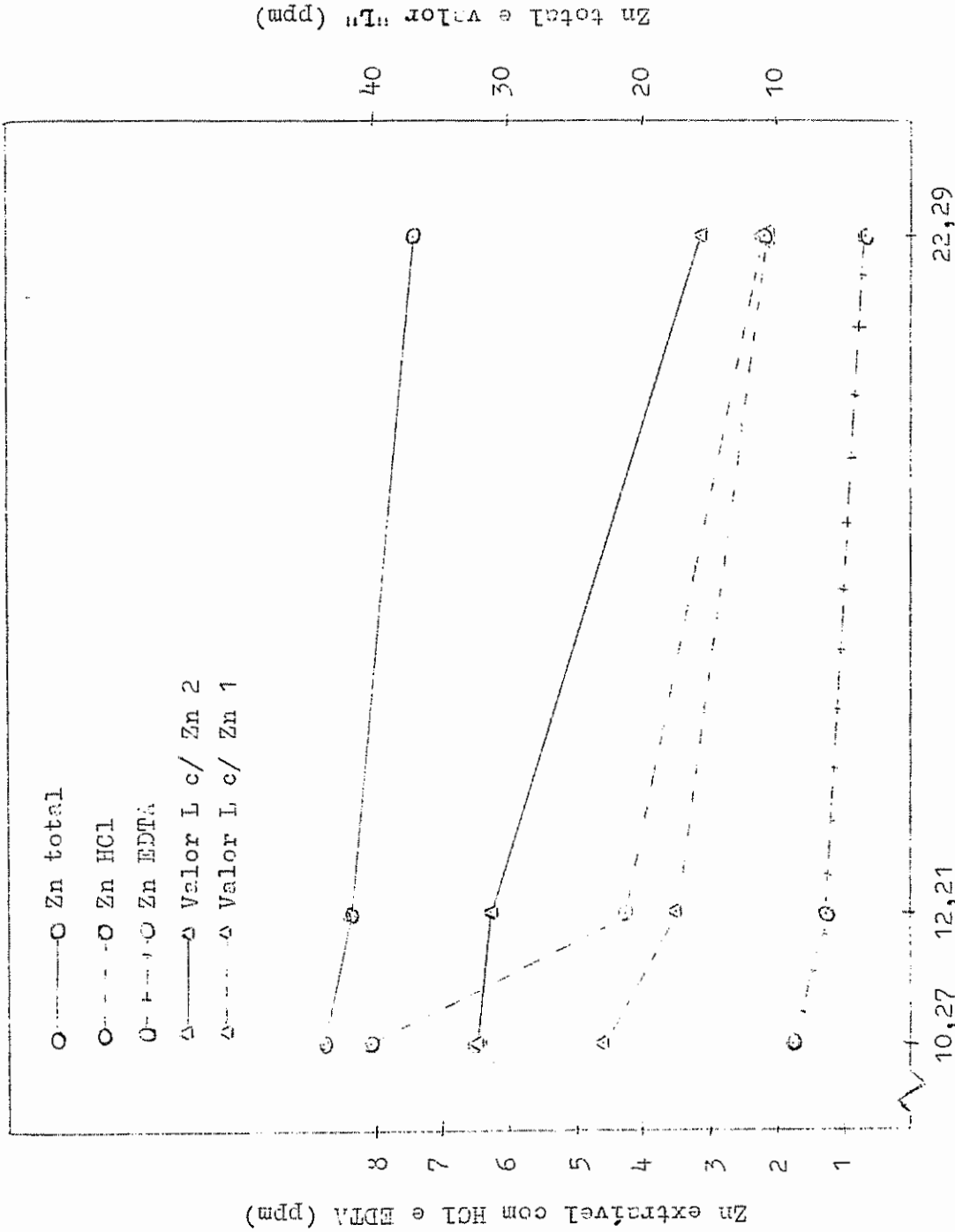


Figura 5. Zn total, extraível com HCl e EDTA e o valor "L" calculado para os 3 solos.

utilizados seguem a mesma tendência do valor "L", que é função do teor total no solo. O valor "L" decresce com o aumento no teor de  $R_2O_3$  livres.

Na Figura 6 estão representados as frações de Zn provenientes do solo e do fertilizante. As quantidades de Zn provenientes do fertilizante se aproximam nos 3 solos; entretanto, as quantidades vindas do solo, que constituem alta porcentagem do total, variaram com os solos. Maior quantidade foi absorvida no solo 1, seguida do solo 2 e 3.

Na Figura 7 se indicam os valores "L" obtidos em função das doses de P e de Zn aplicados para os três solos estudados. Se observa que o valor "L" é influenciado por tratamentos de P e Zn e é diferente nos três solos. Resultados semelhantes para o valor "A" calculado com  $^{32}P$  são citados (16, 25, 107). Shaw et al (101) encontraram resultados constantes para o valor "L"\*, com aumento de doses de Zn marcado. Observa-se também na Figura 7, que as doses de P influíram no valor "L". Em trabalhos com  $^{32}P$ , Law (69) encontrou que o valor "A" cresceu com aplicação de N.

Devido a estas variações ocorridas, os valores "A" e "L" têm sido criticado por vários autores (97). Dean (26) afirma que estas técnicas têm uso definitivo na pesquisa de fertilidade de solos. Fried e Dean (43) e outros autores mencionados por Terman (107)

---

\* O trabalho refere-se ao valor "A", entretanto com os conceitos posteriores estabelecidos (16, 42), deveria ser valor "L", uma vez que o Zn aplicado foi equilibrado (misturado) com o solo.

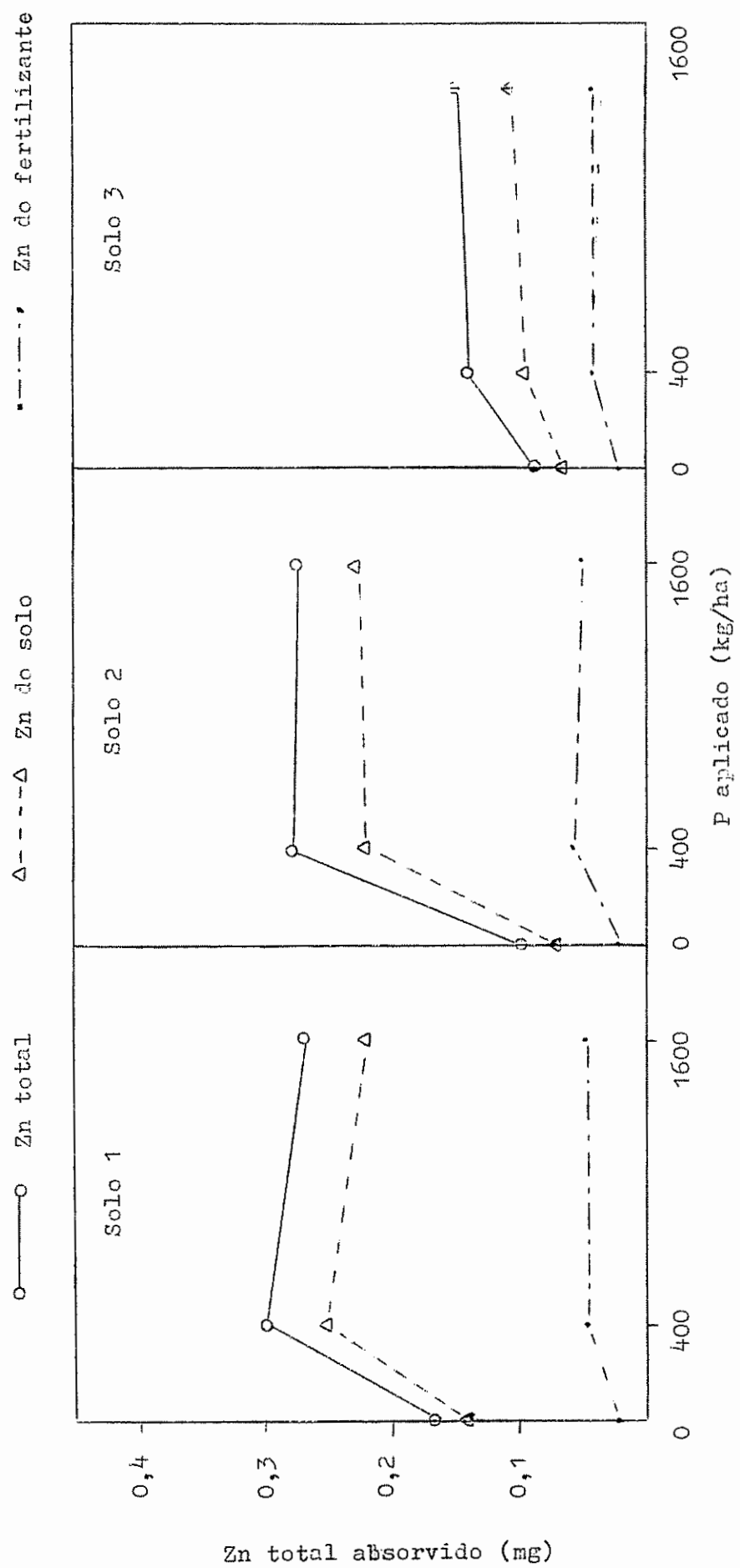


Figura 6. Zinco total absorvido do fertilizante e do solo em função de fósforo aplicado nos 3 solos.



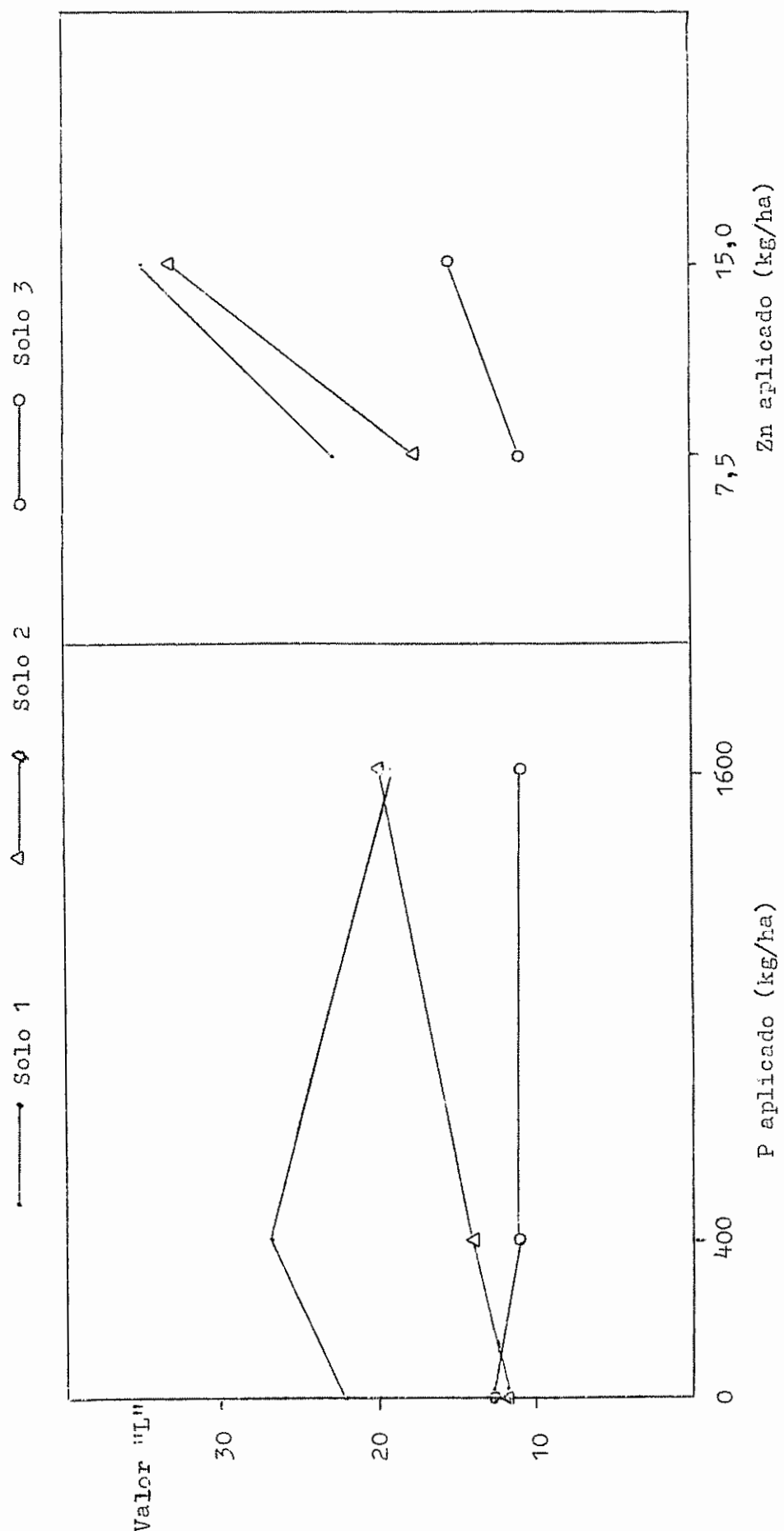


Figura 7. Valor "L" calculado para os 3 solos em função de doses de fósforo e de zinco aplicadas.

referem-se que um simples nível de fertilizante é suficiente para avaliação de fertilidade e outros estudos com fertilizantes marcados. Terman e colaboradores (107), estudando as variações do valor "A" com  $^{32}\text{P}$ , encontraram 3 tipos de situações. Primeiro: em solos com nível baixo ou médio de P disponível com evidente resposta a P, houve aumento na absorção de P do adubo, do solo e o valor "A" calculado aumentou com os níveis de P aplicado. A explicação possível seria a maior exploração do solo pelas raízes; segunda: em solos altos ou muito altos em P com pequena resposta a êste, a absorção de P do adubo aumenta com o incremento de P aplicado porém a absorção de P do solo decresceria, se êstes acréscimos e decréscimos ocorrem na mesma proporção, o valor "A" e a absorção total de P permanecem constante; terceira: em solos médios e altos em P disponível, a absorção de P do fertilizante é incrementada mais que o decréscimo da absorção de P do solo, o valor "A" poderia aumentar ou também decrescer ou permanecer constante.

As variações do valor "L" observadas no presente trabalho poderiam ser enquadradas na primeira situação acima referida, ou seja, baixo teor de Zn, isto considerando tanto a influência de Zn como P aplicados.

Observa-se também (Quadro 8 do Apêndice) que os valores médios de "L" obtidos para cada solo são superiores aos obtidos com os extratores 0,1 N HCl e 0,01 M EDTA; entretanto êstes valores apresentam boas correlações entre si, principalmente com EDTA, como veremos mais adiante no estudo das associações.

As porcentagens de Zn absorvidas pelas plantas em relação ao total de Zn fertilizante aplicado, foram baixas para os 3 solos (solo 1:0,86%; solo 2:0,93% e solo 3:0,75%). Shaw e colaboradores (101) encontraram valores um pouco mais altos por Zn absorvido por aveia colhida após 99 dias de crescimento. O maior período de crescimento e a maior produção de massa vegetal, provavelmente contribuíram para maior absorção de Zn do fertilizante. Estes pesquisadores (101) encontraram também que quando o Zn fertilizante foi misturado com o solo a sua absorção foi aumentada.

As porcentagens de Zn na planta provenientes do fertilizante (Figura 6) pode-se considerar como médias (solo 1:16,7%; solo 2: 19,3% e solo 3: 29%). Lugo (73) obteve com  $^{32}\text{P}$  valores mais altos e mais baixos que os apresentados no presente trabalho. Bornemisza e Fassbender (13) em solos de Costa Rica obtiveram valores baixos como uso de  $^{32}\text{P}$  (entre 3,0% e 0,84%), explicado pela alta capacidade de fixação a P apresentada por estes solos. O valor "L" calculado resultou muito alto.

De acordo com os resultados obtidos para concentração de Zn no tecido vegetal e participação do fertilizante no total de Zn absorvido pelas plantas, podemos concluir, que as quantidades de Zn aplicadas foram pequenas.

#### 4.2.4. Absorção de outros elementos

Os resultados das análises efetuadas no material vegetal para os elementos P, Ca, K, Mg, Mn, Cu, e Fe são apresentados no

Quadro 9 do Apêndice. Observa-se que as médias de concentrações de P foram 0,23%, 0,20% e 0,18%, para os solos 1, 2 e 3 respectivamente, e estão em uma categoria considerada como baixa (5, 54). As médias para concentração de P nos tratamentos sem fósforo foram 0,12, 0,13 e 0,15%, para os solos 1, 2 e 3 respectivamente e são consideradas como nível deficiente (5, 23, 54). Sintomas visuais típicos de deficiência de P foram observados nas plantas crescidas nos três solos. Para os tratamentos com P = 400 kg/ha, as médias foram 0,16%, 0,16 e 0,15% para os solos 1, 2 e 3, respectivamente, considerados em categoria baixa ou deficiente (5, 54); sintomas de deficiências ainda apareceram nos solos 2 e 3, em menor escala. Ao aumentar a dose para 1600 kg/ha as concentrações médias de P no tecido vegetal foram, 0,29%, 0,23% e 0,21% para os solos 1, 2 e 3 respectivamente. De acordo com Jones (54) e Bingham (5), somente para o solo 1 o nível de P no tecido vegetal estaria em nível suficiente (entre 0,25 e 0,40%); as médias para os solos 2 e 3 estão em categoria considerada baixa (de 0,16% a 0,24%), segundo os autores (5, 54). Estes resultados comprovaram a alta capacidade de fixação de P em solos da região (34, 35), como também estão de acordo, com os testes de fixação efetuados no presente estudo (Figura 3 de Apêndice). As médias para o total de P extraído pelas plantas em cada solo, 31,09 mg, 20,73 mg e 14,36 mg respectivamente para os solos 1, 2 e 3, evidenciam também o problema de fixação de P antes referido.

Observa-se também (Quadro 9 do Apêndice) que com exceção de Fe

e Cu as concentrações dos outros elementos no tecido vegetal decresceram com aplicação de P. Este seria um efeito de diluição destes elementos devido ao crescimento das plantas, provocado pela adição de P. Nota-se que a absorção total de Ca, K, Mg é aumentada com a dose 1 de P e se mantém constante com a dose 2 de P. Para Mn, Cu e Fe há uma tendência de aumentar com as doses 1 e 2 de P. A dose 2 de P no solo 1 tende a diminuir o total absorvido de Mn.

As médias de concentração de Ca, Mg apresentam-se na seguinte ordem: solo 1 < solo 2 < solo 3; enquanto que para K a ordem de concentração no tecido vegetal é inversa. Estas relações podem ser explicadas com base na disponibilidade desses elementos no solo (principalmente no caso de K), como também, provavelmente, devido ao efeito antagônico existente entre Ca + Mg e K (2, 123).

#### 4.3. Interpretação final

Tomando em conta as três variáveis estudadas, isto é, teores de óxidos livres, doses de fósforo e doses de zinco, se observou que existe efeito desses fatores tanto no teor de zinco no solo como na parte aérea da planta. Cada fator afetou significativamente o teor de zinco no solo e na planta. Quanto às interações observadas se verifica que as mais importantes foram entre o solo e o zinco tanto no teor extraível como na absorção e concentração de zinco na planta. O efeito de P foi sempre significativo, embora haja atuado independentemente.

Os resultados do estudo de associações são apresentados nos

Quadros 10 à 16 do Apêndice. Se correlacionaram os resultados obtidos no ensaio biológico com os obtidos no ensaio químico. Neste estudo se computaram os tratamentos extras com  $P = 0$ . As correlações foram obtidas entre tratamentos em total, como também entre grupos de tratamentos.

Nos Quadros 3 e 4 estão, resumidas as correlações de maior interesse para a comparação dos métodos de extração de Zn, 0,1 N HCl e 0,01 M EDTA. Os dados do Quadro 3 foram obtidos correlacionando todos tratamentos do experimento biológico e os equivalentes do experimento químico, enquanto no Quadro 4 somente se usaram os tratamentos com doses 7,5 e 15,0 kg/ha de Zn, necessários para o cálculo do valor "L".

A confiabilidade apresentada pelos coeficientes de correlações lineares está avaliada em função da porcentagem de associação ( $R^2 \times 100$ ). Para este propósito se considerou como significativa uma porcentagem de associação, maior que 30%\*.

Nos Quadros 3 e 4 observa-se de uma maneira geral que o método de extração com EDTA, apresenta maior correlação com o Zn total absorvido pela planta que HCl. Por outro lado, as correlações entre métodos de análises e concentração de Zn na massa vegetal são bastante irregulares; nota-se que somente com os tratamentos com  $P = 1600$  kg/ha ( $P = 2$ ) houve correlações significativas; para os tratamentos com  $P = 0$ , verificam-se correlações negativas significativas.

---

\* Comunicação pessoal de Dr. Gilberto Pérez.

Quadro 3. Coeficientes de correlações lineares obtidos entre todos os tratamentos do ensaio biológico e os equivalentes do ensaio químico.

	EDTA 4 dias	EDTA 22 dias	EDTA 35 dias	HCl 4 dias	HCl 22 dias	HCl 35 dias
Zn Total absorvido						
entre todos tratamentos	0,862	0,530	0,352	0,410	0,353	0,372
entre tratamentos com P = 0	0,866	0,914	0,887	0,480	0,562	0,915
entre tratamentos com P = 1	0,961	0,814	0,733	0,694	0,644	0,536
entre tratamentos com P = 2	0,912	0,948	0,831	0,919	0,719	0,842
entre tratamentos com Zn = 0	0,922	0,917	0,872	0,976	0,957	0,756
entre tratamentos com Zn = 1	0,759	0,792	0,825	0,307	0,539	0,628
entre tratamentos com Zn = 2	0,962	0,630	0,274	0,533	0,591	0,467
entre tratamentos com Solo 1	0,938	0,693	0,253	0,535	0,567	0,487
entre tratamentos com Solo 2	0,845	0,886	0,831	0,458	0,433	0,877
entre tratamentos com Solo 3	0,924	0,928	0,912	0,787	0,910	0,862
Concentração de Zn						
entre todos tratamentos	0,016	0,140	0,085	0,423	0,306	0,335
entre tratamentos com P = 0	-0,835	-0,772	-0,810	-0,999	-0,991	-0,052
entre tratamentos com P = 1	-0,115	0,161	0,137	0,220	0,325	0,349
entre tratamentos com P = 2	0,847	0,878	0,831	0,803	0,682	0,763
entre tratamentos com Zn = 0	0,275	0,237	0,229	0,659	0,418	0,255
entre tratamentos com Zn = 1	-0,356	-0,373	-0,282	0,323	-0,145	-0,072
entre tratamentos com Zn = 2	-0,628	-0,447	-0,339	-0,387	-0,435	-0,475
entre tratamentos com Solo 1	-0,266	-0,165	-0,009	0,227	0,094	-0,007
entre tratamentos com Solo 2	0,627	0,532	0,544	0,779	0,348	0,756
entre tratamentos com Solo 3	0,225	0,129	0,065	0,540	0,500	0,511

Significação R > 0.548

Quadro 4. Coeficientes de correlações lineares obtidos entre tratamentos do ensaio biológico com doses de Zn de 7,5 e 15 kg/ha e os tratamentos equivalentes do ensaio químico.

	EDTA 4 dias	EDTA 22 dias	EDTA 35 dias	HCl 4 dias	HCl 22 dias	HCl 35 dias
Zn total absorvido						
entre todos tratamentos	0,915	0,567	0,339	0,468	0,384	0,430
entre tratamentos com P = 0	0,866	0,914	0,887	0,480	0,563	0,915
entre tratamentos com F = 1	0,986	0,878	0,782	0,850	0,781	0,616
entre tratamentos com P = 2	0,900	0,946	0,734	0,883	0,469	0,800
Concentração de Zn						
entre todos tratamentos	-0,322	-0,240	0,219	0,066	-0,164	-0,072
entre tratamentos com P = 0	-0,835	-0,772	-0,810	-0,999	-0,991	-0,052
entre tratamentos com P = 1	-0,398	0,133	0,156	0,149	-0,025	0,013
entre tratamentos com P = 2	0,687	0,755	0,402	0,601	0,307	0,590
Valor "L"						
entre todos tratamentos	0,912	0,561	0,333	0,464	0,379	0,424
entre tratamentos com P = 0	0,760	0,825	0,788	0,312	0,402	0,973
entre tratamentos com P = 1	0,985	0,873	0,779	0,848	0,777	0,614
entre tratamentos com P = 2	0,876	0,921	0,711	0,868	0,470	0,764

Significação R > 0,548



Isto demonstra a influência do desequilíbrio nutritivo na concentração de nutrientes no tecido vegetal. Jackson (53) indica que o desequilíbrio nutritivo pode causar erros na interpretação de análises do tecido vegetal. Rubinstein (96), encontrou correlações baixas entre análises de solo para Zn e concentração de Zn na parte aérea do cafeeiro (Coffea arabica), e este fato talvez esteja relacionado ao desequilíbrio de nutrientes existentes nos solos estudados.

No Quadro 3 observa-se uma tendência de ambos métodos de análises, principalmente para HCl, de baixar os coeficientes de correlação com o aumento de Zn no solo. Nota-se que estes coeficientes diminuem como aumento das doses de Zn como também com o aumento de Zn disponível em cada solo. Assim, maiores correlações são obtidas no solo, mais pobre em Zn. Estes resultados parecem relacionados com a interação "método vs solo" discutido anteriormente.

Há uma tendência geral em ambos métodos de análises e principalmente para EDTA de apresentar correlações mais altas com análises feita 4 dias após aplicação de Zn nos solos.

Trierweiler e Lindsay (112) obtiveram coeficientes de correlações mais altos entre os extratores EDTA e HCl e a concentração de Zn foliar em milho (Zea mays), com baixo nível de P. Entretanto as correlações entre EDTA e concentração de Zn no tecido vegetal a altos níveis de P foram mais baixos que os valores encontrados no presente trabalho. Por outro lado as correlações entre EDTA e Zn total no tecido da planta, a baixos e altos níveis de P encontradas

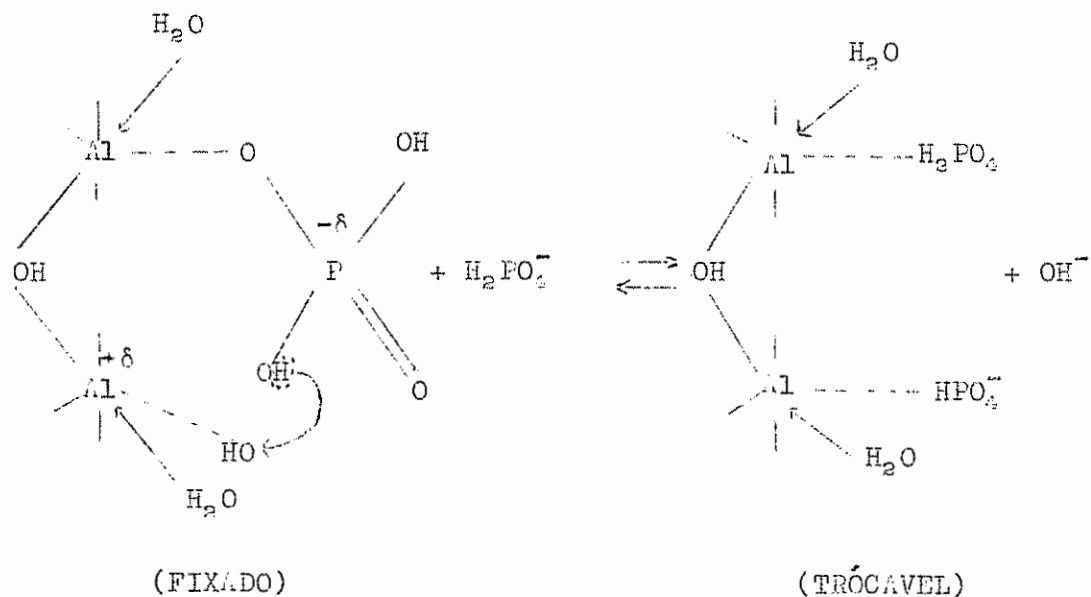
no presente trabalho, são um pouco maiores que as encontradas por aqueles pesquisadores (112), se bem que devemos mencionar que trabalharam com maior número de solos.

Da mesma maneira o valor "L" apresenta correlações mais altas com métodos de EDTA (Quadro 4).

Correlações entre métodos de análises e peso seco da planta, apresentam valores significativos nos tratamentos com P = 0 e P = 1600 kg/ha. Estes dados são de pouco valor uma vez que o peso da matéria seca teve maior influência de P.

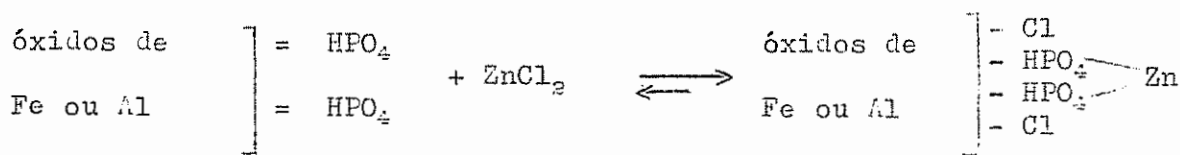
O aumento do Zn solúvel nos solos em HCl e em EDTA, com aplicações de P, assim como as altas correlações encontradas entre métodos de análises para Zn disponível e os totais de Zn absorvidos pelas plantas a baixos e altos níveis de P, evidenciam que houve uma maior liberação de Zn no solo com adição de P; estas correlações são mais significativas com Zn extraído por EDTA.

No presente estudo onde se utilizou solos com influências de cinzas vulcânicas, o fósforo aplicado é retido em forma de fosfatos de alumínio de tipo  $Al(OH)_2 \cdot H_2PO_4$  (variscita) (63). A baixas concentrações de P a precipitação não chega ser significativa e a maioria poderia estar absorvida na superfície dos hidróxidos de Fe e Al. De acordo com Kafikafi e colaboradores (57), a baixas concentrações de P a união se dá com o Al das extremidades do absorvente, enquanto que com altas concentrações (> 200 ppm) a retenção poderia estar relacionada com a penetração do P nas regiões amorfas ou seja associado aos óxidos livres. Os autores representam a retenção da seguinte forma:



Quando o fósforo fixado a baixas concentrações entra em contato com doses maiores de P, a forma fixada se torna trocável.

Com respeito ao Zn, Stanton e Burger (104) postularam a seguinte reação como limitando a disponibilidade:



O presente estudo não mostra nenhuma evidência nesse sentido, a não ser o efeito depressivo dos óxidos de Al e Fe sobre o zinco extraído e absorvido pelas plantas.

A retenção de zinco pelo solo 3, encontrada com agitação de 50 ppm de <sup>65</sup>Zn indicou uma adsorção bastante alta (Figura 8). Nesse caso, o solo utilizado não recebeu tratamento de P, e a retenção

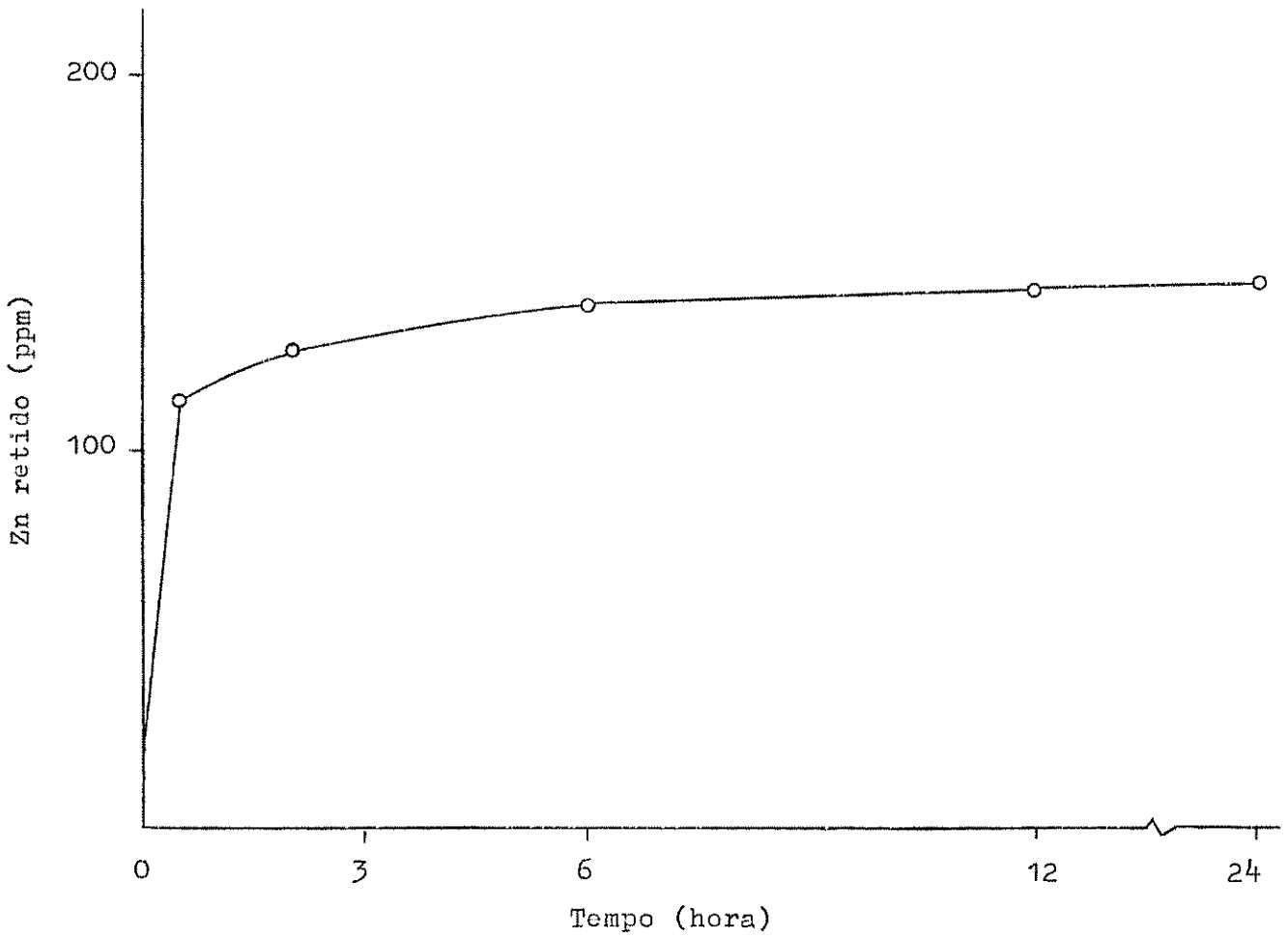


Figura 8. Retençã~o de zinco no solo alto em sesquióxidos (solo 3), em funçã~o do tempo de agitaçã~o.

foi por um mecanismo diferente do indicado por Stanton e Burger (104). A possibilidade de formação de  $Zn SiO_3$  no solo foi descartada por Norvell e Lindsay (90) embora haja indicações de que  $Zn^{++}$ , mesmo a baixas concentrações, reage rapidamente com minerais silicatados. Considerando estes solos de origem vulcânica com presença de materiais amorfos existiria essa possibilidade embora não haja nenhum estudo a respeito.

Em linhas gerais, os dados obtidos sugerem que a indução de deficiência de zinco por efeito de P nos solos estudados é pouco provável. Como a formação de fosfatos de Zn insolúveis é mais evidenciada com pH altos (56, 114), a possibilidade de formação desses compostos é menor devido a reação ácida normalmente apresentada por estes solos. Melton e colaboradores (80) em 20 solos de Michigan, encontraram que a aplicação de 500 pp2m de P geralmente induziu uma grande deficiência de Zn nos solos com pH acima de 7,0. Por outro lado, a alta fixação de P nesses solos tem como resultado que, para ter elevados teores de P no tecido vegetal que viessem provocar efeito antagônico sobre o zinco, seria necessário aplicar quantidades altíssimas de P o que é pouco provável na prática considerando as condições de agricultura local.

As análises dos solos e das plantas mostram que a ordem de deficiência de Zn é, solo 3 > solo 2 > solo 1. As plantas no solo 3 apresentaram sintomas típicos de deficiências de Zn com os tratamentos com Zn = 0 kg/ha e P = 1600 kg/ha. Este foi, principalmente, efeito de um desequilíbrio nutritivo devido a presença de P e de

outros elementos, associado a um baixo teor de Zn disponível neste solo (entre 0,3 a 0,9 ppm extraído com EDTA), enquanto que o nível crítico para Zn encontrado em 42 solos calcáreos de Colorado por Trierweiler e Lindsay (112) foi de 1,3 ppm com 0,01 M EDTA e 1 M  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .

## 5. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos neste estudo, foram destacadas as seguintes conclusões:

1. Os solos estudados apresentaram baixos teores de zinco total e disponível. Quanto maior foi a concentração de óxidos de Al e Fe livres, menores foram as quantidades de Zn extraídas com EDTA e HCl.
2. As quantidades de Zn extraídas pelos dois métodos aumentaram com as doses de Zn aplicadas.
3. A aplicação de fósforo aumentou o Zn extraído com EDTA nos 3 solos, enquanto que no caso de HCl o efeito não foi definido.
4. A quantidade de zinco absorvido pelas plantas aumentou com a aplicação de zinco e diminuiu a medida que aumentou o teor de  $R_2O$  nos solos.
5. A produção de matéria seca foi significativamente afetada pela aplicação de P, de Zn e teor de  $R_2O_3$  livres.
6. O valor de zinco disponível calculado - valor L - está diretamente relacionado com o teor total de Zn no solo. Este valor foi afetado pela aplicação de zinco ou fósforo nos 3 solos estudados.
7. Não houve efeito interativo entre  $R_2O_3$  livres e P sobre a absorção de Zn pelas plantas.

8. A fixação de fósforo e zinco aumentou com os teores de  $R_2O_3$  livres. Não existe uma interação direta de zinco e fósforo no solo embora se observa que a fração de Zn extraível com EDTA aumenta em função de doses de P.
9. O método de extração de Zn com EDTA apresentou melhores correlações com o total de Zn absorvido pelas plantas e com o valor "L" calculado para os 3 solos de que o método com HCl.
10. A ordem de deficiência de zinco nos 3 solos em função dos teores totais, extraível e absorvido pelas plantas, foi: solo 3 > solo 2 > solo 1.



## 6. RESUMO

O presente estudo foi levado a cabo nos laboratórios e casa de vegetação do Centro de Ensino e Pesquisa do Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA, em Turrialba, Costa Rica.

O objetivo principal d'êste estudo foi o de observar a influência de concentrações de fósforo e de óxidos livres de ferro e alumínio ( $R_2O_3$ ), na absorção de  $^{65}Zn$  por milho (Zea mays L.). Os solos estudados são de origem vulcânica e foram escolhidos baseados nas deficiências de Zn, observadas em plantas de café (Coffea arabica L.) e análises prévias de  $R_2O_3$  efetuadas em várias amostras.

Os experimentos consistiram em análises de Zn disponível pelos métodos de extração com HCl 0,1 N e EDTA 0,01 M, de solos incubados e resposta de tratamentos de Zn, P e solo ( $R_2O$ ) em plantas de milho constituindo um desenho fatorial.

Os resultados d'êste estudo indicam que as quantidades de Zn extraídas com HCl 0,1 N e EDTA 0,01 M aumentaram em função de doses de Zn aplicadas nos 3 solos. Entre solos, as quantidades extraídas diminuíram com o aumento do teor de  $R_2O_3$ . As quantidades de Zn extraídas com EDTA 0,01 M aumentaram com aplicações de P nos 3 solos, enquanto que para o HCl 0,1 N o efeito não foi definido.

A produção de matéria sêca foi significativamente influenciada pela aplicação de P nos 3 solos (0,01%); entre solos maiores produções se obtiveram nos solos com menores teores de  $R_2O_3$ . A aplicação de Zn aumentou a produção de matéria sêca significativamente (0,01%) nos 3 solos estudados.

O total de Zn absorvido pelas plantas foi significativamente influenciado pela aplicação de Zn nos 3 solos, enquanto que as concentrações de Zn nos tecidos, decresceram com o aumento de P aplicado. O efeito de diluição nas concentrações de Zn se observa devido a um aumento no crescimento das plantas promovido pelo fósforo, embora caso de antagonismo entre Zn e P, parece ser observado no solo com o menor teor de  $R_2O_3$  livres e maior quantidade de P disponível.

O Zn disponível do solo calculado, - valor L - se correlacionou com os teores de Zn total e extraível com HCl 0,1 N e EDTA 0,01 M. O valor "L" variou com doses de fósforo e zinco aplicadas, concordando com observações efetuadas recentemente por outros pesquisadores.

Deficiências de Zn podem ocorrer em solos com altos teores de  $R_2O_3$ , baixos teores de Zn disponível e altas doses de P aplicadas, as quais provocam um desequilíbrio nutricional; as deficiências podem ser corrigidas com aplicação de Zn. Nas condições estudadas o P e  $R_2O_3$  atuaram independentemente, não havendo interação entre ambos no crescimento e absorção de Zn pelas plantas.

O método de extração de Zn com EDTA 0,01 M, correlacionou melhor com o Zn absorvido pelas plantas de milho, do que o método com HCl 0,1 N.

## 6a. SUMMARY

This study was undertaken at the Training and Research Center of the Inter-American Institute of Agricultural Science, at Turrialba, Costa Rica.

The main objective of this study was to observe the effect of phosphate, free iron and aluminium oxides ( $R_2O_3$ ) upon  $^{65}Zn$  absorption by corn plant (Zea mays L.). For this purpose, three soils were selected from zinc deficient areas of the Meseta Central, Costa Rica. The soil were selected also based on preliminary analysis for free oxides content.

The experiments consisted in analysing available zinc by 0,1 N HCl and 0,01 M EDTA of incubated soil samples at greenhouse. A factorial design was used in order to study corn response to Zn and P applied in three selected soils.

The results indicated that available zinc extracted with 0,1 N HCl and 0,01 M EDTA increased with increase in Zn applied in the soil. The amount extracted decreased as the  $R_2O_3$  content increased. There was also an increase in Zn extracted with EDTA as the P applied increased, although for the 0,1 N HCl the same trend was not observed.

The dry matter yield was significantly increased with P application in 3 soils (0,01%), and highest yield was obtained when the soil contained less amount of free  $R_2O_3$ . Zinc application also increased the dry matter significantly (0,01%) in the soils studied.

Total zinc absorbed by corn plants was significantly increased by Zn application in all soils, while the concentrations of Zn in the tissue decreased with increase in P application. Plant growth caused a dilution effect upon zinc concentration, although the antagonism between Zn and P seems to be observed for the low  $R_2O_3$  soil and high P dosis.

Calculated "L" value correlated with total and 0.1 N HCl and 0,01 M EDTA extractable Zn. The calculated "L" value was not constant and varied with P and Zn application. This is in agreement with recent observation by other authors.

From the results presented, zinc deficiency might occur in soils with hight free  $R_2O_3$  content, low available zinc associated with hight P application, which promote nutrient umbalance. Deficiency can be corrected by application of zinc salts. Under present experimental conditions the P and  $R_2O_3$  acted independently and no interaction between both factors were observed in relation to growth and absorption of zinc by corn plant. Between the extractions methods for available Zn, 0,01 M EDTA showed better correlations with absorbed zinc by corn than 0,1 N HCl methods.

7. LITERATURA CITADA

1. ARKLEY, T. H., MUNNS, D. N. e JOHNSON, C. M. Preparation of plant tissue for micronutrient analysis. Removal of dust and spray contaminants. *Agricultural and Food Chemistry* 8(4):318-321. 1960.
2. BARBER, A. S. Mechanism of potassium absorption by plants. In Kilmer, V. J. et al, eds. *The role of potassium in agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, 1968. pp. 293-310.
3. BAUGMAN, M. N. The effect of organic matter on the retention of zinc by the soil. *Dissertation Abstracts* 16(5):839. 1965.
4. BERGER, K. C. e PRATT, F. P. Advances in secondary and micro-nutrient fertilization. In McVickor, M. H. et al, eds. *Fertilizer technology and usage*. Madison, Soil Science Society of America, 1963. pp. 287-340.
5. BINGHAM, F. T. Phosphorus. In Chapman, H. D., ed. *Diagnostic criteria for plantas and soils*. Berkeley, California, Division of Agricultural Sciences, University of California, 1966. pp. 324-361.
6. \_\_\_\_\_ e GARBER, M. J. Solubility and availability of micro nutrients in relation to phosphorus fertilization. *Soil Science Society of America Proceedings* 24(3):209-213. 1960.
7. \_\_\_\_\_ e MARTIN, J. P. Effect of soil P on growth and minor element nutrition of citrus. *Soil Science Society of America Proceedings* 20(3):382-385. 1956.
8. \_\_\_\_\_, PAGE, A. L. e SIMS, J. R. Retention of Cu and Zn by H-montmorillonite. *Soil Science Society of America Proceedings* 28(3):351-354. 1964.
9. BOAWN, L. C. e LEGGETTE, G. E. Zinc deficiency of the Russet Burbank potato. *Soil Science* 95(2):137-141. 1963.
10. \_\_\_\_\_, VIETS, F. G., Jr. e CRAWFORD, C. L. Effect of phosphorus fertilizers on zinc nutrition of field beans. *Soil Science* 78(1):1-7. 1954.
11. \_\_\_\_\_ et al. Effect of nitrogen carrier, nitrogen rate, zinc rate and soil pH on zinc uptake by shorgum, potatoes and sugar beets. *Soil Science* 90(6):329-337. 1960.

12. BORNEMISZA, E. Principios y métodos instrumentales de análisis químicos de suelos; apuntes de classe para o Seminário para Profesores de Solos. Turrialba, IICA, 1969. 97 p. (mimeografado)
13. \_\_\_\_\_ e FASSBENDER, H. W. Uptake of fertilizer phosphate from nine soils from the humid tropics. *Agrochimica* 14(2-3):259-268. 1970.
14. \_\_\_\_\_ e IGUE, K. Posibilidades y límites del uso de trazadores en estudios de suelos. *Fitotecnia Latinoamericana* 3(1-2):67-81. 1966.
15. \_\_\_\_\_ e IGUE, K. Oxidos libres de hierro y aluminio en suelos tropicales. *Turrialba* 17(1):23-30. 1967.
16. BOULDIN, D. R. e BLACK, C. A. Fertilizer evaluation: IV. *Soil Sci. Am. Proc.* 24:491-496. (Original não consultado, citado por Terman, G. L. e Khasawneh, F. E. Crop uptake of fertilizer and soil phosphorus in relation to calculated A values. *Soil Science* 105(5):346-354. 1958).
17. BOWER, C. A. et al. Exchangeable cation analysis of saline and alkaline soils. *Soil Science* 73(4):251-261. 1952.
18. BRADFORD, G. R. et al. Total content of mine mineral elements in fifty selected Benchmark soil profiles of California. *Hilgardia* 38(14):541-556. 1967.
19. BURLESON, L. C. The effect of phosphorus fertilization on zinc nutrition of several irrigated crops. *Soil Science Society of America Proceedings* 25(5):365-368. 1961.
20. \_\_\_\_\_ e PAGE, N. R. Phosphorus and zinc interation in flax. *Soil Science Society of America Proceedings* 31(4): 510-513. 1967.
21. CHAPMAN, H. D. e PRAT, P. F. Methods of analysis for soils, plants and waters. Berkeley, California, Division of Agricultural Sciences, University of California, 1961. 309 p.
22. \_\_\_\_\_. Zinc. In \_\_\_\_\_ ed. Diagnostic criteria for plant and soils. Berkeley, California, Division of Agricultural Sciences, University of California, 1966. pp. 484-499.
23. \_\_\_\_\_. Plant analysis values suggestive of nutrient status of selected crops. In Hardy, G. W. et al., eds. Soil testing and plant analysis. II. Madison, Soil Science Society of America, 1967. pp. 77-92.

24. DAY, R. P. Particle fractionation and particle size analysis. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 545-567.
25. DEAN, L. A. Yield of phosphorus curves. Soil Science Society of America Proceedings 18(4):462-466. 1954.
26. \_\_\_\_\_. Application of radioisotopes to the study of fertility usage; a critique. In Radioisotopes in soil-plant nutrition studies, Proc. Symposium on the use of Radioisotopes in soil-plant nutrition studies. IAE-FAO, Bombay, 1962. pp. 407-417. (Original não consultado, citado em Bornemisza, E. e Igue, K. Posibilidades y límites del uso de trazadores en estudios de suelos. Fitotecnia Latinoamericana 3(1-2):67-81. 1966).
27. DE REMER, E. D. e SMITH, R. L. A preliminary study on the nature of Zn deficiency in field beans as determined by radioactive zinc. Agronomy Journal 56(1):67-70. 1964.
28. DIAZ-ROMEY, R. e BALERDI, F. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Turrialba, IICA, 1967. 3 p. (mimeografiado)
29. DELECOUR, F. Distribution des oligo-éléments cuivre, zinc et molybdène dans les sols forestiers de l'Ardenne Belge. I. Formes totales. Pedologie 18(1):43-62. 1968.
30. \_\_\_\_\_. Distribution des oligo-éléments cuivre, zinc et molybdène dans sols forestiers de l'Ardenne Belge. II. Formes extractibles. Pedologie 18(2):155-175. 1968.
31. DONDOLI, C. B. e TORRES, J. A. Estudio geográfico de la Región Oriental de la Meseta Central. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias, 1954. 180 p.
32. ELGABALY, M. M. Mechanism of Zn fixation by colloidal clays and related minerals. Soil Science 69:167-173. 1950.
33. ELLIS, R., Jr., DAVIS, J. F. e THURLOW, D. L. Zinc availability in calcareous Michigan Soils as influenced by phosphorus level and temperature. Soil Science Society of American Proceedings 28(1):83-86. 1964.
34. FASSBENDER, H. W. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. Fitotecnia Latinoamericana 3(1-2):203-216. 1966.

35. FASSBENDER, H. W. Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rica soils. *Agrochimica* 12(6):512-521. 1968.
36. \_\_\_\_\_ e MOLINA, R. Influencia de enmiendas calcáreas y silicatadas sobre el efecto de fertilizantes fosfatados en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica. In *Panel de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina*, Turrialba, julio 6-13, 1969. Turrialba, IICA, 1969.
37. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Informe de la reunión latinoamericana sobre fertilidad del suelo y fertilizantes. Informe nº 1957/9. Turrialba, Costa Rica. 49 p.
38. FORSYTHE, W. Progresos recientes en el análisis de las partículas de los suelos por medio del método del hidrómetro. *Agronomía (Perú)* 33(1):16-27. 1966.
39. \_\_\_\_\_. Densidad de partículas de suelos; método con agua y con kerozene. Turrialba, IICA, 1967. 10 p. (mimeografiado).
40. FOX, R. L. e PLUCKNETT, D. L. Overliming Hawaiian soils creates problems. *Hawaii Farm Science* 13(3):9-10. 1964.
41. FREITAS, L. M. M., McCLUNG, A. C. e LOTT, W. L. Experimentos de abonos en dos zonas de tierras altas de sabana del Brasil. IBEC Research Institute. Boletim nº 21. 1958-1959. 34 p.
42. FRIED, M. "EP", "L" and "AN" values. In *International Congress of Soil Science, 8th, Bucharest, 1964*. Transactions, Bucharest, Academy of the Socialist Republic of Romania, 1964. v. 4. pp. 29-38.
43. \_\_\_\_\_ e DEAN, L. H. A concept concerning the measurement of available soil nutrients. *Soil Science* 73(4):263-371. 1952.
44. GIORDANO, P. M. e MONTVEDT, J. J. Response of several corn hybrids to level of water-soluble zinc in fertilizers. *Soil Science Society of America Proceedings* 33(1):145-148. 1969.
45. GONZALEZ, C. A. El abonamiento del cafeto; informe divulgativo de los resultados de las investigaciones en progreso. *Suelo Tico* 7(29):144-166. 1953.



46. HANNA, W. J. Methods for chemical analysis of soils. In Bear, F. E., ed. Chemistry of the soil. 2nd. ed. New York, Reinhold, 1964.
47. HEWITT, E. J. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. 2a. ed. Farnham Royal, Bucks, England, Commonwealth Agricultural Bureau, 1966. 547 p.
48. HIBBARD, P. L. Accumulation of zinc on soil under long-persistent vegetation. Soil Science 50:53-55. 1940.
49. HIMES, T. L. Chelating ability of soil organic matter. Dissertation Abstracts 16(5):842-843. 1956.
50. IGUE, K. e BORNEMISZA, E. El problema del Zn en suelos y plantas de regiones tropicales y de zonas templadas. Fitotecnia Latinoamericana 4(1):29-44. 1967.
51. \_\_\_\_\_ e GALLO, J. R. Deficiência de zinco em milho no Estado de São Paulo. IBEC Research Institute. Bulletin nº 20. 1959. 19 p.
52. \_\_\_\_\_, BLANCO, H. G. e ANDRADE SOBRINHO, J. Influência do zinco na produção de milho. Bragantia 21(16):263-269. 1962.
53. JACKSON, M. L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1958. 498 p.
54. JONES, J. B., Jr. Interpretation of plant analysis for several agronomic crops. In Hardy, G. W. et al, eds. Soil testing and plant analysis. II. Madison, Soil Science Society of America, 1967. pp. 293-310.
55. JURINAK, J. J. e BAUER, N. Thermodynamics of zinc adsorption on calcite, dolomite and magnesite-type minerals. Soil Science Society of America Proceedings 20(4):466-471. 1956.
56. \_\_\_\_\_ e INDOUYE, T. S. Some aspects of zinc and copper phosphate formation in aqueous systems. Soil Science Society of American Proceedings 26(2):144-147. 1962.
57. KAFKAFI, U., POSNER, A. M. e QUIRK, J. P. Desorption of phosphate from kaolinite. Soil Science Society of America Proceedings 31(3):348-353. 1967.

58. KANEHIRO, Y. e SHERMAN, G. D. Distribution of total and 0.1 normal hydro-chloric acid-extractable zinc in Hawaiian soil profiles. Soil Science Society of America Proceedings 31(3):394-339. 1967.
59. KEE, N. S. e BLOOMFIELD, D. The effect of flooding and aeration on the mobility of certain trace elements in soil. Plant and Soil 16(1):108-135. 1962.
60. KEEFER, R. F. e SING, R. N. The mechanism of P and Zn interaction in soils as revealed by corn growth and composition. In International Congress of Soil Science, 9th, Sydney, Australia, August 6-16, 1968. Transactions, Sydney, 1968. v. 2, pp. 367-374.
61. KHAM, D. H. Response of sweet corn and rice to phosphorus, zinc, and calcium carbonate on acid Glenview soil. Soil Science 108(6):424-428. 1969.
62. KILMER, V. J. The estimation of free iron oxides in soils. Soil Science Society of America Proceedings 24(5): 420-421. 1960.
63. KITTRICK, J. A. e JACKSON, M. L. Common ion effect on phosphate solubility. Soil Science 79(6):417-421. 1955.
64. KRANTZ, B. A. e MELSTED, S. W. Nutrient deficiencies in corn, sorghums and small grains. In Sprague, H. B. Hunger signs in crops. New York, David McKay, Co., 1964. pp. 25-58.
65. LAKER, M. C. Opname van sink en fosfor deur plant wit 'n sand-grond. South African Journal of Agricultural Science 10(2):323-330. 1967.
66. LANGIN, E. J. et al. Factors responsible for poor response of corn and grain sorghum to phosphorus fertilization. II. Lime and P placement effects on Zn-P relations. Soil Sciences Society of America Proceedings 26(6):574-578. 1962.
67. LARSEN, J. The use of <sup>32</sup>P in studies on the uptake of phosphorus by plants. Plant and Soil 4(1):1-10. 1952.

68. LARSEN, J. 1950. Studies on the uptake of phosphorus in plant with radiophosphorus as an indicator, K. Veteronaer-og Landbohjakole, Copenhagen, Denmark. (Original não consultado, citado em Fried, M. "E", "L" and "A" values. In International Congress of Soil Science, 8th, Bucharest, 1964. Transactions, Bucharest, Academy of the Socialist Republic of Romania, 1964. v. 4, pp. 29-38.
69. LAWS, W. D. 1965. "Phosphate fertilizers for crop production in the Blacklands". Texas Research Foundation. Bul. 21. (Original não consultado, citado em Terman, G. L. e Khasawmeh, F. E. Crop uptake of fertilizer and soil phosphorus in relation to calculated A values. Soil Science 105(5):346-354. 1968).
70. LE RICHE, H. H. e WEIR, A. H. A method of studying trace element in soil fractions. Journal of Soil Science 14(2):225-235. 1963.
71. LINDSAY, W. L. e NORVELL, W. A. Equilibrium relationships of  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  and  $H^{+}$  with EDTA and DTPA in soils, Soil Science Society of America Proceedings 33(1):62-68. 1969.
72. LOTT, W. L. et al. Estudio de cafetales de San Pablo e Paraná mediante análisis foliar. IBEC Research Institute. Buletin nº 21. 1958-1959. 34 p.
73. LUGO, J. C. Determinación de la eficiencia de uso de fertilizantes mediante el  $^{32}P$  y  $^{15}N$  en algunos suelos del Perú. In Comisión Interamericana de Energía Nuclear, Primera Reunión, Santiago, Chile, enero 9-12, 1968. Aplicación de la energía nuclear al aumento de la productividad agrícola. Washington, D. C., Unión Panamericana, 1969. pp. 187-204.
74. LYMAN, C. e DEAN, L. A. Zinc deficiency of pineapples in relation to soil and plant composition. Soil Science 54(5):315-323. 1942.
75. MALAVOLTA, E. et al. Nutrição mineral de algumas culturas tropicais. São Paulo, Ed. Pioneira, 1967. 251 p.
76. \_\_\_\_\_. Manual de química agrícola. São Paulo, Ed. "Ceres", 1968. 606 p.
77. MARTENS, D. C. Plant availability of extractable boron, copper and zinc as related to selected soil proprieties. Soil Science 106(1):23-28. 1968.

78. MARTINI, J. A. Caracterización del estado nutricional de los principales "latosoles" de Costa Rica, mediante técnica del elemento faltante en el invernadero. Turrialba 19(3): 349-408. 1969.
79. MEKHAEL, D., AMER, F. e KADRY, L. Comparison of isotope dilution methods for estimation of plant-available soil phosphorus. In Symposium on the use of isotopes and radiation in soil-plant nutrition studies. Proceedings. Viena, International Atomic Energy Agency, 1965. pp.437-448.
80. MELTON, J. R., ELLIS, B. G. e DOLL, E. C. Zinc, phosphorus and lime interaction with yield and zinc uptake by Phaseolus vulgaris. Soil Science Society of America Proceedings 34(1):91-93. 1970.
81. MITCHELL, R. L. Trace elements in soils. In Bear, F. E., ed. Chemistry of the Soil. New York, Reinhold, 1964. pp. 320-368.
82. MISRA, S. G. e TIWARI, R. C. Studies on the chemistry of copper and zinc applied to three different soils - a comparative study. Soil Science and Plant Nutrition 12(3):6-9. 1966.
83. MOSQUERA G., L. Génesis y propiedades de los suelos de una secuencia topográfica en el trópico húmedo cálido. Tese Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1969. 141 p. (mimeografiada)
84. MÜLLER, L. E. Algunas deficiencias minerales comunes en el cafeto (Coffea arabica L.). Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Boletín Técnico nº 4. 1959. 65 p.
85. NAIR, G. C. K. e MEHTA, B. V. Status of zinc in soils of Western India. Soil Science 87(3):155-159. 1959.
86. NALOVIC, L. e PINTA, M. Recherches sur les éléments traces dans les sols tropicaux: étude de quelques sols de Madagascar. Geoderma 3(2):117-132. 1969.
87. NAVROT, J. e RAVIKOVITCH, S. Zinc availability in calcareous soils. III. The level and properties of calcium in soils and its influence on zinc availability. Soil Science 108(1):30-37. 1969.
88. NELSON, J. L. e MELSTED, S. W. The chemistry of zinc added to soils and clays. Soil Science Society of America Proceedings 28(3):351-354. 1964.

89. NELSON, L. B. Advances in fertilizers. *Advances in Agronomy* 17:1-80. 1965.
90. NORVELL, W. A. e LINDSAY, W. L. Lack of evidence for  $ZnSiO_3$  in soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 34(2):360-361. 1970.
91. OLSEN, S. R. et al. Phosphorus. In Black, C. A. et al., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of America, Publ. 1965. pp. 1035-1049.
92. PAULI, A. W., ELLIS, R. Jr. e MOSER, H. C. Zinc uptake and translocation as influenced by phosphorus and calcium carbonate. *Agronomy Journal* 60(4):394-396. 1968.
93. PRATT, P. F. et al. Chemical changes in an irrigated soil during 28 years of diferencial fertilization. *Hilgardia* 28(15):381-420. 1959.
94. REID, P. H. e COPELAND, C. Analytical methods used by the Soil Testing Division North Carolina Department of Agriculture. Raleigh, 1969. 19 p. (mimeografado)
95. REUTHER, W. et al. Phosphorus trials with oranges in Florida. I. Effects on yield, growth and leaf and soil composition. *Proceedings of the American Society for Horticultural Sciences* 52:71-84. 1949.
96. RUBINSTEIN, J. K. Determinación de cobre y zinc en suelos y plantas de café por espectrofotometría de absorción atómica. Tese Lic. Quim. San José, Universidad de Costa Rica, 1968. 68 p. (mimeografado)
97. RUSSELL, R. S., RICKKISON, J. B. e ADAMS, S. N. Isotopic equilibria between phosphates in soil and their significance in the assessment of fertility by traces methods. *Journal Soil Science* 5(1):85-105. 1954.
98. SAIZ DEL RIO, J. F. e BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos; métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, IICA, 1961. 107 p.
99. SEATZ, L. F. e JURINAK, J. J. Zinc and soil fertility. U.S. Department of Agriculture. *Yearbook-Soil* 1957:115-121.
100. SHARMA, K. C. et al. Interaction of Zn and P in top and root of corn in tomato. *Agronomy Journal* 60(5):453-456. 1968.

101. SHAW, E., MENZEL, R. G. e DEAN, L. A. Plant uptake of zinc 65 from soils and fertilizers in the Greenhouse. Soil Science 77(3):205-214. 1954.
102. STANTON, D. A. e BURGER, R. T. Studies on Zn in selected Orange Free State Soil. I An assessment of the zinc status of surface soils. South African Journal of Agricultural Science 9(3):601-616. 1966.
103. \_\_\_\_\_ e BURGER, R. T. Studies on zinc in selected Orange Free State Soils. III. Zn content of iron concretions occurring in the soil. South African Journal of Agricultural Science 10(3):569-574. 1967.
104. \_\_\_\_\_ e BURGER, R. T. Availability to plants of zinc sorbed by soil and hydrous iron oxids. Geoderma 1(1):13-17. 1967.
105. STEWART, J. A. e BERG, K. C. Estimation of available soil zinc using magnesium chloride as extractant. Soil Science 100(4):244-250. 1965.
106. STUKENHOLTZ, D. D. et al. On mechanism of phosphorus-zinc interaction in corn nutrition. Soil Science Society of America Proceedings 30(6):759-763. 1966.
107. TERMAN, G. L. e KHASAWNER, F. E. Crop uptake of fertilizer and soil phosphorus in relation to calculated A values. Soil Science 105(5):346-354. 1968.
108. \_\_\_\_\_. Zinc deficiency and its control. Advances in Agronomy 9:31-65. 1957.
109. \_\_\_\_\_ e WANN, F. B. Nutrient deficiencies in Utah orchards. Utah Agricultural Experimental Station. Bulletin no 338. 1950. 29 p.
110. THORNE, D. W., LAWS, W. D. e WALLACE, A. Zinc relationships in some Utah soils. Soil Science 54:463-468. 1942.
111. TISDALE, J. L. e NELSON, W. E. Soil fertility and fertilizers. 2nd. ed. New York, McMillan, 1968. 694 p.
112. TRIERWEILER, J. F. e LINDSAY, W. L. EDTA-Ammonium carbonate soil test for zinc. Soil Science Society of America Proceedings 33(1):49-54. 1969.

113. VARGAS, O. V. e TORRES, J. A. Estudio preliminar de suelos de la región occidental de la Meseta Central. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias. Boletín Técnico nº 22. 1958. 64 p.
114. VIETS, F. G. Jr., BOAWN, L. C. Zinc. In Black, C. A. et al. eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, Inc., 1965. pp. 1090-1101.
115. \_\_\_\_\_, BOAWN, L. C. e CRAWFORD, C. L. Zinc content and deficiency symptoms of 26 crops growth on a zinc deficiency soil. Soil Science 78(4):305-316. 1954.
116. \_\_\_\_\_, BOAWN, L. C. e CRAWFORD, C. L. The effect of nitrogen and types of nitrogen carrier on plant uptake of indigenous and applied Zn. Soil Science Society of America Proceedings 21(2):197-201. 1957.
117. VIRO, P. J. Use of Ethylenediaminetetraacetic acid in soil analysis. I. Experimental. Soil Science 79(6):459-465. 1955.
118. WAUG, D. L. e FITTS, J. W. Soil test interpretation studies: laboratory and potted plant. International Soil Testing. Technical Bulletin nº 3. 33 p. 1966.
119. WEAR, Y. I. Effect of soil pH and calcium on uptake of zinc by plants. Soil Science 81(3):311-315. 1956.
120. \_\_\_\_\_ e EVANS, C. L. Relationship of zinc uptake by corn and sorghum to soil zinc measured by three extractos. Soil Science Society of America Proceedings 32(4): 543-546. 1968.
121. WEST, E. S. Zinc-cured mottle leaf in citrus induced by excessive phosphate. Australian Council Sci. and Indus. Res. Jour. 11(2):182-184. 1938. (Original não consultado, citado em Bingham, F. T. e Martin, J. P. Effects of soil P on growth and minor element nutrition of citrus. Soil Science Society of America Proceedings 20(3): 382-385. 1956).
122. YOSHIDA, S. e TANAKA, A. Zinc deficiency of the rice plant in calcareous soils. Soil Science and plant nutrition 15(2):75-80. 1969.
123. YOUNG, O. R. e PLUCKNETT, D. L. Zinc deficiency reduces Hawaiian crop yields. Hawaiian Farm Science 12(1):4-6. 1963.

A P Ê N D I C E



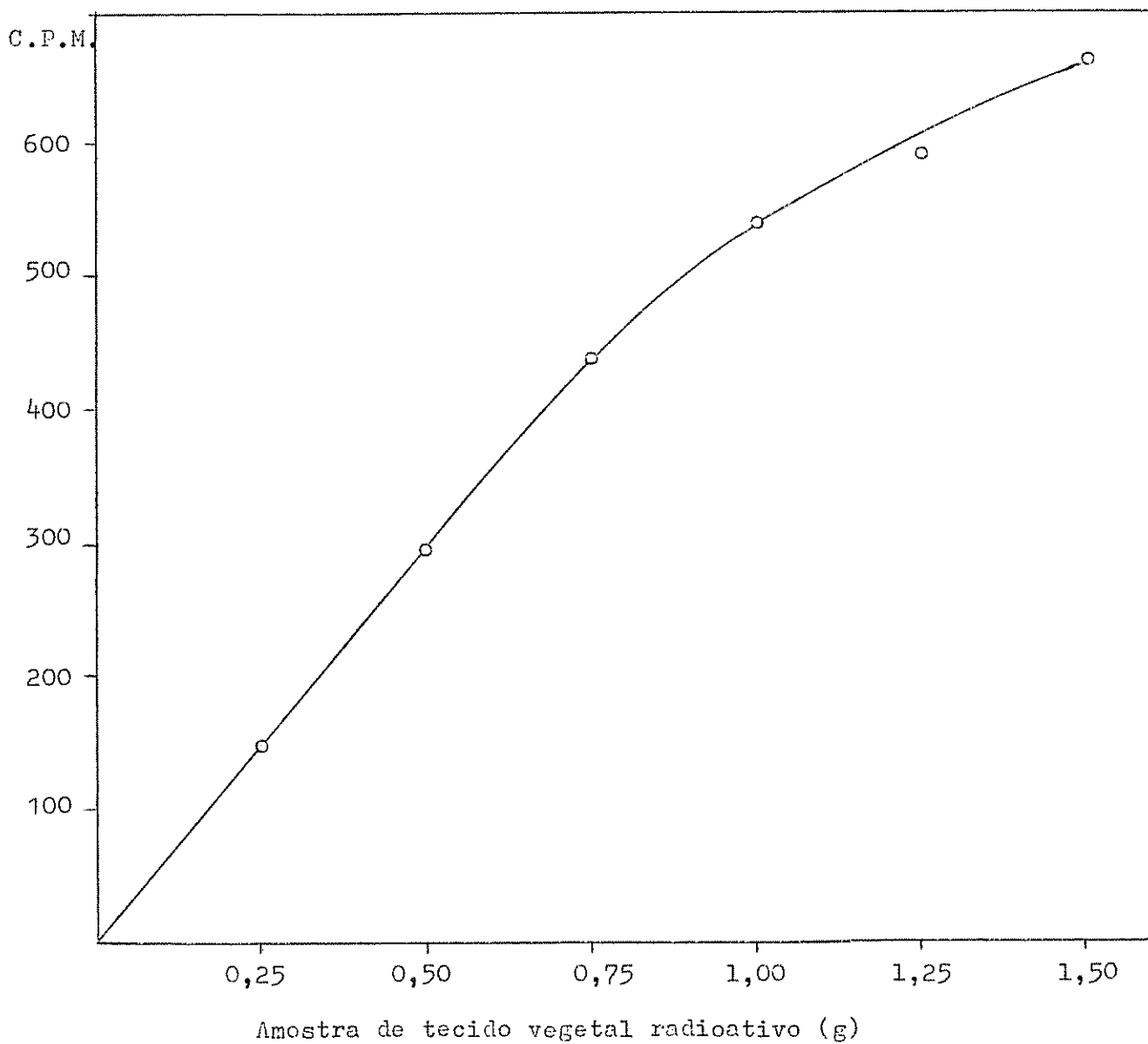


Figura 1. Eficiência do cintilador (NaI) em função do aumento de volume da amostra.

C.P.M.

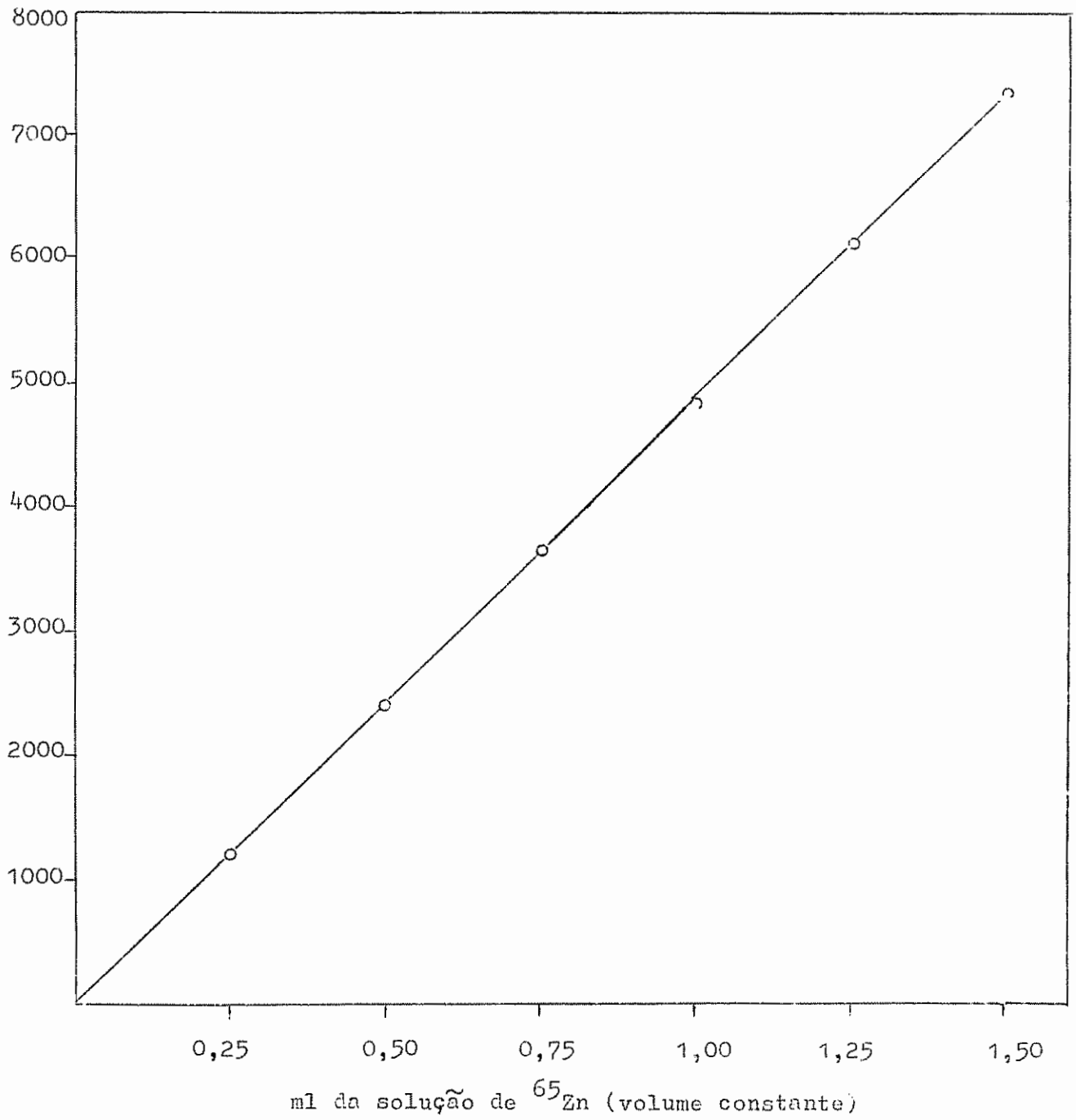


Figura 2. Eficiência do cintilador (NaI) em função do aumento de atividade do  $^{65}\text{Zn}$ .

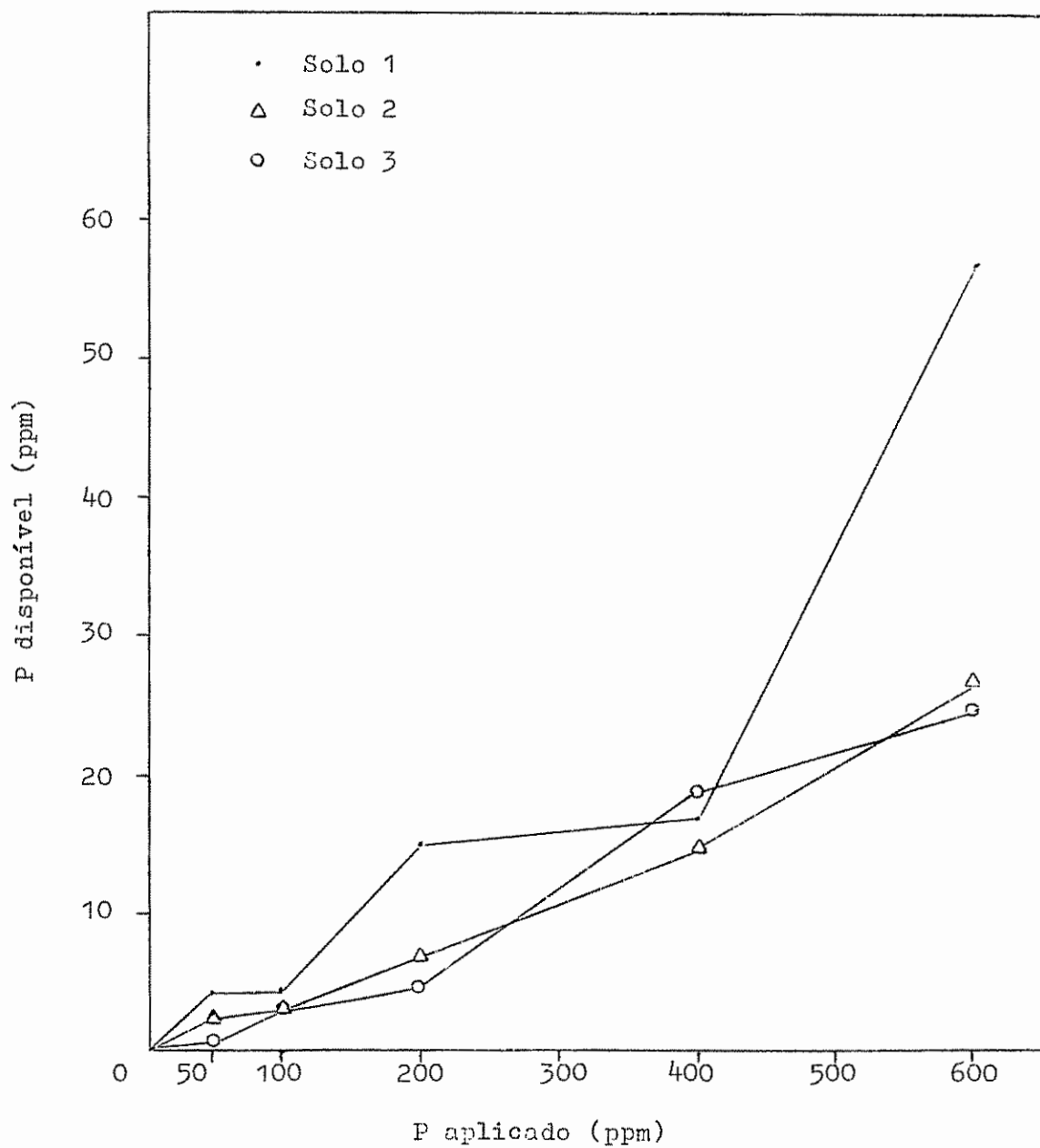


Figura 3. Fósforo disponível em função de doses aplicadas nos 3 solos estudados.

Quadro 1. Características químicas de 10 solos amostrados para estudos iniciais.

ND	Solos	Série	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Zn (ppm)	Deficiência de zinco*
1	Barrial	Heredia	2,6	4,1	6,7	10,0	Notável
2	Hacienda Laguna	Heredia	2,4	5,9	8,3	31,25	leve
3	Hacienda Capri	Escazú	2,8	9,3	12,1	6,25	muito notável
4	Sacramento	Grecia	2,6	13,4	16,0	35,25	muito notável
5	Hacienda Curridabat	Heredia	2,8	1,9	4,7	11,25	leve
6	Navarro	Reventazón	2,9	10,3	13,2	2,5	leve
7	Juan Viñas	Birrisito	2,5	16,2	18,7	5,0	muito notável
8	Perfil 2	Reventación	4,2	1,7	5,9	17,5	Notável
9	Perfil 5	La Margot	6,5	1,5	8,0	15,5	leve
10	Perfil 6	La Margot	7,4	4,7	12,0	11,3	notável

\* AS indicações de deficiências de Zn para os 7 primeiros solos, referem-se a sintomas visuais em plantas de café (*Coffea arabica*) descritos por Rubinstein (25). Para os solos 8, 9 e 10 referem-se a resposta em casa de vegetação a microelementos em geral (79).

Quadro 2. Efeito dos tratamentos de zinco e fósforo sobre o Zn extraído com 0,1 N HCl e 0,01 M EDTA nos 3 solos utilizados.

Tratamentos (R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Zn:P)**	Tempo de incubação					
	4 dias		22 dias		35 dias	
	EDTA	HCl	EDTA	HCl	EDTA	HCl
	ppm***					
Solo 1*	1,8	8,1				
100	2,3	12,6	2,1	12,4	2,5	11,8
101	2,7	13,5	2,4	11,8	2,6	11,8
102	2,9	10,2	2,6	12,1	3,2	12,4
110	4,6	18,0	3,5	16,4	3,7	14,3
111	4,8	15,3	3,5	16,9	3,9	15,6
112	5,9	15,9	4,7	16,1	4,7	15,6
120	6,9	21,3	5,0	20,7	4,9	18,8
121	7,1	22,6	5,5	22,1	5,3	18,8
122	8,5	23,1	6,2	22,1	7,9	19,9
Solo 2*	1,3	4,3				
200	1,2	6,2	1,1	10,0	1,5	7,8
201	1,3	8,6	1,3	9,4	1,5	6,7
202	1,6	8,3	1,6	9,1	2,0	5,9
210	3,6	19,6	2,4	16,7	2,6	10,8
211	3,4	11,8	2,6	14,5	2,6	9,7
212	4,3	13,5	3,7	24,7	3,4	12,0
220	5,2	19,1	3,7	16,7	3,1	15,1
221	5,3	16,1	4,3	18,0	3,6	15,6
222	6,8	18,0	5,6	18,0	4,2	15,6
Solo 3*	0,7	2,2				
300	0,5	4,7	0,3	6,3	0,7	6,1
301	0,6	5,5	0,4	6,3	0,8	6,8
302	0,9	3,3	0,8	6,3	0,9	8,0
310	2,0	9,9	1,2	12,1	1,1	11,8
311	2,3	11,6	1,5	11,3	1,5	12,7
312	3,5	9,9	2,2	11,8	2,0	11,0
320	3,4	14,6	2,0	16,5	1,7	15,4
321	4,2	16,5	2,4	15,1	2,0	16,5
322	5,1	12,1	3,9	16,8	2,8	14,6

\* Refere-se a análise anterior dos solos sem nenhum tratamento.

\*\* Além dos variáveis R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Zn:P houve aplicação básica geral de N, Ca, Mg, K, Cu, Fe, Mn, S, Mo e B.

\*\*\* Média de 2 análises.

Quadro 3. Análise de variância do ensaio químico (sem plantas).

F.V.	G.L.	S.Q.	C.M.	F.C.
Método	1	4345,19	4345,19	3218,65**
Solo	2	441,03	220,52	163,35**
Método x solo	2	59,25	29,63	21,95**
Zn	2	1015,73	507,87	373,20**
Solo x Zn	4	15,84	3,96	2,93*
Método x Zn	2	274,44	123,72	91,64**
Método x solo x Zn	4	14,69	3,67	2,72*
P	2	10,19	5,10	3,78*
P x solo	4	9,26	2,32	1,72 NS
P x Zn	4	8,91	2,23	1,65 NS
P x solo x Zn	8	11,13	1,39	1,03 NS
P x método	2	7,63	3,82	2,83 NS
P x método x solo	4	8,01	2,00	1,48 NS
P x método x Zn	4	4,41	1,10	0,81 NS
Tempo (incubação)	2	27,29	13,65	10,11**
Tempo x solo	4	33,67	8,42	6,24**
Tempo x Zn	4	22,93	1,10	0,81 NS
Tempo x Zn x solo	8	9,80	1,23	0,91 NS
Tempo x P	4	7,90	1,98	1,47 NS
Tempo x P x solo	8	10,10	1,26	0,93 NS
Tempo x P x Zn	8	9,16	1,45	1,07 NS
Tempo x método	2	32,29	16,15	11,96**
Tempo x método x solo	4	30,37	7,59	5,62**
Tempo x método x Zn	4	5,16	1,29	0,96 NS
Tempo x método x P	4	8,16	2,04	1,51 NS
Resíduo***	64	86,26	1,35	
Total	161			

C.V. = 14%

\* Significante ao nível de 0,05% de probabilidades

\*\* Significante ao nível de 0,01% de probabilidades

NS Não significante

\*\*\* Os graus de liberdade das interações de 3ª ordem foram somados ao resíduo para análise.

Quadro 4. Efeito do tratamento de Zn e P sôbre o pêsô de matéria sêca (70 - 80°C), nos três solos.

Tratamentos (R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Zn:P)	Repetições			Média
	1	2	3	
	g/vaso			
101	12,19	12,22	11,22	11,88
102	13,22	13,99	14,09	13,77
110*	4,43	5,59	4,78	4,93
111	11,04	14,81	10,69	12,18
112	13,91	15,92	13,95	14,59
121	13,24	12,17	12,88	12,76
122	16,46	16,43	15,20	16,03
				13,54**
201	8,58	8,38	8,82	8,60
202	12,14	9,61	12,47	11,42
210*	3,00	2,91	3,34	3,08
211	8,29	8,58	9,96	8,94
212	11,81	13,23	12,89	12,64
221	7,62	9,99	8,79	8,80
222	13,12	13,53	13,18	13,28
				10,61**
301	4,59	5,67	5,02	5,09
302	9,34	9,39	10,22	9,98
310*	2,32	2,62	2,24	2,40
311	6,19	5,62	6,12	5,98
312	9,33	9,20	9,30	9,28
321	5,83	5,87	7,35	6,35
322	9,64	10,19	9,76	9,86
				7,74**

\* Refere-se a produção dos tratamentos extras. Estes dados não foram considerados na análise de variância nem no cálculo das médias.

\*\* Médias de produção de matéria sêca para cada solo.

Quadro 5. Análise de variância da produção de matéria sêca.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fe
Solo	2	306,2507	153,125	187,84**
Zn	2	11,2162	5,608	6,88**
Solo x Zn	4	1,6298	0,408	0,50 NS
P	1	149,3080	149,301	183,15**
Zn x P	2	1,2347	0,617	0,76 NS
Solo x P	2	4,3802	2,190	2,56 NS
Solo x P x Zn	4	3,6485	0,912	NS
Resíduo	36	29,3477	0,815	
Total	53			

c.v. = 8,5%

Análise de variância da concentração de Zn no tecido vegetal

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Solo	2	250	125,00	6,37**
Zn	2	2.048	1.024,00	52,22**
Solo x Zn	4	309	77,25	3,94**
P	1	711	717,00	36,56**
P x Zn	2	27	13,50	0,69 NS
P x solo	2	21	10,50	0,54 NS
P x solo x Zn	4	94	23,50	1,20 NS
Resíduo	36	706	19,61	
Total	53			

c.v. = 23,5%

\*\* Significante ao nível de 0,01% de probabilidades.

NS Não significante.



Quadro 6. Concentração e total de Zn no tecido vegetal.

Tratamentos (R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Zn:P)	Concentração de Zn			Média	Zn total
	Repetições				
	1	2	3		
	ppm				(mg)/vaso
101	15	17	19	17	0,202
102	13	12	11	12	0,165
110*	32	33	38	34	0,168
111	21	17	25	21	0,256
112	13	42	18	14	0,204
121	17	31	34	27	0,345
122	15	33	16	21	0,337
Média					0,256
201	19	15	12	15	0,129
202	12	9	8	10	0,114
210*	33	35	30	33	0,102
211	17	20	23	20	0,179
212	13	14	18	15	0,190
221	44	43	41	43	0,378
222	21	23	36	27	0,359
Média					0,225
301	14	16	14	15	0,076
302	8	7	7	7	0,070
310*	42	36	33	38	0,091
311	19	22	16	19	0,114
312	11	8	14	11	0,102
321	26	27	24	26	0,165
322	16	22	22	20	0,197
Média					0,121

\* Refere-se aos tratamentos extras. Êstes dados não foram considerados na análise de variância, nem no cálculo das médias.

Quadro 7. Análise de variância do Zn total no tecido vegetal.

F.V.	G.L.	S.R.	Q.M.	F.C.
Solo	2	57.357	28.679	123,62**
Zn	2	93.102	46.556	200,67**
Solo x Zn	4	11.125	2.781	11,98*
P	1	624	624	2,69
P x solo	2	1.065	533	2,30
P x Zn	2	408	204	0,88
Resíduo***	4	929	232	
Total	17			

C.V. = 7,7%

\* Significante ao nível de 0,05% de probabilidades.

\*\* Significante ao nível de 0,01% de probabilidades.

\*\*\* Os graus de liberdades da interação de segunda ordem foram incorporados ao resíduo para análise.

Quadro 8. Resultados obtidos com aplicação de  $^{65}\text{Zn}$ .

Tratamento ( $\text{R}_2\text{O}_3:\text{Zn:P}$ )	Zn absorvido pelas plantas						Valor "L" (ppm)
	Total (mg)	Vindo do solo (mg)	Vindo do adubo (mg)	Vindo do solo %	Vindo do adubo %	% do total de adubo aplicado	
110*	0,168	0,144	0,024	86	14	0,63	23,0
111	0,256	0,225	0,031	88	12	0,82	27,3
112	0,204	0,170	0,034	83	17	0,91	18,7
121	0,345	0,280	0,065	81	19	0,86	32,5
122	0,337	0,274	0,063	81	19	0,84	32,5
Média	0,286	0,237	0,049	83,3	16,7	0,86	27,8
210*	0,102	0,078	0,024	76	24	0,63	12,5
211	0,179	0,142	0,036	79	21	0,97	14,6
212	0,190	0,158	0,032	83	17	0,84	18,9
221	0,378	0,298	0,080	79	21	1,07	27,8
222	0,359	0,296	0,063	82	18	0,84	35,3
Média	0,277	0,224	0,053	80,7	19,3	0,93	24,6
310*	0,091	0,071	0,020	78	22	0,54	13,1
311	0,114	0,085	0,029	75	25	0,76	11,3
312	0,102	0,076	0,026	75	25	0,69	10,8
321	0,165	0,104	0,061	63	37	0,81	12,8
322	0,197	0,140	0,057	71	29	0,76	18,5
Média	0,145	0,101	0,043	71,0	29,0	0,75	13,4

\* Tratamentos extras, não computados para médias.

Quadro 9. Efeito dos tratamentos de P e Zn sobre a absorção de diferentes elementos por plantas de milho nos 3 solos estudados.

Tratamentos (R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Zn:P)	Zn		P		K		Ca		Mg		Mn		Cu		Fe	
	(ppm)**	(mg)	(%)**	(mg)**	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(ppm)	(mg)	(ppm)	(mg)	(ppm)	(mg)
101	17	0,202	0,16	18,40	3,03	356,40	0,36	43,12	0,31	36,59	78	0,93	13	0,15	60	0,71
102	12	0,165	0,32	44,48	2,64	363,25	0,24	32,77	0,29	39,93	78	1,07	11	0,15	60	0,83
110*	34	0,168	0,12	5,92	4,55	224,32	0,40	19,87	0,32	12,90	98	0,43	11	0,05	70	0,35
111	21	0,256	0,16	19,49	3,00	365,40	0,32	39,34	0,30	36,54	38	1,07	11	0,13	70	0,85
112	14	0,204	0,28	40,12	3,50	364,75	0,24	34,29	0,27	39,39	68	0,99	13	0,19	70	1,02
121	27	0,345	0,16	20,42	4,95	376,42	0,35	44,66	0,31	39,56	68	0,87	11	0,14	70	0,89
122	21	0,337	0,27	43,28	2,40	384,72	0,20	32,06	0,27	42,48	45	0,72	11	0,18	65	1,04
Média	18,8	0,291	0,23	31,09	2,75	368,45	0,29	37,75	0,30	39,10	71	0,95	12	0,16	66	0,84
201	15	0,129	0,15	13,24	2,35	202,10	0,38	32,25	0,40	34,66	115	0,99	11	0,10	70	0,62
202	10	0,114	0,23	26,04	1,73	197,00	0,46	51,96	0,29	33,12	88	1,01	11	0,13	70	0,80
210*	33	0,102	0,13	3,85	4,55	140,14	0,54	16,57	0,36	11,18	272	0,84	11	0,03	90	0,28
211	20	0,179	0,16	13,86	2,31	206,78	0,36	31,74	0,38	33,53	120	0,83	7	0,06	70	0,63
212	15	0,190	0,25	30,97	1,64	207,04	0,20	25,03	0,27	33,50	80	1,01	11	0,14	70	0,89
221	43	0,378	0,16	13,90	2,43	213,40	0,39	34,32	0,43	37,84	123	1,06	7	0,06	60	0,53
222	27	0,359	0,20	26,30	1,54	204,25	0,26	31,21	0,28	37,18	88	1,17	11	0,15	60	0,80
Média	21,6	0,224	0,20	20,73	2,00	204,85	0,34	34,35	0,35	35,00	102	1,02	10	0,11	67	0,71
301	15	0,076	0,14	6,97	2,32	117,99	0,51	25,70	0,51	26,11	182	0,93	16	0,08	70	0,37
302	7	0,070	0,23	22,46	1,31	131,04	0,25	24,95	0,33	33,23	130	1,30	16	0,16	95	0,95
310*	38	0,091	0,15	3,60	3,98	95,40	0,58	13,80	0,52	12,48	318	0,76	8	0,02	30	0,31
311	19	0,114	0,15	8,67	2,13	127,08	0,49	29,00	0,53	31,69	165	0,99	7	0,04	80	0,48
312	11	0,102	0,21	19,30	1,31	121,75	0,23	21,34	0,33	30,16	107	0,99	7	0,07	65	0,60
321	26	0,165	0,15	9,33	2,38	150,81	0,43	26,99	0,50	31,43	131	0,83	11	0,07	65	0,41
322	20	0,197	0,20	19,51	1,33	130,65	0,26	25,14	0,31	30,37	115	1,13	11	0,11	70	0,67
Média	16,3	0,120	0,18	14,36	1,80	129,50	0,37	25,50	0,42	30,50	138	1,03	11	0,09	75	0,59

\* Tratamentos extras, dados não computados para as médias.

\*\* Os dados apresentados em ppm e %, referem-se a concentração dos elementos na planta, enquanto que os representados em mg indicam as quantidades totais absorvidas.

Quadro 10. Coeficientes de correlações lineares entre tratamentos com doses de 0, 7,5 e 15,0 kg/ha de Zn. "a" entre todos tratamentos; "b" entre tratamentos com P = 0 kg/ha.

	"a"				Pêso seco		ppm Zn na		Zn total	
	HCl 4 dias	HCl 22 dias	HCl 35 dias	EDTA 4 dias	EDTA 22 dias	EDTA 35 dias	massa ve- getal	massa ve- getal	na ve- getal	na massa vegetal
HCl 4 dias	1,000									
HCl 22 dias	0,833	1,000								
HCl 35 dias	0,835	0,769	1,000							
EDTA 4 dias	0,751	0,703	0,739	1,000						
EDTA 22 dias	0,840	0,849	0,842	0,875	1,000					
EDTA 35 dias	0,824	0,785	0,794	0,733	0,916	1,000				
Pêso seco massa vegetal	0,078	0,235	0,217	0,052	0,384	0,514	1,000			
ppm Zn na massa vegetal	0,423	0,306	0,335	0,016	0,140	0,085	-0,428	1,000		
Zn total na massa vegetal	0,410	0,353	0,372	0,862	0,530	0,352	-0,225	-0,176	1,000	
	"b"									
HCl 4 dias	1,000									
HCl 22 dias	0,995	1,000								
HCl 35 dias	0,088	0,183	1,000							
EDTA 4 dias	0,854	0,900	0,592	1,000						
EDTA 22 dias	0,794	0,848	0,675	0,994	1,000					
EDTA 35 dias	0,831	0,880	0,626	0,999	0,997	1,000				
Pêso seco massa vegetal	0,590	0,665	0,855	-0,923	0,959	0,939	1,000			
ppm Zn na massa vegetal	-0,999	-0,991	-0,052	-0,835	-0,772	-0,810	-0,561	1,000		
Zn total na massa vegetal	0,480	0,562	0,915	0,866	0,914	0,867	0,991	-0,449	1,000	

Significação R > 0,548

Quadro 11. Coeficientes de correlações lineares entre tratamentos com doses de 0, 7,5 e 15,0 kg/ha de Zn. "a" entre tratamentos com P = 400 kg/ha; "b" entre tratamentos com P = 1.600 kg/ha.

	HCl 4 dias	HCl 22 dias	HCl 35 dias	EDTA 4 dias	EDTA 22 dias	EDTA 35 dias	Pêso seco massa ve- getal	Zn na massa ve- getal	Zn total na massa vegetal
HCl 4 dias	1,000								
HCl 22 dias	0,952	1,000							
HCl 35 dias	0,943	0,888	1,000						
EDTA 4 dias	0,852	0,828	0,722	1,000					
EDTA 22 dias	0,924	0,950	0,808	0,935	1,000				
EDTA 35 dias	0,887	0,936	0,778	0,870	0,973	1,000			
Pêso seco massa vegetal	0,025	0,085	-0,011	0,263	0,002	0,196	1,000		
ppm Zn na massa vegetal	0,220	0,325	0,349	0,115	0,161	0,137	0,169	1,000	
Zn total na massa vegetal	0,694	0,644	0,536	0,961	0,814	0,733	-0,392	-0,328	1,000
"b"									
HCl 4 dias	1,000								
HCl 22 dias	0,805	1,000							
HCl 35 dias	0,901	0,722	1,000						
EDTA 4 dias	0,972	0,784	0,954	1,000					
EDTA 22 dias	0,973	0,810	0,930	0,984	1,000				
EDTA 35 dias	0,949	0,714	0,883	0,901	0,892	1,000			
Pêso seco massa vegetal	0,770	0,550	0,669	0,661	0,717	0,867	1,000		
ppm Zn na massa vegetal	0,803	0,682	0,763	0,847	0,878	0,635	0,425	1,000	
Zn total na massa vegetal	0,919	0,719	0,842	0,912	0,948	0,831	0,702	0,934	1,000

Significação R > 0,548

Quadro 12. Coeficientes de correlações lineares entre tratamentos com doses de 0, 7,5 e 15,0 kg/ha de Zn. "a" entre tratamentos com Zn = 0 kg/ha; "b" entre tratamentos com Zn = 7,5 kg/ha.

	HCl 4 dias	HCl 22 dias	HCl 35 dias	EDTA 4 dias	EDTA 22 dias	EDTA 35 dias	Pêso sêco massa ve- getal	ppm Zn na massa ve- getal	Zn total na massa vegetal
HCl 4 dias	1,000								
HCl 22 dias	0,924	1,000							
HCl 35 dias	0,627	0,739	1,000						
EDTA 4 dias	0,857	0,963	0,851	1,000					
EDTA 22 dias	0,859	0,974	0,787	0,991	1,000				
EDTA 35 dias	0,827	0,960	0,769	0,980	0,983	1,000			
Pêso sêco massa vegetal	0,564	0,776	0,661	0,859	0,888	0,860	1,000		
ppm Zn na massa vegetal	0,659	0,418	0,255	0,275	0,237	0,229	-0,226	1,000	
Zn total na massa vegetal	0,976	0,957	0,756	0,922	0,917	0,872	0,666	0,570	1,000
----- "b" -----									
HCl 4 dias	1,000								
HCl 22 dias	0,441	1,000							
HCl 35 dias	0,381	0,158	1,000						
EDTA 4 dias	0,590	0,540	0,653	1,000					
EDTA 22 dias	0,546	0,647	0,617	0,978	1,000				
EDTA 35 dias	0,635	0,597	0,674	0,983	0,983	1,000			
Pêso sêco massa vegetal	-0,029	0,457	0,438	0,723	0,758	0,696	1,000		
ppm Zn na massa vegetal	0,323	-0,145	-0,072	-0,356	-0,373	-0,282	-0,821	1,000	
Zn total na massa vegetal	0,307	0,539	0,628	0,759	0,792	0,825	0,762	-0,345	1,000

Significação R > 0,548

Quadro 13. Coeficientes de correlações lineares entre tratamentos com doses de 0, 7,5 e 15,0 kg/ha de Zn. "a" entre tratamentos com Zn = 15,0 kg/ha; "b" entre tratamentos do solo 1.

	HCl 4 dias	HCl 22 dias	HCl 35 dias	EDTA 4 dias	EDTA 22 dias	EDTA 35 dias	EDTA 4 dias	EDTA 22 dias	EDTA 35 dias	Pêso sêco massa ve- getal	ppm Zn na massa ve- getal	Zn total na massa vegetal
HCl	1,000											
HCl	0,852	1,000										
HCl	0,938	0,822	1,000									
EDTA	0,701	0,776	0,626	1,000								
EDTA	0,768	0,931	0,636	0,806	1,000							
EDTA	0,844	0,927	0,844	0,517	0,823	1,000						
Pêso sêco massa vegetal	0,206	0,281	0,193	-0,305	0,279	0,580	1,000					
ppm Zn na massa vegetal	-0,387	-0,435	-0,475	-0,628	-0,447	-0,339	0,073	1,000				
Zn total na massa vegetal	0,533	0,591	0,467	0,962	0,630	0,274	-0,550	-0,582	1,000			
"a"												
HCl	1,000											
HCl	0,952	1,000										
HCl	0,913	0,982	1,000									
EDTA	0,764	0,805	0,753	1,000								
EDTA	0,900	0,943	0,943	0,897	1,000							
EDTA	0,837	0,881	0,937	0,559	0,850	1,000						
Pêso sêco massa vegetal	-0,282	-0,189	-0,009	-0,448	-0,155	0,233	1,000					
ppm Zn na massa vegetal	0,227	0,094	-0,007	-0,266	-0,165	-0,009	-0,404	1,000				
Zn total na massa vegetal	0,535	0,567	0,487	0,938	0,693	0,253	-0,590	-0,350	1,000			
"b"												

Significação R > 0,548



Quadro 14. Coeficientes de correlações lineares entre tratamentos com doses de 0, 7,5 e 15,0 kg/ha de Zn. "a" entre tratamentos do solo 2; "b" entre tratamentos do solo 3.

	HCl 4 dias	HCl 22 dias	HCl 35 dias	EDTA 4 dias	EDTA 22 dias	EDTA 35 dias	Pêso sêco massa ve- getal	Zn na massa ve- getal	Zn total na massa vegetal
HCl	1,000								
HCl	0,691	1,000							
HCl	0,792	0,733	1,000						
EDTA	0,783	0,714	0,967	1,000					
EDTA	0,673	0,697	0,945	0,983	1,000				
EDTA	0,715	0,777	0,946	0,981	0,984	1,000			
Pêso sêco massa vegetal	0,313	0,201	0,168	0,284	0,441	0,392	1,000		
ppm Zn na massa vegetal	0,779	0,348	0,756	0,627	0,532	0,544	-0,433	1,000	
Zn total na massa vegetal	0,458	0,433	0,877	0,845	0,886	0,831	0,415	0,623	1,000
----- "a" -----									
HCl	1,000								
HCl	0,883	1,000							
HCl	0,954	0,937	1,000						
EDTA	0,809	0,951	0,869	1,000					
EDTA	0,674	0,906	0,778	0,970	1,000				
EDTA	0,698	0,889	0,769	0,975	0,989	1,000			
Pêso sêco massa vegetal	-0,147	0,078	0,007	0,348	0,461	0,479	1,000		
ppm Zn na massa vegetal	0,540	0,500	0,511	0,225	0,129	0,065	-0,772	1,000	
Zn total na massa vegetal	0,787	0,910	0,862	0,924	0,928	0,912	0,277	0,263	1,000
----- "b" -----									

Significação R > 0,548

Quadro 15. Coeficientes de correlações lineares entre tratamentos com doses de 7,5 e 15,0 kg/ha de Zn. "a" entre todos tratamentos; "b" entre tratamentos com P = 0 kg/ha.

	"a"					"b"		Valor "L"
	HCl 4 dias	HCl 22 dias	HCl 35 dias	EDTA 4 dias	EDTA 22 dias	EDTA 35 dias	Pêso seco massa vegetal	
HCl 4 dias	1,000							
HCl 22 dias	0,648	1,000						
HCl 35 dias	0,727	0,513	1,000					
EDTA 4 dias	0,594	0,596	0,687	1,000				
EDTA 22 dias	0,758	0,759	0,782	0,841	1,000			
EDTA 35 dias	0,796	0,727	0,769	0,662	0,892	1,000		
Pêso seco massa vegetal	0,160	0,444	0,384	0,099	0,524	0,622	1,000	
ppm Zn na massa vegetal	0,066	-0,164	-0,072	0,322	-0,240	0,219	-0,444	1,000
Zn total na massa vegetal	0,468	0,384	0,430	0,915	567	0,339	-0,222	1,000
Valor "L"	0,464	0,379	0,424	0,912	0,561	0,333	-0,234	0,999
"b"								
HCl 4 dias	1,000							
HCl 22 dias	0,995	1,000						
HCl 35 dias	0,083	0,183	1,000					
EDTA 4 dias	0,854	0,900	0,592	1,000				
EDTA 22 dias	0,794	0,848	0,675	0,994	1,000			
EDTA 35 dias	0,831	0,880	0,626	0,999	0,997	1,000		
Pêso seco massa vegetal	0,590	0,665	0,855	0,923	0,959	0,939	1,000	
ppm Zn na massa vegetal	-0,999	-0,991	-0,052	-0,835	-0,772	-0,810	-0,561	1,000
Zn total na massa vegetal	0,480	0,562	0,915	0,866	0,914	0,887	0,991	1,000
Valor "L"	0,312	0,402	0,973	0,760	0,825	0,788	0,951	0,983

Significação R > 0,548

Quadro 16. Coeficientes de correlações lineares entre tratamentos com doses de 7,5 e 15,0 kg/ha de Zn. "a" entre tratamentos com P = 400 kg/ha; "b" entre tratamentos com P = 1.600 kg/ha.

	HCl 4 dias	HCl 22 dias	HCl 35 dias	EDTA 4 dias	EDTA 22 dias	EDTA 35 dias	Pêso sêco massa ve- getal	ppm Zn na massa ve- getal	Zn na massa ve- getal	Zn total na massa vegetal	Valor "L"
HCl 4 dias	1,000										
HCl 22 dias	0,915	1,000									
HCl 35 dias	0,900	0,735	1,000								
EDTA 4 dias	0,913	0,872	0,692	1,000							
EDTA 22 dias	0,906	0,973	0,697	0,939	1,000						
EDTA 35 dias	0,823	0,957	0,632	0,858	0,960	1,000					
Pêso sêco massa vegetal	-0,323	-0,029	-0,248	0,404	-0,158	0,100	1,000				
ppm Zn na mas- sa vegetal	-0,149	-0,025	0,013	-0,398	-0,133	-0,156	0,268	1,000			
Zn total na massa vegetal	0,850	0,781	0,616	0,986	0,878	0,782	0,496	-0,505	1,000		
Valor "L"	0,848	0,777	0,614	0,985	0,875	0,779	0,498	-0,510	0,999	1,000	
	"b"										
HCl 4 dias	1,000										
HCl 22 dias	0,518	1,000									
HCl 35 dias	0,924	0,339	1,000								
EDTA 4 dias	0,971	0,390	0,376	1,000							
EDTA 22 dias	0,950	0,497	0,917	0,966	1,000						
EDTA 35 dias	0,964	0,511	0,925	0,926	0,867	1,000					
Pêso sêco massa vegetal	0,908	0,570	0,787	0,827	0,856	0,910	1,000				
ppm Zn na mas- sa vegetal	0,601	0,307	0,590	0,687	0,755	0,402	0,341	1,000			
Zn total na massa vegetal	0,883	0,469	0,800	0,900	0,946	0,734	0,711	0,894	1,000		
Valor "L"	0,868	0,470	0,764	0,876	0,921	0,711	0,685	0,897	0,996	1,000	

Significação R > 0,548