

**DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES EM
CLASSES DOMINANTES DE SOLOS DO
TRÓPICO ÚMIDO BRASILEIRO. I. ZINCO.**

MINISTRO DA AGRICULTURA

Ângelo Amaury Stabile

Presidente da EMBRAPA

Eliseu Roberto de Andrade Alves

Diretoria Executiva da EMBRAPA

Ágide Gorgatti Netto

— Diretor

José Prazeres Ramalho de Castro

— Diretor

Raymundo Fonsêca Souza

— Diretor

Chefia do CPATU

Cristo Nazaré Barbosa do Nascimento

— Chefe

José Furlan Júnior

— Chefe Adjunto Técnico

José de Brito Lourenço Junior

— Chefe Adjunto Administrativo

EMBRAPA

**A
N
O** **15** 1973
1983

CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO TRÓPICO ÚMIDO

DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES EM CLASSES
DOMINANTES DE SOLOS DO TRÓPICO ÚMIDO BRASILEIRO.
I. ZINCO.

Ramendra Singh
Maria Regina Freire Möller



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA
Vinculada ao Ministério da Agricultura
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido — CPATU
Belém, PA.

EDITOR: Comitê de Publicações do CPATU

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à EMBRAPA-CPATU

Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/n.º

Caixa Postal, 48

66.000 — Belém, PA

Telex (091) 1210

Singh, Ramendra

Disponibilidade de micronutrientes em classes dominantes de solos do trópico úmido brasileiro.

I. Zinco. por Ramendra Singh e Maria Regina Freire Möller. Belém. EMBRAPA-CPATU. 1984.

43p. ilustr. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 55).

1. Solo — Micronutriente — Brasil — Amazônia. 2. Solo — Teor de zinco — Brasil — Amazônia. I. Möller, Maria Regina Freire. II. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, Belém, PA. III. Título. IV Série.

CDD: 631.4109811

S U M Á R I O

INTRODUÇÃO	6
MATERIAIS E MÉTODOS	9
Coleta e preparação das amostras de solo	9
Análises de caracterização físico-química dos solos	9
Determinação de zinco total e assimilável	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
Parâmetros dos solos	10
Zinco total	11
Zinco disponível	17
Zinco disponível x zinco total	18
Zinco disponível x propriedades dos solos	19
Diagnóstico da deficiência/suficiência de zinco nos solos	24
CONCLUSÕES	26
AGRADECIMENTO	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
ANEXOS	31

DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES EM CLASSES DOMINANTES DE SOLOS DO TRÓPICO ÚMIDO BRASILEIRO. I. ZINCO.

Ramendra Singh¹

Maria Regina Freire Möller²

RESUMO — Avaliou-se a disponibilidade de zinco em seis classes de solos do trópico úmido brasileiro: Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo, Solo Aluvial, Terra Roxa Estruturada, Gleí Pouco Húmico, por diferentes extratores químicos, além da determinação de seus conteúdos de zinco total. A deficiência de zinco de maneira geral e especificamente para cultura do arroz, nas quatro primeiras classes de solo pode ser aparentemente severa enquanto nas outras duas classes de solo pode não ser crítica. O zinco disponível geralmente decresce com o aumento da profundidade dos solos e a magnitude desta redução é invariavelmente mais drástica entre as camadas superficiais e as imediatamente abaixo. Análise de correlação simples e regressão linear múltipla entre o zinco disponível como variável dependente, e o zinco total e as propriedades físico-químicas dos solos como variáveis independentes mostraram que o DTPA 0,005M pH 7,3 foi provavelmente o melhor extrator para o "soil testing" enquanto o $\text{NH}_4\text{OAc } N$ pH 4,6 pode ser o melhor extra para as determinações de zinco disponível sob condições variáveis de pH. Este estudo também mostra que o zinco total talvez não seja o fator capacidade destes solos.

Termos para indexação: solo, zinco disponível, zinco total, deficiência de zinco, arroz, eficiência relativa de extratores.

MICRONUTRIENT AVAILABILITY IN DOMINANT SOIL TYPES OF BRAZILIAN HUMID TROPICS. I. ZINC

ABSTRACT — The zinc in six soil types viz. Red-Yellow Podzolic Soils (PV), Yellow Latosol (LA), Red-Yellow Latosol (LV), Alluvial soil (AL), Terra Roxa Estruturada (TE) and Low Humic Gley Soils (GPH)

¹ B.Sc. (Hons.) Ag. & A.H., M.Sc., Ph.D. Especialista em Fertilidade de Solos — EMBRAPA-CPATU — Convênio IICA/EMBRAPA/Banco Mundial, Caixa Postal 48. CEP 66.000 — Belém, PA.

² Quím. Industrial, M.Sc. Pesquisadora da EMBRAPA-CPATU, Caixa Postal 48. CEP 66.000 — Belém, PA.

of the Brazilian humid tropics was extracted by five different chemical extractants besides determination of total zinc content. The deficiency of zinc in general and specifically for rice in the first four soil types may apparently be severe while in the latter two it may not be critical. The available zinc generally decreased with increasing soil depth and the magnitude of reduction was invariably more drastic from surface soil to subsoil immediately below. Simple correlation and multiple linear regression analyses between available zinc as dependent variable and total zinc and physico-chemical properties of soils as independent variable showed that 0.005 M DTPA (pH 7.3) was probably the most suitable extractant for soil testing while 1 N NH_4OAc pH 4.6 could be a better extractant for determining zinc availability under variable soil pH conditions. The study also showed that total zinc may not be the capacity factor for the soils.

Index terms: soil, available zinc, total zinc, zinc deficiency, rice, relative efficiency of extractants.

INTRODUÇÃO

O aparecimento de deficiências de micronutrientes, tem sido observado cada vez mais, em todas as grandes regiões agroecológicas do mundo, devido a baixa fertilidade de solos, como consequência do uso agropecuário intensivo. Além disso, o uso de fertilizantes de alta pureza analítica e química, em lugar do adubo orgânico, também agrava bastante este problema. Na maioria destas regiões, é inevitável a correção destas deficiências para manter a taxa de crescimento desejável nas produções de alimentos, rações e fibras. Para enfrentar este desafio, tem sido divulgado de uma região para outra, uma nova fase de investigação científica, mais prática e pragmática, a fim de delimitar as áreas deficientes e, desenvolver técnicas específicas para minorar o problema.

A Amazônia é uma das grandes regiões agroecológicas e o seu vasto potencial agrícola, ainda precisa ser usado mais intensivamente. Desta forma, é bem reconhecida a necessidade de programas de pesquisa sobre micronutrientes. Conseqüentemente, baseado nesta necessidade, foi iniciado um projeto de pesquisa como precursor de estudos mais avançados.

Este projeto servirá de suporte para programas correntes de produção agrícola da região e, talvez ajudar a evitar que a desordem de micronutrientes seja um fator limitante em programas futuros.

Dentre os micronutrientes o zinco é conhecido como um dos grandes fatores limitantes das produções das culturas em diferentes partes do mundo. No Brasil, também têm sido observadas deficiências de Zn, em grande parte das áreas agrícolas, pelas identificações de campo, experimentos agrônômicos e, análises de solos e tecidos. Os primeiros registros de deficiências de zinco aparentemente foram feitos nas plantações de café (Franco & Mendes 1953 e Medcalf & Lott 1956) e pomares de citros (Moreira 1960 e Rodrigues & Gallo 1961) no Estado de São Paulo. Dentre os rendimentos em culturas anuais, talvez o primeiro registro sobre a resposta para o zinco aplicado, tenha sido feito por Igue & Gallo (1960) em plantação de milho nos solos da série Bauru, também no Estado de São Paulo. Subseqüentemente, a resposta do milho ao zinco foi mostrada em muitos trabalhos com solos diferentes nos Estados do Sul do Brasil (Igue et al. 1962; Britto et al. 1971; Bahia & Braga 1974 e Decaro et al. 1983). Em diferentes locais do Estado de São Paulo, a resposta do arroz de sequeiro ao Zn, foi mostrada por Souza & Hiroce (1970) e nos solos de Planaltina (DF), por Fageria & Zimmerman (1979). Considerando que a deficiência de zinco era comum na maioria das áreas de arroz de sequeiro, Prabhu & Faria (1976) publicaram os sintomas típicos desta deficiência. Barbosa Filho & Fageria (1980) recomendaram medidas para minorar as aberrações fisiológicas em condições de campo. Na região amazônica foi detectada a deficiência de zinco nas plantações de seringueira por Berniz et al. (1980) que também sugeriram medidas para controlá-la.

Baseado em análise de solo, foram detectadas deficiências extensivas de zinco no litoral do Pernambuco (zona da mata), por Horowitz & Dantas (1976) e em Piracicaba, Estado de São Paulo, por Brasil Sobrinho et al. (1979b e 1980). Corrêa & Bastos (1982), no entanto, não encontraram deficiência de zinco nos solos de várzea do rio Paraná dos Ramos no município de Barreirinha, Estado do Amazonas.

Estes estudos parecem ter gerado um considerável interesse no país e, esforços foram feitos para encontrar as causas da deficiência de zinco. Já foi amplamente mostrado que os solos originados de rochas ígneas básicas são ricos em zinco enquanto, aqueles originados de arenitos são pobres (Valadares & Catani 1975 e Brasil Sobrinho et al. 1979c). O zinco disponível tem sido encontrado, de-

crescendo com a profundidade (Horowitz & Dantas 1976 e Brasil Sobrinho et al. 1979c) com uma correlação significativa com o pH, a matéria orgânica e com a relação zinco disponível/zinco total (Brasil Sobrinho et al. 1979c).

Camargo et al. (1982) também encontraram um decréscimo de zinco extraído com DTPA pelo incremento do pH, através da calagem ou da incubação de solo com água.

O zinco disponível, especialmente aquele aplicado, é limitado pela sua fixação no solo. Silveira & Mello (1977) revisando seus próprios trabalhos (Silveira et al. 1975a & b, e Silveira & Mello 1975) encontraram que a fixação de zinco no solo aumenta com o teor de argila, pH, matéria orgânica, cálcio e magnésio trocáveis e, CTC. Brasil Sobrinho et al. (1979a) mostraram que solos de textura mais fina retiveram maiores quantidades de zinco do que solos de textura mais grossa. Leite & Skogley (1977) encontraram que o zinco aplicado é prontamente retido pelo solo da camada superficial e quando este solo contém altos níveis de matéria orgânica, retém mais zinco que o solo imediatamente subjacente.

Na determinação de zinco disponível dos solos, têm sido usados métodos químicos (Jacintho et al. 1971, Horowitz & Dantas 1976 Brasil Sobrinho et al. 1979c e Camargo et al. 1982), biológicos (Brasil Sobrinho et al. 1979b) e microbiológicos (Brasil Sobrinho et al. 1980). Comparativamente, Jacintho et al. (1971) encontraram que o EDTA 1%, HCl 0,05 N e 0,1 N e, H₂SO₄ 0,05 N e 0,1 N foram extratores mais eficientes que o MgCl₂ 0,1 N e 0,5 N e, CH₃ COOH 0,1 N. Camargo et al. (1982) consideraram que o DTPA é melhor extrator que o Mehlich (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N) para a determinação do zinco disponível nos solos com condições variáveis de umidade e pH.

Esta breve revisão sobre zinco na literatura científica brasileira, mostrou que estão sendo feitos esforços para estudar a natureza, causas e extensão da deficiência de zinco no sentido de desenvolver técnicas apropriadas de correção desta deficiência, no entanto, aparentemente ainda precisam ser feitos muitos estudos.

O presente trabalho foi feito com o objetivo de delimitar a deficiência de zinco em diferentes classes de solos da região amazônica em geral e, mais especificamente visando o arroz. Também

S U M Á R I O

INTRODUÇÃO	6
MATERIAIS E MÉTODOS	9
Coleta e preparação das amostras de solo	9
Análises de caracterização físico-química dos solos	9
Determinação de zinco total e assimilável	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
Parâmetros dos solos	10
Zinco total	11
Zinco disponível	17
Zinco disponível x zinco total	18
Zinco disponível x propriedades dos solos	19
Diagnóstico da deficiência/suficiência de zinco nos solos	24
CONCLUSÕES	26
AGRADECIMENTO	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
ANEXOS	31

tilada. Após filtração, o volume da solução foi levado a 50 ou 100 ml, conforme a necessidade de diluição, para que o zinco fosse analisado por espectrometria de absorção atômica.

O zinco assimilável foi extraído por diferentes extratores químicos, cujos parâmetros são dados na Tabela 1. O zinco extraído foi determinado por espectrometria de absorção atômica.

TABELA 1. Parâmetros dos extratores químicos utilizados na determinação de zinco assimilável dos solos.

Extrator	Relação Solo: extrator	Tempo de agitação	Referência
HCl 0,1 N	5 g : 50 ml	45 minutos	Wear & Sommer (1948)
DTPA 0,005 M +			
TEA 0,1M + CaCl ₂ 0,01M, pH 7,3	10 g : 20 ml	2 horas	Lindsay & Norvell (1978)
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N ^a	5 g : 20 ml	15 minutos	Wear & Evans (1968) e Perkins (1970)
EDTA 0,05M, pH 7,0	5 g : 20 ml	15 minutos	Viro (1955) e Wear & Evans (1968)
NH ₄ OAc N, pH 4,6	5 g : 50 ml	2 horas	Lyman & Dean (1942)

^a Extrator de Mehlich

Os resultados foram analisados estatisticamente para a determinação da correlação simples e regressões lineares múltiplas passo a passo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros dos solos

Os solos estudados representam seis grandes classes predominantes no trópico úmido brasileiro: Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), Latossolo Amarelo (LA), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Terra Roxa Estruturada (TE), Gleí Pouco Húmico (GPH) e Solo Aluvial (AL). Os resultados analíticos (Anexo I) indicaram uma boa faixa de variação nas suas propriedades físico-químicas.

Zinco total

O zinco total nos solos (Anexo II) estimado pelo método de digestão com ácido perclórico foi considerado com o valor aproximado daquele obtido pelo ataque com HF ou o método da fusão alcalina com carbonato de sódio. O zinco total nas amostras de solo das camadas superficiais variou de 3,92 (em dois PV) até 85,64 ppm (em uma GPH) com uma média de 21,82 ppm conforme mostram os resultados sumarizados na Tabela 2. As quantidades absolutas de zinco nos solos (zinco total), foram geralmente mais baixas do que aquelas encontradas nas mesmas classes de solos, em outras regiões do Brasil (Valadares & Catani 1975; Horowitz & Dantas 1976 e Brasil Sobrinho et al. 1979c), no entanto, a tendência foi a mesma observada, conforme mostra a seqüência $TE > GPH > LV > AL > LA > PV$. Os solos formados por rochas básicas (TE) e aqueles originados de material aluvial holocênico ou recente sob condições de hidromorfismo (GPH) contêm mais zinco total que os solos formados por rochas ácidas. Estes resultados concordam com as conclusões da Valadares & Catani (1975) e Brasil Sobrinho et al. (1979c) que trabalharam com solos brasileiros; Udo & Fagbami (1979) com solos nigerianos e com Weir (1980) que utilizou as classes dominantes de solos da Jamaica.

O zinco total das amostras imediatamente subjacentes às superfícies, algumas vezes foi ligeiramente superior e outras inferior que o das amostras superficiais. A distribuição do zinco total nos solos com a profundidade, mostrada na Fig. 2a, b e c, evidencia uma pequena variação para o mesmo tipo de solo, o que está de acordo com o encontrado por Brasil Sobrinho et al. (1979c) em solos de Piracicaba, Estado de São Paulo.

O conteúdo de zinco total, correlacionou-se significativamente com o carbono orgânico ($r = 0,33^{**}$), teor de argila ($r = 0,70^{**}$), fósforo total ($r = 0,89^{**}$) e Fed ($r = 0,59^{**}$) (Tabela 3). Horowitz & Dantas (1976) também evidenciaram uma estreita associação da distribuição do zinco total no perfil com os teores de argila, SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 .

Udo & Fagbami (1979) trabalhando com solos da região tropical da Nigéria, também encontraram estreita correlação entre o zinco total e o carbono orgânico, argila e ferro e manganês livres. Em al-

TABELA 2. Zinco (ppm) extraído das amostras superficiais de solos, por diversos extratores.

Extrator	Classes de solos								Todos solos
	PV	TE	LV	LA	GPH	AL			
HCl 0,1N	Mínimo	0,21	0,48	0,09	0,09	1,00	-	0,09	0,09
	Máximo	1,62	3,24	0,21	0,15	5,67	0,27	5,67	5,67
	Média	0,55	1,78	0,14	0,11	3,27	0,27	0,97	0,97
	Desvio padrão	0,39	1,16	0,05	0,03	1,64	-	1,32	1,32
DTPA 0,005M (pH 7,3)	Mínimo	0,07	0,24	0,07	0,06	0,78	-	0,06	0,06
	Máximo	0,77	1,16	0,13	0,11	3,61	0,24	3,61	3,61
	Média	0,28	0,70	0,10	0,08	1,69	0,24	0,49	0,49
	Desvio padrão	0,17	0,38	0,02	0,02	0,84	-	0,65	0,65
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	Mínimo	0,17	0,44	0,16	0,13	1,33	-	0,13	0,13
	Máximo	1,41	2,80	0,21	0,19	3,21	0,32	3,21	3,21
	Média	0,44	1,56	0,18	0,15	2,48	0,32	0,78	0,78
	Desvio padrão	0,30	1,03	0,02	0,02	0,70	-	0,93	0,93
EDTA 0,05M (pH 7,0)	Mínimo	0,33	0,50	0,24	0,21	1,81	-	0,21	0,21
	Máximo	1,40	4,12	0,33	0,26	4,56	0,50	4,56	4,56
	Média	0,56	2,04	0,29	0,24	2,81	0,50	0,96	0,96
	Desvio padrão	0,25	1,48	0,04	0,02	1,05	-	1,10	1,10
NH ₄ OAc 1N (pH 4,6)	Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	-	0,00	0,00
	Máximo	0,24	0,40	0,08	0,16	3,20	0,28	3,20	3,20
	Média	0,05	0,16	0,03	0,05	1,93	0,28	0,35	0,35
	Desvio padrão	0,07	0,17	0,04	0,06	0,80	-	0,74	0,74
Zinco total	Mínimo	3,92	49,55	17,11	7,49	26,74	-	3,92	3,92
	Máximo	53,12	85,56	23,17	13,90	83,06	11,05	85,56	85,56
	Média	10,19	61,94	19,61	10,24	52,86	11,05	21,82	21,82
	Desvio padrão	9,66	13,97	2,59	1,89	19,41	-	22,46	22,46

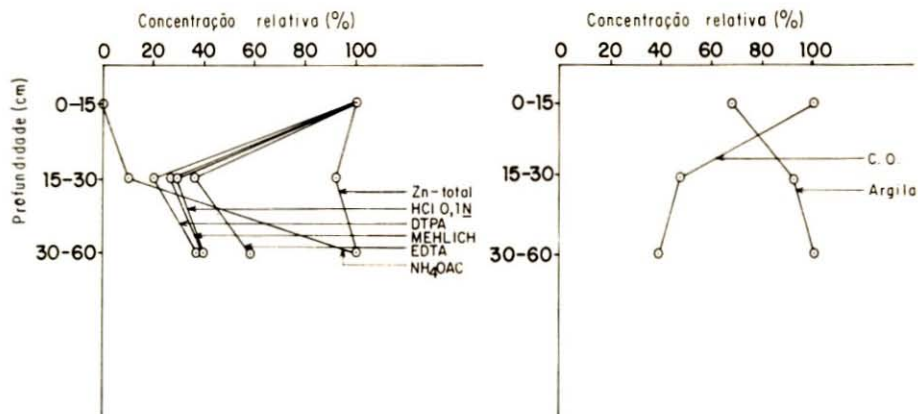
TABELA 3. Correlação simples entre o zinco disponível, zinco total e algumas propriedades físico-químicas dos solos.

Extrator	pH	C.O.	Argilla	P		Zn Total	Zn Total	arc. sen.	Zn disponível	
				Disponível	Total				Zn disponível	Zn total
HCl 0,1 N	-0,07ns	0,46**	0,43**	0,31*	0,74**	0,80**	0,38**	0,20ns	Fed (%)	
DTPA 0,005M (pH 7,3)	-0,12ns	0,54**	0,44**	0,34*	0,64**	0,65**	0,38**	0,15ns		
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	-0,01ns	0,49**	0,51**	0,36*	0,81**	0,85**	0,27ns	0,27ns		
EDTA 0,05M (pH 7,0)	-0,05ns	0,54**	0,59**	0,35*	0,82**	0,76**	0,20ns	0,30*		
NH ₄ OAC IN (pH 4,6)	-0,34*	0,54**	0,38**	0,38**	0,68**	0,58**	0,43**	0,04ns		
Zn total	-0,05ns	0,53*	0,70**	0,10ns	0,89**	-	-	0,59**		

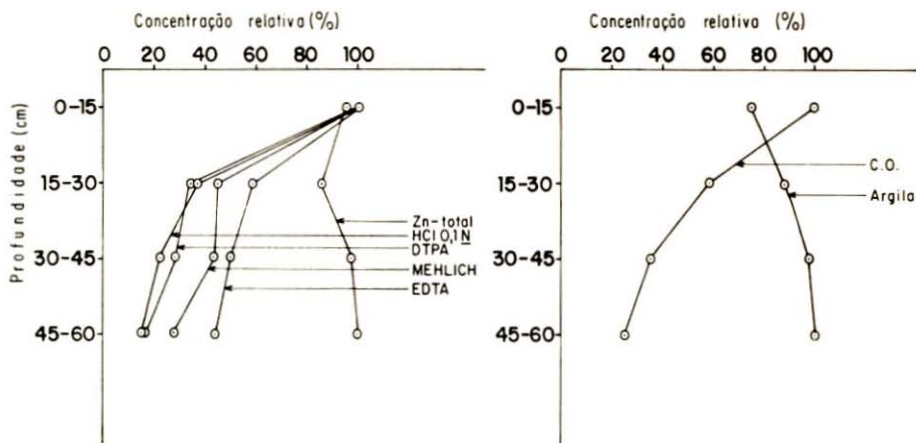
** significativo ao nível de 0,01.

* significativo ao nível de 0,05.

ns não significativo.

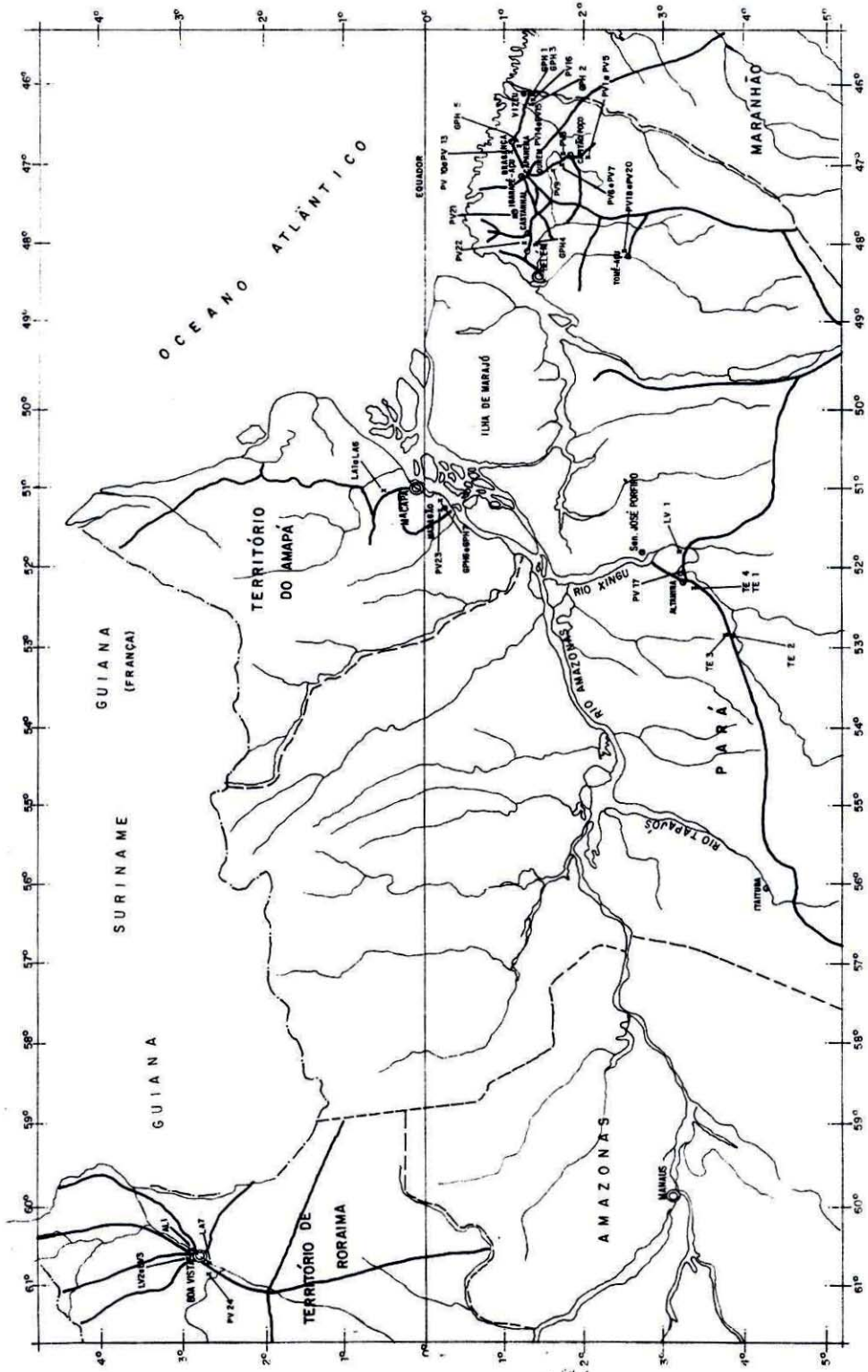


PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO (Boa Vista, RR)



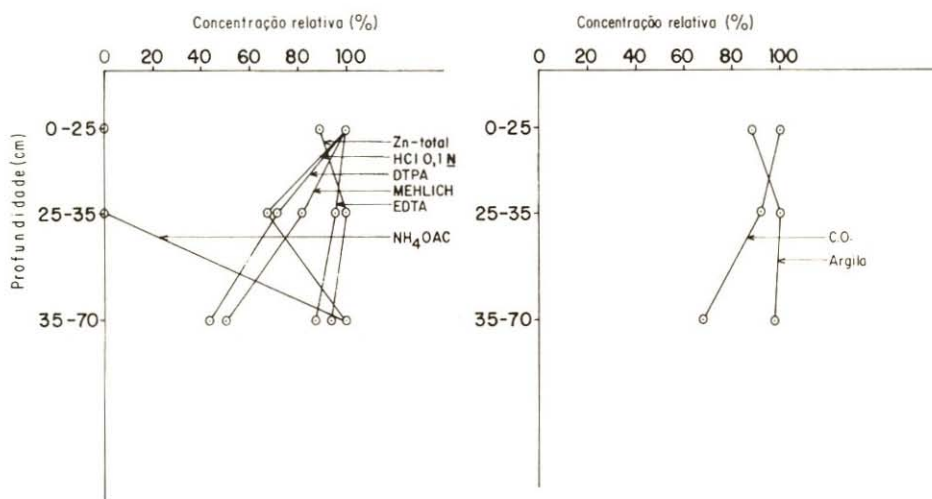
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO (Mazagão, AP)

FIG. 2 (a) Distribuição do zinco total e disponível em relação à argila e carbono orgânico



ESCALA 1:6 000 000

DESENHO-EDU



LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (Bod Vista, RR)

FIG. 2 (c) Distribuição do zinco total e disponível em relação à argila e carbono orgânico.

umas regiões temperadas, o zinco total tem-se correlacionado significativamente com a argila (Martens et al. 1966) e carbono orgânico (Martens et al. 1966 e Brown et al. 1971). Também foram encontradas correlações significativas entre o zinco total e o Fe_2O_3 extraído com H_2SO_4 , em alguns solos do Estado de São Paulo por Valadares & Catani (1975).

Zinco disponível

Os resultados de zinco disponível determinado nos solos por cinco extratores, são mostrados no Anexo II e sumarizados na Tabela 2. O extrator mais eficiente foi o HCl 0,1N observando-se a seguinte seqüência em eficiência: HCl 0,1N > EDTA 0,05M, (pH 7,0) > HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N > DTPA 0,005M, (pH 7,3) > NH_4OAc N, (pH 4,6). A maior eficiência do ácido clorídrico, mesmo com concentração 0,05N, do que o DTPA 0,005M, (pH 7,3) foi encontrada por Haque et al. (1981 a e b) em alguns solos da Serra Leoa. Udo & Fagbami (1979) consideraram que a maior extração do zinco pelo HCl pode ser atribuída à dissolução de algum zinco ligado aos minerais. Já a menor eficiência do NH_4OAc N (pH 4,6) provavelmente pode ser explicada pela sua habilidade de extrair somente as frações de zinco lábeis. Gangwar & Chandra (1976), trabalhando com solos de plantações de arroz, na Índia, encontraram que o NH_4OAc N (pH 4,6) como um tampão ácido através de H^+ , extrai zinco nas formas solúvel em água, trocável, absorvido, quelatado ou complexado conforme postulado por Viets (1962). A eficiência moderada do DTPA como extrator, foi explicada por Lindsay & Norvell (1978) que desenvolveram este teste. Eles consideraram que o DTPA como agente quelatante, extrai o zinco das frações lábeis do solo, não liberando as formas oclusas as quais normalmente não são disponíveis para as plantas.

Comparando as classes de solo, os GPH seguidos de perto pelas TE, contêm maior quantidade de zinco extraído por qualquer um dos cinco agentes utilizados. Com exceção do extrator NH_4OAc N (pH 4,6), os demais mostraram a seqüência GPH > TE > PV > AL > LV > LA. Esta seqüência é ligeiramente diferente daquela observada para o zinco total. Uma anomalia interessante dos PV, que geralmente contêm menos zinco total que os LV e AL, apresen-

taram mais zinco disponível que eles. De maneira semelhante que o zinco total, o zinco disponível dos solos originados de rochas básicas e aqueles com condições de hidromorfismo oriundos de materiais aluviais, são mais ricos em zinco que os formados por rochas ácidas. A seqüência dos solos em teor de zinco disponível determinado pelo $\text{NH}_4\text{OAc } N$ (pH 4,6) foi: $\text{GPH} > \text{AL} > \text{TE} > \text{LA} = \text{PV} > \text{LV}$ que difere da ordem dos demais extratores. A diferença pode talvez ser explicada em termos da eficiência do extrator $\text{NH}_4\text{OAc } N$ (pH 4,6) em relação aos demais extratores utilizados. Além disso, pode-se também dizer que os solos diferem de forma marcante, em termos da magnitude do conteúdo de zinco nas diferentes frações.

O zinco disponível extraído por qualquer um dos cinco extratores foi inferior nas amostras imediatamente abaixo da superfície. A observação mais interessante sob o ponto de vista de nutrição de planta, é que, abaixo de 15 cm de profundidade há um decréscimo drástico de zinco disponível o qual normalmente encontra-se na faixa de deficiência. O decréscimo do zinco disponível com a profundidade, também foi mostrado por Brasil Sobrinho et al. (1979c) e Correa & Bastos (1982) em solos do Brasil e por Udo & Fagbami (1979) em solos da Nigéria. Brasil Sobrinho et al. (1979c) consideraram que o decréscimo de zinco disponível com a profundidade talvez esteja associado ao decréscimo da matéria orgânica. Situação semelhante foi encontrada em alguns solos estudados, conforme mostram as Fig. 2a, b e c.

Estes resultados têm implicações práticas para o manejo. No processo de preparo da área, por ocasião de nivelamento do solo, ocorre o afloramento das camadas inferiores, que sendo geralmente pobres em zinco ocasionam deficiência deste nutriente.

Zinco disponível x zinco total

O zinco disponível determinado por qualquer um dos cinco extratores, correlacionou-se positivamente com o zinco total de forma altamente significativa (Tabela 3). Em alguns solos da Nigéria, Udo & Fagbami (1979) também encontraram estreita correlação entre os teores de zinco disponível extraídos com $\text{HCl } 0,1N$ e $\text{DTPA } 0,005M$ (pH 7,3) com o zinco total. Martens et al. (1966) também encontraram correlações significantes entre o zinco extraído com

HCl 0,1N e o zinco total, em alguns solos de regiões temperadas de Wisconsin, USA, e Kanehiro & Sherman (1967) no Havai, USA. É perigoso concluir que parte do zinco total, como fator capacidade, poderá constantemente contribuir para o zinco disponível ou fator intensidade.

Como nem todas as formas de zinco, englobadas como zinco total, formam o fator capacidade, torna-se mais explícito a correlação altamente significativa estabelecida entre o zinco disponível extraído com HCl 0,1N, DTPA 0,005M (pH 7,3) e NH_4OAc N (pH 4,6), e a relação do zinco disponível/zinco total (Tabela 3). O relacionamento quantitativo entre as duas formas de zinco foi ajustado estatisticamente ($P = 0,01$) como segue :

Zinco disponível (HCl 0,1N) = $-0,245 + 0,103X$ ($r^2 = 0,14$)

Zinco disponível (DTPA 0,005M pH 7,3) = $-0,121 + 0,070X$ ($r^2 = 0,15$)

Zinco disponível (NH_4OAc N pH 4,6) = $0,064 + 0,077X$ ($r^2 = 0,18$)

Onde $X = \text{arc. sen } \sqrt{\text{Zn disponível/Zn total}}$

Este relacionamento indica que quanto maior for a relação entre as duas formas de zinco, maior será a capacidade de fornecimento deste elemento em forma disponível. Estes resultados concordam com Brasil Sobrinho et al. (1979c).

Zinco disponível x propriedades dos solos

Os teores de zinco disponível extraído pelos cinco extratores, correlacionaram-se entre si de maneira altamente significativa (Tabela 4). A máxima correlação foi obtida entre o HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N e o EDTA 0,05N (pH 7,0) ($r = 0,94^{**}$) seguida pelo HCl 0,1N e HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N ($r = 0,89^{**}$). Camargo et al. (1982) também encontraram estreita correlação entre o zinco extraído pelo DTPA 0,005N (pH 7,3) e HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N em solos de São Paulo.

Considerando que várias propriedades dos solos afetam a disponibilidade de zinco, foram determinados coeficientes de correlação entre o zinco extraído pelos cinco extratores e algumas propriedades físico-químicas dos solos (Tabela 3). Os teores de matéria orgânica, argila, fósforo e ferro livre dos solos talvez afetem significativamente a extração de zinco assimilável pelos extratores utiliza-

dos. Somente o zinco extraído pelo $\text{NH}_4\text{OAc } N$ (pH 4,6) teve uma correlação negativa significativa com o pH do solo. Semelhante relação negativa foi também encontrada por Gangwar & Chandra (1976) em alguns solos tropicais da Índia utilizados com plantações de arroz. Como anteriormente, também mencionaram que talvez o $\text{NH}_4\text{OAc } N$ (pH 4,6) extraia só as frações de zinco lábil e que estas frações tendem diminuir com o aumento de pH. A relação quantitativa entre o zinco extraído pelo $\text{NH}_4\text{OAc } N$ (pH 4,6) e o pH do solo está mostrada na Fig. 3.

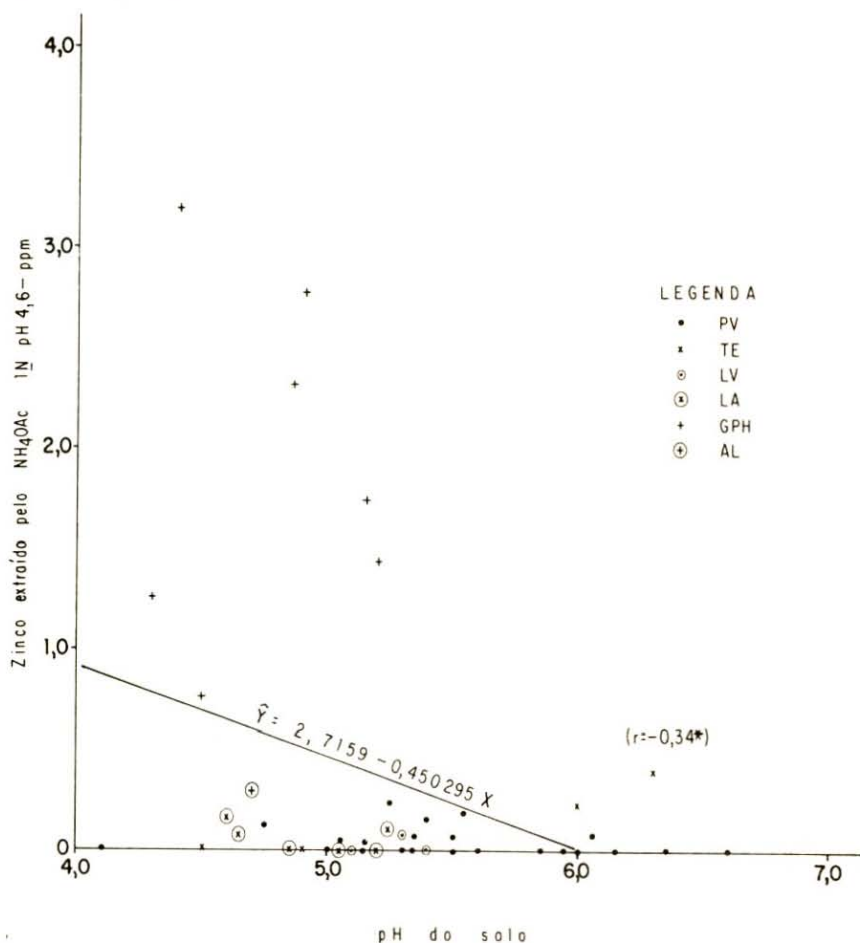


FIG. 3 Zinco extraído pelo $\text{NH}_4\text{OAc } 1N$ (pH 4,6) em relação ao pH do solo

TABELA 4. Correlação simples entre o zinco extraído por vários extratores.

Extrator	HCl 0,1N	DTPA 0,005M (pH 7,3)	HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	EDTA 0,05M (pH 7,0)	NH ₄ OAc 1N (pH 4,6)
HCl 0,1N	1	0,57**	0,89**	0,78**	0,77**
DTPA 0,005M (pH 7,3)		1	0,84**	0,83**	0,76**
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N			1	0,94**	0,82**
EDTA 0,05M (pH 7,0)				1	0,83**
NH ₄ OAc 1N (pH 4,6)					1

** Significativo ao nível de 0.01

TABELA 5. As melhores equações de regressão linear múltipla ajustadas pela análise passo a passo entre o zinco extraído com diferentes extratores e propriedades físico-químicas das amostras superficiais dos solos

Extrator	Equação $\frac{1}{1}$ $\frac{2}{1}$	r ²
HCl 0,1N	$\hat{Y} = -0,185 + 0,517 \text{ C.O.}(\%) - 0,034 \text{ argila}(\%) + 0,029 \text{ P disp. (ppm)} + 0,059 \text{ Zn total (ppm)}$	0,80
DTPA 0,005M (pH 7,3)	$\hat{Y} = -0,179 + 0,275 \text{ C.O.}(\%) + 0,015 \text{ Zn total (ppm)}$	0,54
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	$\hat{Y} = -0,152 + 0,324 \text{ C.O.}(\%) - 0,019 \text{ argila}(\%) + 0,028 \text{ P disp. (ppm)} + 0,041 \text{ Zn total (ppm)}$	0,88
EDTA 0,05M (pH 7,0)	$\hat{Y} = -2,938 + 0,494 \text{ pH} + 0,021 \text{ argila}(\%) + 0,06 \text{ P total (ppm)} - 0,155 \text{ Fe}_D(\%)$	0,84
NH ₄ OAc 1N (pH 4,6)	$\hat{Y} = 1,455 - 0,294 \text{ pH} + 0,334 \text{ C.O.}(\%) - 0,028 \text{ argila}(\%) + 0,004 \text{ P total (ppm)}$	0,70

$\frac{1}{1}$ O valor de "F" para cada equação em análise da variância foi significativo ao nível de 0,01.

$\frac{2}{1}$ Nas equações Y = Zinco extraído (ppm)

Legenda: P disp. — fósforo disponível.

C.O. — carbono orgânico.

Fe_D — ferro livre (Fe₂O₃ %).

O efeito de outras propriedades físico-químicas sobre a extração de zinco por diversos extratores, foi extensivamente citado na literatura. Por exemplo, foi encontrada correlação significativa entre o carbono orgânico e o zinco extraído pelo $\text{NH}_4\text{OAc} + \text{Ditizona}$ (Brasil Sobrinho et al. 1979c), $\text{HCl } 0,1N$ (Lombin 1983), $\text{HCl } 0,05N + \text{H}_2\text{SO}_4 0,025N$ (Gangwar & Chandra 1976 e Lombin 1983) e, $\text{DTPA } 0,005M$ (pH 7,3) Udo & Fagbami 1979) em solos de regiões tropicais e, com o zinco extraído pelo $\text{HCl } 0,1N$ (Martens et al. 1966, Brown et al. 1971), $\text{HCl } 0,05N + \text{H}_2\text{SO}_4 0,025N$ (Haq & Müller 1972) e $\text{DTPA } 0,005M$ (pH 7,3) (Haq & Müller 1972) em solos de regiões temperadas. Como neste trabalho, em solos da Holanda, Roorda van Eysinga et al. (1978) encontraram correlações significativas entre o zinco extraído pelo $\text{HCl } 0,1N$ e o fósforo (extraído com resina trocadora e, total).

O zinco extraído pelo $\text{EDTA } 0,05M$ (pH 7,0) foi o único que se correlacionou significativamente com o conteúdo dos óxidos e oxi-hidróxidos de ferro do solo. Aparentemente, o EDTA também extrai as formas de zinco absorvidas e/ou oclusas pelos minerais de ferro.

A determinação das combinações dos parâmetros dos solos que afetam concomitantemente, o zinco disponível extraído por cada um dos extratores, foi feita uma análise de regressão linear múltipla passo a passo para ajustar a melhor equação de predição (Tabela 5).

Encontrou-se que o grupo dos parâmetros do solo que afeta a extração de zinco pelos diferentes extratores, difere bastante. Em comparação com os outros extratores, o zinco extraído pelo $\text{HCl } 0,05N + \text{H}_2\text{SO}_4 0,025N$ pode ser predito com grande confiança ($r^2 = 0,88$), pela melhor equação ajustada a qual inclui o carbono orgânico, argila, fósforo disponível e zinco total. A ordem dos extratores em termos de grau de predição, ajustara-se nas equações obedecendo a seqüência $\text{HCl } 0,05 N + \text{H}_2\text{SO}_4 0,025N > \text{EDTA } 0,05M$ (pH 7,0) $> \text{HCl } 0,1N > \text{NH}_4\text{OAc } N$ (pH 4,6) $> \text{DTPA } 0,005M$ (pH 7,3).

Uma interessante observação feita a partir das equações de regressão múltiplas foi que, apesar da argila exercer uma influência negativa sobre o zinco extraído com $\text{HCl } 0,1N$, $\text{HCl } 0,05N + \text{H}_2\text{SO}_4 0,025N$ e, $\text{NH}_4\text{OAc } N$ (pH 4,6), sua influência é positiva no zinco extraído pelo $\text{EDTA } 0,05M$ (pH 7,0).

Uma outra observação, foi que o $\text{DTPA } 0,005M$ (pH 7,3) com um moderado poder de extração de zinco disponível, quando comparadô

com os outros extratores utilizados, mostra ser o menos afetado pelas propriedades físico-químicas dos solos sendo, portanto, um extrator com boas perspectivas para as análises de "soil testing".

Diagnóstico da deficiência/suficiência de zinco nos solos

O zinco extraído por cinco extratores foi usado para determinar a extensão da deficiência de cada classe de solo estudada. Na falta de limites críticos de zinco para os solos, foi feita uma breve revisão da literatura apresentada na Tabela 6, a fim de adotar os limites críticos mais práticos para a classificação dos solos, em categorias de suficiência e deficiência. A revisão mostra que podem ser usados os níveis críticos de 2 ppm de Zn para o HCl 0,1N e HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N, 0,7 ppm de Zn para o DTPA 0,005M (pH 7,3), 1,4 ppm de Zn para o EDTA 0,05M (pH 7,0) e 0,45 ppm para o NH₄OAc N como diagnóstico.

TABELA 6. Níveis críticos do zinco para os diversos extratores estabelecidos por diferentes pesquisadores.

Extrator	Cultura	Nível crítico (ppm)	Referência
HCl 0,1N	Milho	1	Wear & Sommer (1948)
HCl 0,1N	Milho	1 a 2	Kanehiro & Sherman (1967)
HCl 0,1N	Arroz	1,8	Sedberry et al. (1978)
DTPA 0,005M (pH 7,3)	Milho	0,5	Brown et al. (1971)
DTPA 0,005M (pH 7,3)	Milho	0,8	Lindsay & Norvell (1978)
DTPA 0,005M (pH 7,3)	Arroz	0,7	Sedberry et al. (1978)
DTPA 0,005M (pH 7,3)	Arroz	0,69 a 0,80	Singh & Takkar (1981)
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	Arroz	1,95	Gangwar & Chandra (1976)
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	Arroz	1,4	Sedberry et al. (1978)
EDTA 0,05M (pH 7,0)	Arroz	1,24 a 1,42	Singh & Takkar (1981)
NH ₄ OAc N (pH 4,6)	Arroz	0,45	Gangwar & Chandra (1976)

A Tabela 7 mostra a extensão da deficiência em cada classe de solo.

TABELA 7. Percentagem de solos, considerados deficientes em zinco, estabelecida pelos níveis críticos de cada um dos cinco extratores utilizados.

Extrator	Nível crítico (ppm)	PV	Classes de solo				
			LA	LV	TE	GPH	AL
		%					
HCl 0,1N	2,00	100	100	100	50	43	100
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,0025N	2,00	100	100	100	50	29	100
EDTA 0,05M (pH 7,0)	1,40	96	100	100	50	0	100
DTPA 0,005M (pH 7,3)	0,70	92	100	100	50	0	100
NH ₄ OAc N (pH 4,6)	0,45	100	100	100	100	0	100

Foi interessante observar a boa conformidade na interpretação dos resultados de zinco disponível, baseado nos níveis críticos de cada extrator utilizado. A deficiência de zinco disponível, parece ser severa no LA, LV, AL e PV. O GPH e a TE, tiveram variação na classificação mas, baseado nos níveis críticos do EDTA 0,05M (pH 7,0) e DTPA 0,005M (pH 7,3) os quais, estão aproximadamente em conformidade, todos os GPH e 50% das TE podem ser incluídos no grupo de solos suficientes em zinco disponível. Assim, percentualmente, as classes de solos da categoria insuficiente obedecem a ordem LA = LV = AL (100%) > PV(92 ≈ 96%) > TE(50%) > GPH(0%). Os GPH não foram somente os únicos suficientes em zinco, mas também, os únicos solos suficientes em zinco disponível extraído com NH₄OAc N (pH 4,6). Assim os GPH dentre os solos estudados foram os que apresentaram predominância de zinco nas formas solúvel em água e trocável, portanto, foram os solos com maior fator intensidade, deste nutriente.

Uma implicação prática destes resultados é que provavelmente seja mais necessário analisar o zinco disponível dos solos LA, LV, PV e AL do que dos GPH e TE, a fim de determinar a necessidade da correção das deficiências deste nutriente. Além disso, precisam ser determinados os limites críticos de zinco nos diferentes solos e culturas.

CONCLUSÕES

1. O zinco disponível determinado por cinco extratores e o zinco total dos solos, mostraram que há uma generalizada deficiência deste nutriente dos solos originados de rochas ácidas (PV, LA, LV) e no AL, o que não ocorre com solos originados de rochas básicas (TE) ou em solos formados de material sedimentar holocênico ou recente em condições de hidromorfismo (GPH).

2. Ocorre a necessidade de serem tomadas medidas profiláticas para se evitar possíveis deficiências de zinco nas classes de solo como LA, LV, AL e PV que possam limitar a produtividade da cultura do arroz de sequeiro. Dentre essas medidas recomenda-se a aplicação da dose que é geralmente indicada de 50 kg de $ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$ /ha a lanço e incorporada na camada superficial de 0—15 cm do solo antes do plantio do arroz.

3. As camadas superficiais de solo sempre contêm mais zinco disponível que as camadas imediatamente inferiores com níveis de zinco aparentemente inferiores ao nível crítico. Esta informação é importante para o manejo do solo. No processo de preparo da área, por ocasião do nivelamento do solo, ocorre o afloramento das camadas inferiores que sendo geralmente pobres em zinco ocasionam a deficiência deste nutriente em plantas não adubadas com este elemento.

4. Os extratores mostraram a seqüência de eficiência HCl 0,1N > EDTA 0,05M (pH 7,0) > HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N > DTPA 0,005M (pH 7,3) > NH_4OAc N (pH 4,6). O DTPA 0,005 M (pH 7,3) com eficiência moderada mostrou ser um bom extrator para o uso de "soil testing" uma vez que é o menos influenciado pelas propriedades físico-químicas dos solos. Já o NH_4OAc N (pH 4,6) pode ser útil na avaliação do zinco disponível em manejos onde ocorram mudanças de pH.

5. O zinco total destes solos não deve ser considerado como fator capacidade.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológica, Setor de Geoquímica, da Universidade Federal do Pará, pela facilidade no uso do Espectrofotometrio de Absorção Atômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAHIA, F.G.F.T.C. & BRAGA, J.M. Influência da adubação fosfatada e calagem sobre a absorção do zinco em dois solos de Minas Gerais. **R. Ceres**, Viçosa, 21 (115) : 167-92, 1974.
- BARBOSA FILHO, M.P. & FAGERIA, N.K. **A ocorrência, diagnose e correção da deficiência de zinco na cultura de arroz de sequeiro**. Goiânia, EMBRAPA-CNPAP, 1980. 18p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular Técnica, 4).
- BATISTA, C.M.; BRUNE, W. & BRAGA, J.M. Efeitos da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). V — Absorção de micronutrientes. **Experientiae**, Viçosa, 19 (3) : 33-57, fev. 1975.
- BERNIZ, J.M.J.; VIEGAS, I. do J.M. & BUENO, N. **Deficiências de zinco, boro, e cobre em seringueira**. Manaus, EMBRAPA-CNPSP, 1980. 21p. (EMBRAPA-CNPSP. Circular Técnica, 1).
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C. do; FREIRE, O.; SARRUGE, J.R. & SILVEIRA, R.I. Retenção de zinco por alguns solos de Piracicaba. **R. Agric.** Piracicaba, 54 (4) : 253-61, dez. 1979a.
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; FREIRE, O. & SILVEIRA, R.I. Zinco em alguns solos de Piracicaba; avaliação por testes biológicos. **R. Agric.**, Piracicaba, 54 (4) : 237-51, dez. 1979b.
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C. do; FREIRE, O. & SILVEIRA, R.I. Zinco em alguns solos de Piracicaba; avaliação por testes químicos. **R. Agric.**, Piracicaba, 54 (4) : 217-35, dez. 1979c.
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C. do; FREIRE, O.; NEDER, R.N. & SILVEIRA, R.I. Zinco em alguns solos de Piracicaba; avaliação por testes microbiológicos. **R. Agric.**, Piracicaba, 55 (1/2) : 63-82, mai. 1980.
- BRITTO, D.P.P. de S.; CASTRO, A.F. de; MENDES, W.; JACCOUD, A.; RAMOS, D.P. & COSTA, F.A. Estudo das reações a micronutrientes em latossolo vermelho-escuro sob vegetação de cerrado. **Pesq. agropec. bras. Sér. Agron.** Itaquai, 6 : 17-22, 1971.
- BROWN, A.L.; QUICK, J. & ADDINGS, J.L. A comparison of analytical methods for soil zinc. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, 35 : 105-7, 1971.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. & DECHEN, A.R. Efeitos do pH e da incubação na extração do manganês, zinco, cobre e ferro do solo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 6 : 83-8, 1982.
- CORREA, J.C. & BASTOS, J.B. **Os solos das várzeas do Paraná dos Ramos (município de Barreirinha — Amazonas) e sua fertilidade**, Manaus, EMBRAPA-UEPAE-Manaus, 1982. 26p. (EMBRAPA-UEPAE-Manaus. Boletim de Pesquisa, 1).
- DECARO, S.T.; VITTI, G.C.; FORNASIERI FILHO, D. & MELO, W.J. Efeito de doses e fontes de zinco na cultura do milho (*Zea mays* L.) **R. Agric.**, Piracicaba, 58 (1/2) : 25-36, jun. 1983.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, RJ. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.
- FAGERIA, N.K. & ZIMMERMANN, F.J.P. Interação entre P, Zn e calcário em arroz de sequeiro. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas **3** : 88-92, 1979.
- FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. & LOPES, A.M. Resposta do arroz irrigado à aplicação de fósforo, zinco e calcário. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, **1** : 72-6, 1977.
- FRANCO, C.M. & MENDES, H.C. Deficiência de microelementos em cafeeiro. **B. Superint. Serv. Café**, São Paulo, **28** : 19-22, 1953.
- GANGWAR, M.S. & CHANDRA, S.K. Estimation of critical limit for zinc in rice soils. **Commun. Soil Sci. & Plant Anal.**, Athens, **7** (3) : 295-310, 1976.
- GUIMARÃES, G. de A.; BASTOS, J.B. & LOPES, E. de C. **Métodos de análises física, química e instrumental de solos**. Belém, IPEAN, 1970. 108p. (IPEAN. Química de Solos, v.1, n.º 1).
- HAQ, A.U. & MILLER, M.H. Prediction of available soil Zn, Cu, and Mn using chemical extractants. **Agron. J.**, Madison, **64** : 779-82, 1972.
- HAQUE, I.; ODELL, R.T. & WALKER, W.M. Micronutrient cation status of some upland soils of Sierra Leone. **Trop. Agric.**, Trinidad, **58** : 89-95, 1981a.
- HAQUE, I.; ODELL, R.T.; WALKER, W.M. & KAMARA, C.S. Micronutrient cation status of some lowland soils used for rice production in Sierra Leone. **Trop. Agric.**, Trinidad, **58** : 81-8, 1981b.
- HESSE, P.R. **A textbook of soil chemical analysis**, London, Murray, 1971. p. 101-2.
- HOROWITZ, A. & DANTAS, H. da S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. IV. Zinco na zona litoral — Mata. **Pesq. agropec. bras. Sér. Agron.**, Itaguaí, **11** : 27-35, 1976.
- IGUE, K.; BLANCO, H.G. & ANDRADE SOBRINHO, J. Influência do zinco na produção do milho. **Bragantia**, Campinas, **21**(16):263-9, 1962.
- IGUE, K. & GALLO, J.R. **Deficiência de zinco em milho no Estado de S. Paulo**. São Paulo, IBEC Research Institute, 1960. 19p. (IBEC Research Institute. Bulletin, 20).
- JACINTHO, A.O.; CATANI, R.A. & PIZZINATTO, A. Extração e determinação do teor solúvel de zinco do solo. **An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz**, Piracicaba, **28**:275-85, 1971.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis; advanced course**. Madison, University of Wisconsin, Department of soils, 1969. 991p.
- KANEHIRO, Y. & SHERMAN, G.D. Distribution of total and 0.1 normal hydrochloric acid-extractable zinc in Hawaiian soil profiles. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, **31**:394-9, 1967.

- LEITE, J.P. & SKOGLEY, E.O. Retention and leaching of copper and zinc in "tabuleiro" soils as influenced by nutrient carrier. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, **12**:27-34, 1977.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Developments of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, **42**:421-8, 1978.
- LOMBIN, G. Evaluating the micronutrient fertility of Nigeria's semiarid savanna soils. 2. Zinc. **Soil Sci.**, Baltimore, **136**:42-7, 1983.
- LYMAN, C. & DEAN, L.A. Zinc deficiency of pineapples in relation to soil and plant composition. **Soil Sci.**, Baltimore, **54**:315-24, 1942.
- MARTENS, D.C.; CHESTER, G. & PETERSON, L.A. Factors controlling the extractability of soils zinc. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, **30**:67-9, 1966.
- MEDCALF, J.C. & LOTT, W.L. **Metal chelates in coffee**. New York, N.Y., IBEC Research Institute, 1956. 19p. (IBEC Research Institute. Bulletin, 11).
- MOREIRA, S. Um novo problema para nossa citricultura. **R. Agric.**, Piracicaba, **35**(2):77-82, 1960.
- PERKINS, H.F. A rapid method of evaluating the zinc status of coastal plain soils. **Commun. Soil Sci. & Plant Anal.**, Athens, **1**(1):35-42, 1970.
- PRABHU, A.S. & FARIA, J.C. de. **Deficiência de zinco e doenças foliares do arroz**. Goiânia, EMBRAPA-CNPAP, 1976. 1p.
- RODRIGUES, O. & GALLO, J.P. Levantamento do estado nutricional de pomares cítricos de São Paulo pela análise foliar. **Bragantia**, Campinas, **20**:1183-203, 1961.
- ROORDA Van EYSINGA, J.P.N.L.; DIJK, P.A. Van & BES, S.S. de. The extractable zinc content of soils in the Netherlands. **Commun. Soil Sci. & Plant Anal.**, Athens, **9**(2):153-67, 1978.
- SEDBERRY, Jr., J.E.; SCHILLING, P.G.; WILSON, F.E. & PETERSON, F.J. **Diagnosis and correction of zinc problems in rice production**. Baton Rouge, Louisiana State University, 1978. 14p. (Louisiana State University. Bulletin, 708).
- SILVEIRA, R.I.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. de; MELO, F.A.F. de; ARZOLLA, S. & SARRUGE, J.R. Influência das frações granulométrica sobre a fixação de zinco pelo solo. **An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz**, Piracicaba, **32**:277-84, 1975a.
- SILVEIRA, R.I. & MELLO, F. de A.F. de. Influência do tempo de contato e quantidade de Zn^{2+} sobre a fixação desse cátion pelo solo. **An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz**, Piracicaba, **32**:269-76, 1975.
- SILVEIRA, R.I.; MELLO, F.A.F. de; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. de.; ARZOLLA, S. & SARRUGE, J.R. Influência do pH e dos teores de fósforo solúvel e matéria orgânica sobre a fixação de zinco pelo solo. **An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz**, Piracicaba, **32**:285-95, 1975b.
- SILVEIRA, R.I. & MELLO, F. de A.F. de. Fatores que concorrem para a fixação do Zn no solo. **R. Agric.**, Piracicaba, **52**:(2/3):143-6, out. 1977.

- SINGH, H.G. & TAKKAR, P.N. Evaluation of efficient soil test methods for zinc and their critical values in salt-affected soils for rice. **Commun. Soil Sci. & Plant Anal.**, Athens, **12**(4):383-406, 1981.
- SOUZA, D.M. de & HIROCE, R. Diagnose e tratamento preventivo no solo de deficiência de zinco em cultura de arroz de sequeiro em solos com pH abaixo de VII. **Bragantia**, Campinas, **29**(9):91-103, 1970.
- SOUZA, D.M. de & HIROCE, R. Deficiência de zinco na cultura de arroz. **Lav. Arroz**. Porto Alegre, (261):37-43, mai.-jun. 1971.
- UDO, E.J. & FAGBAMI, A.A. The profile distribution of total and extractable zinc in selected Nigerian soils. **Commun. Soil Sci. & Plant Anal.**, Athens, **10**(8): 1141-61, 1979.
- VALADARES, J.M.A.S. & CATANI, R.A. Zinco em solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, **34**(5):134-9, mar. 1975.
- VIETS, F.G. Chemistry and availability of micronutrients. **J. Agr. Food Chem.**, Washington, **10**: 174-8, 1962.
- VIRO, P. Use of ethylenediaminetetraacetic acid in soil analysis. I. Experimental **Soil Sci.**, Baltimore **79**:459-65, 1955.
- WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Sci.**, Baltimore, **37**:29-38, 1934.
- WEAR, J.I. & EVANS, C.E. Relationship of zinc uptake by corn and sorghum to soil zinc measured by three extractants. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, **32**:543-6, 1968.
- WEAR, J.I. & SOMMER, A.L. Acid extractable zinc of soils in relation to the occurrence of zinc deficiency symptoms of corn: a method of analysis. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, **12**:143, 1948.
- WEIR, C.C. A trace element survey of the major soil types in Jamaica. **Trop. Agric.**, Trinidad, **57**:21-8, 1980.

A N E X O S

Resultados analíticos das amostras de solos da região do Tópico Unido Brasileiro

Nº	Proto colo	Profun- didade (cm)	Textura	pH (1:1)		N	C	C/N	Argilla	Fósforo		Cátions trocáveis					S	T	CTC (pH _{8,2})	V	Al ³⁺ Al ³⁺ +S	X100 Fe _d																									
				H ₂ O	KCl					Dispo- nível	Total	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺							H																								
																						(%)	(%)	(mg/100g)																							
Capitão-Beço - PA																																															
PV-1	39,041	0-15	Franco arenoso	5,55	4,75	0,05	0,63	12	14	2,26	83	1,10	0,19	0,04	0,04	0,20	2,11	1,37	3,68	3,96	37	13	0,84																								
PV-2	39,042	0-15	Franco arenoso	6,05	5,40	0,04	0,86	21	14	1,61	88	1,42	0,36	0,04	0,12	0,00	2,15	1,94	4,09	4,82	47	0	0,95																								
PV-3	39,043	0-15	Franco argilo-arenoso	5,05	4,30	0,06	0,67	11	23	2,22	95	0,67	0,23	0,03	0,07	0,40	2,90	1,00	4,30	6,16	23	28	1,50																								
PV-4	39,044	0-15	Franco argilo-arenoso	5,35	4,40	0,08	0,67	8	21	1,00	92	0,50	0,15	0,05	0,07	0,40	2,57	0,77	3,74	5,72	21	34	1,40																								
PV-5	39,045	0-15	Franco arenoso	5,95	5,20	0,09	1,08	12	19	1,26	114	2,33	0,25	0,06	0,22	0,20	2,44	2,86	5,50	7,92	52	7	1,53																								
PV-5A	39,046	15-60	Argilla arenoso	5,15	4,10	0,05	0,32	6	41	0,26	57	0,25	0,06	0,04	0,05	0,80	0,67	0,40	3,87	6,00	10	67	-																								
PV-6	39,047	0-15	Franco arenoso	6,15	5,35	0,05	1,09	21	14	2,91	90	2,35	0,24	0,04	0,07	0,00	2,31	2,70	5,01	7,68	54	0	1,20																								
PV-6A	39,048	15-60	Franco argilo-arenoso	6,10	5,25	0,04	0,50	12	23	0,39	53	2,00	0,05	0,03	0,05	0,00	0,17	2,13	2,30	4,82	93	0	-																								
PV-7	39,049	0-15	Areia	6,60	5,80	0,03	0,41	14	5	1,74	64	1,25	0,15	0,02	0,06	0,00	0,99	1,48	2,47	2,20	60	0	0,75																								
PV-8	39,050	0-15	Areia	5,35	4,50	0,07	0,57	8	9	2,04	63	1,25	0,14	0,04	0,05	0,20	1,94	1,48	3,62	5,52	41	12	0,71																								
PV-9	39,051	0-15	Franco arenoso	5,85	5,15	0,07	0,86	12	18	2,48	83	1,80	0,16	0,04	0,06	0,00	2,15	2,06	4,21	7,04	49	0	1,00																								
Tracuateua - PA																																															
PV-10	39,052	0-15	Franco arenoso	5,00	3,95	0,03	0,68	22	14	3,00	136	0,24	0,05	0,03	0,04	0,80	3,16	0,36	4,32	6,60	8	69	1,27																								
PV-10A	39,053	15-60	Franco arenoso	5,20	4,10	0,02	0,29	14	18	0,26	109	0,08	0,03	0,03	0,01	0,60	2,37	0,15	3,12	3,75	5	80	-																								
PV-11	39,054	0-15	Areia franca	5,50	4,70	0,02	0,67	11	10	5,26	114	0,42	0,10	0,04	0,04	0,40	2,40	0,60	3,40	3,85	18	40	0,90																								
PV-11A	39,055	15-60	Franco arenoso	5,45	4,70	0,05	0,29	6	18	3,00	100	0,19	0,06	0,03	0,02	0,60	1,71	0,30	2,61	3,52	11	67	-																								
PV-12	39,056	0-15	Areia franca	2,35	4,70	0,07	1,02	14	8	6,61	68	0,86	0,20	0,03	0,03	0,40	3,40	1,12	4,92	5,28	23	26	0,43																								
PV-13	39,057	0-15	Areia franca	5,15	4,10	0,06	0,80	13	10	2,39	84	0,75	0,13	0,04	0,05	0,40	2,24	0,97	3,61	4,82	27	29	0,89																								
Bragança - PA																																															
PV-14	39,058	0-15	Franco arenoso	4,75	4,10	0,09	1,45	16	9	5,26	116	1,42	0,22	0,04	0,08	0,40	4,72	1,76	6,88	7,24	26	19	0,55																								
PV-15	39,059	0-15	Franco arenoso	5,25	4,10	0,07	0,95	13	11	3,70	123	0,92	0,13	0,04	0,08	0,40	3,25	1,17	4,80	4,82	24	25	0,81																								
Vizeu - PA																																															
PV-16	39,062	0-15	Areia franca	5,55	4,40	0,07	0,80	11	7	2,22	85	1,00	0,20	0,03	0,03	0,20	2,94	1,26	4,40	4,40	29	14	0,47																								
Altramira - PA																																															
PV-17	39,071	0-15	Areia franca	5,30	4,45	0,08	0,52	6	13	8,87	145	0,77	0,07	0,07	0,06	0,20	2,11	0,97	3,28	4,84	30	17	0,94																								
PV-17A	39,072	15-30	Franco argilo-arenoso	4,75	3,95	0,05	0,44	9	26	1,46	169	0,25	0,02	0,02	0,03	0,60	2,04	0,32	2,96	5,72	11	65	-																								
Tomé-Açu - PA																																															
PV-18	39,164	0-15	Franco argilo-arenoso	5,40	4,55	0,08	0,84	10	29	5,44	90	1,25	0,22	0,06	0,11	0,20	2,61	1,64	4,45	7,92	37	11	1,37																								
PV-18A	39,165	15-30	Argilla arenoso	5,15	4,25	0,05	0,51	10	39	1,74	39	0,38	0,50	0,04	0,06	0,60	2,04	0,98	3,62	10,34	27	38	0,51																								
PV-19	39,166	0-15	Franco arenoso	5,40	4,55	0,07	0,84	12	16	9,74	75	0,89	0,19	0,03	0,05	0,60	3,03	1,26	4,89	7,48	26	32	0,51																								
PV-19A	39,167	15-30	Franco argilo-arenoso	4,65	4,00	0,06	0,51	8	27	1,26	27	0,38	0,25	0,04	0,04	0,60	2,37	0,71	3,68	6,16	19	46	-																								
PV-20	39,168	0-15	Franco argilo-arenoso	6,55	5,80	0,09	1,17	13	30	40,67	228	4,13	0,88	0,04	0,12	0,00	2,15	1,17	7,32	13,20	71	0	2,40																								
PV-20A	39,169	15-30	Argilla	5,70	5,10	0,02	0,54	27	45	1,83	78	2,13	0,88	0,04	0,10	0,00	1,32	3,15	4,47	13,42	70	0	-																								
Igarapé-Açu - PA																																															
PV-21	39,170	0-15	Areia franca	5,50	4,65	0,03	0,60	20	7	3,55	47	0,92	0,16	0,03	0,05	0,20	2,15	1,16	3,51	5,96	33	15	0,51																								
PV-21A	39,171	15-30	Franco arenoso	4,85	4,05	0,04	0,42	10	17	1,26	42	0,25	0,25	0,02	0,03	0,60	2,04	0,55	3,19	5,72	17	52	-																								

Glei Pouco Húmido

Vizeu - PA

GPH-1	39.060	0-15	Muito argiloso	4,40	3,55	0,24	2,62	11	61	21,05	738	3,92	0,18	8,71	0,66	1,00	9,56	13,47	24,03	33,88	56	7	2,57
GPH-2	39.061	0-15	Argila siltosa	4,85	3,75	0,31	4,52	14	41	3,22	342	3,45	5,07	1,39	0,28	0,80	9,60	10,19	20,59	27,75	49	7	1,22
GPH-3	39.658	0-15	Argila	4,90	4,50	0,17	1,95	11	51	17,75	561	5,25	6,25	12,15	1,17	0,80	4,15	24,82	29,77	33,88	83	3	2,28

Santa Isabel - PA

GPH-4	39.172	0-15	Franco argilo siltoso	4,30	3,40	0,07	1,41	20	30	9,40	289	1,04	0,92	0,19	0,08	4,60	5,30	2,23	12,13	18,92	18	67	1,43
GPH-4A	39.173	15-30	Franco argilo siltoso	4,30	3,40	0,09	0,72	8	39	2,35	156	1,00	3,88	0,52	0,08	4,60	3,32	5,48	13,40	20,90	41	46	-

Bragança - PA

GPH-5	39.657	0-15	Muito argiloso	4,50	4,20	0,34	4,60	13	63	2,22	261	5,00	6,25	9,78	0,72	0,80	8,94	21,75	31,49	38,28	69	4	2,17
-------	--------	------	----------------	------	------	------	------	----	----	------	-----	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	----	---	------

Mazagão - AP

GPH-6	39.150	0-20	Franco siltoso	5,20	4,10	0,11	0,95	9	22	5,70	411	6,84	1,38	0,18	0,14	0,80	3,99	8,54	13,33	17,04	64	9	1,54
GPH-6A	39.151	20-40	Franco siltoso	5,60	4,05	0,04	0,57	9	13	10,53	277	5,75	2,00	0,13	0,06	0,60	2,21	7,94	10,75	14,96	74	7	-
GPH-7	39.152	0-20	Franco siltoso	5,15	3,90	0,13	1,10	8	21	8,66	424	8,28	1,23	0,12	0,13	1,00	4,61	9,76	15,37	22,44	64	9	1,67
GPH-7A	39.153	20-40	Franco siltoso	5,50	3,95	0,07	0,49	7	19	3,91	290	6,75	2,62	0,16	0,09	1,00	2,47	9,62	13,09	19,80	73	9	-

Aluvial

Boa Vista - RR

AL-1	39.236	0-15	Franco	4,70	3,80	0,04	0,61	15	14	9,61	68	0,25	0,02	0,03	0,04	1,00	1,80	0,34	5,14	3,96	11	75	0,11
AL-1A	39.237	15-30	Franco	4,50	3,80	0,03	0,28	9	24	0,91	29	0,17	0,01	0,03	0,02	2,00	1,30	0,23	3,53	7,04	7	90	-

ANEXO II

Teor de zinco total e disponível nos diferentes solos (ppm).

Protocolo	Profundidade (cm)	Total	Soluções extratoras				
			HCl 0,1N	DTPA 0,005M + TEA 0,1M + CaCl ₂ 0,01M (pH 7,3)	HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	EDTA 0,05M (pH 7,0)	NH ₄ OAC 1N (pH 4,6)
Podzólico Vermelho-Amarelo							
Capitão-Poço - PA							
39.041	0-15	9,27	0,61	0,21	0,34	0,50	0,20
39.042	0-15	9,98	0,63	0,30	0,50	0,59	0,08
39.043	0-15	12,48	1,49	0,13	0,21	0,35	0,04
39.044	0-15	13,19	0,24	0,15	0,24	0,38	0,00
39.045	0-15	9,98	0,49	0,32	0,42	0,54	0,00
39.046	15-60	14,95	0,09	0,13	0,10	0,24	0,04
39.047	0-15	10,70	0,27	0,19	0,24	0,42	0,00
39.048	15-60	9,83	0,09	0,09	0,12	0,32	0,00
39.049	0-15	5,70	0,21	0,15	0,25	0,33	0,00
39.050	0-15	4,63	0,39	0,29	0,32	0,48	0,08
39.051	0-15	7,84	0,54	0,25	0,38	0,50	0,00
Tracuateua - PA							
39.052	0-15	8,56	0,30	0,26	0,35	0,48	0,00
39.053	15-60	8,07	0,06	0,06	0,08	0,30	0,00
39.054	0-15	7,84	0,36	0,24	0,39	0,72	0,08
39.055	15-60	11,72	0,00	0,05	0,08	0,32	0,00
39.056	0-15	4,28	0,54	0,32	0,45	0,60	0,08
39.057	0-15	6,42	0,27	0,16	0,28	0,40	0,04
Bragança - PA							
39.058	0-15	3,92	0,57	0,36	0,49	0,69	0,12
39.059	0-15	6,42	0,72	0,50	0,61	0,75	0,24

Teor de zinco total e disponível nos diferentes solos (ppm) (continuação).

Protocolo	Profundidade (cm)	Total	Soluções extratoras				
			HCl 0,1N	DTPA 0,005M + TEA 0,1M + CaCl ₂ 0,01M (pH 7,3)	HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	EDTA 0,05M (pH 7,0)	NH ₄ OAC 1N (pH 4,6)
Vizeu - PA							
39.062	0-15	3,92	0,30	0,11	0,17	0,39	0,00
Altamira - PA							
39.071	0-15	4,99	0,24	0,13	0,22	2,77	0,00
39.072	15-30	8,21	0,09	0,07	0,13	0,33	0,04
Tomé-Açu - PA							
39.164	0-15	11,76	0,60	0,34	0,52	0,60	0,16
39.165	15-30	11,65	0,24	0,13	0,24	0,38	0,08
39.166	0-15	7,13	0,36	0,18	0,32	0,39	0,00
39.167	15-30	9,13	0,09	0,10	0,13	0,29	0,04
39.168	0-15	15,69	1,62	0,77	1,41	1,40	0,00
39.169	15-30	12,64	0,33	0,17	0,24	0,39	0,00
Igarapê-Açu - PA							
39.170	0-15	4,63	0,24	0,19	0,31	0,45	0,00
39.171	15-30	5,26	0,15	0,11	0,18	0,33	0,16
Santa Isabel - PA							
39.174	0-15	4,99	0,36	0,22	0,32	0,47	0,00
39.175	15-30	4,63	0,21	0,13	0,18	0,32	0,00
Mazagão - AP							
39.146	0-15	17,11	0,41	0,28	0,37	0,54	0,00
39.147	15-30	15,44	0,15	0,10	0,17	0,32	0,00
39.148	30-45	17,42	0,09	0,08	0,16	0,27	0,00
39.149	45-60	18,00	0,06	0,05	0,10	0,24	0,00

Teor de zinco total e disponível nos diferentes solos (ppm) (continuação).

Protocolo	Profundidade (cm)	Total	Soluções extratoras				
			HCl 0,1N	DTPA 0,005M + TEA 0,1M + CaCl ₂ 0,01M (pH 7,3)	HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	EDTA 0,05M (pH 7,0)	NH ₄ OAC 1N (pH 4,6)
Boa Vista - RR							
39.230	0-15	53,12	1,44	0,70	1,35	1,16	0,00
39.231	15-30	49,14	0,42	0,14	0,36	0,42	0,04
39.232	30-60	53,33	0,57	0,26	0,52	0,69	0,40
Latossolo Amarelo							
Macapã - AP							
39.138	0-15	10,70	0,09	0,09	0,14	0,23	0,08
39.139	0-15	8,91	0,09	0,09	0,16	0,21	0,12
39.140	0-15	9,63	0,09	0,09	0,16	0,26	0,00
39.141	0-15	9,63	0,09	0,07	0,16	0,24	0,00
39.142	15-30	9,62	0,09	0,05	0,09	0,20	0,00
39.143	30-60	11,00	0,00	0,03	0,09	0,20	0,00
39.144	0-15	11,41	0,15	0,07	0,13	0,21	0,00
39.145	0-15	13,90	0,15	0,11	0,19	0,26	0,00
Boa Vista - RR							
39.233	0-10	7,49	0,12	0,06	0,13	0,26	0,16
39.234	10-25	6,88	0,00	0,05	0,10	0,24	0,04
39.235	25-70	8,75	0,00	0,03	0,08	0,21	0,04
Latossolo Vermelho-Amarelo							
Altamira - PA							
39.065	0-10	17,11	0,21	0,13	0,21	0,33	0,00
39.066	10-60	16,92	0,15	0,09	0,22	0,30	0,00

Teor de zinco total e disponível nos diferentes solos (ppm) (continuação).

Protocolo	Profundidade (cm)	Total	Soluções extratoras				
			HCl 0,1N	DTPA 0,005M + TEA 0,1M + CaCl ₂ 0,01M (pH 7,3)	HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	EDTA 0,05M (pH 7,0)	NH ₄ OAC 1N (pH 4,6)
Boa Vista - RR							
39.225	0-25	23,17	0,09	0,07	0,16	0,24	0,00
39.226	25-35	25,97	0,06	0,05	0,13	0,23	0,00
39.227	35-70	24,42	0,09	0,03	0,08	0,21	0,04
39.228	0-10	18,54	0,12	0,09	0,17	0,29	0,08
39.229	10-30	17,97	0,18	0,09	0,15	0,29	0,12
Terra Roxa Estruturada							
Altamira - PA							
39.063	0-15	54,54	0,81	0,42	0,65	0,78	0,00
39.064	15-60	42,82	0,09	0,03	0,10	0,24	0,00
39.067	0-15	49,55	0,48	0,24	0,44	0,50	0,00
39.068	0-15	85,56	3,24	1,16	2,80	4,12	0,40
39.069	15-60	74,41	1,32	0,27	1,03	1,56	0,00
39.070	0-15	58,11	2,58	0,99	2,36	2,77	0,24
Glei Pouco Húmico							
Vizeu - PA							
39.060	0-15	59,89	5,67	0,78	2,87	4,14	3,20
39.061	0-15	36,36	3,57	1,28	2,53	3,07	2,32
39.658	0-15	50,62	1,00	3,61	3,21	4,56	2,76
Santa Izabel - PA							
39.172	0-15	26,74	1,77	1,30	1,52	1,81	1,28
39.173	15-30	28,08	0,90	0,57	0,63	0,90	0,48
Bragança - PA							
39.657	0-15	38,15	1,81	1,79	1,33	2,08	0,76

Teor de zinco total e disponível nos diferentes solos (ppm) (continuação).

Protocolo	Profundidade (cm)	Total	Soluções extratoras				
			HCl 0,1N	DTPA 0,005M + TEA 0,1M + CaCl ₂ 0,01M (pH 7,3)	HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	EDTA 0,05M (pH 7,0)	NH ₄ OAC 1N (pH 4,6)
Mazagão - AP							
39.150	0-20	75,22	4,20	1,45	2,81	1,86	1,44
39.151	20-40	70,90	2,88	0,61	1,82	0,92	0,76
39.152	0-20	83,06	4,92	1,65	3,11	2,15	1,72
39.153	20-40	85,64	4,20	1,09	2,72	1,56	1,36
Aluvial							
Boa Vista - RR							
39.236	0-15	11,05	0,27	0,24	0,32	0,50	0,28
39.237	15-30	13,27	0,00	0,07	0,09	0,24	0,12