

ARTIGOS

EFEITO DA INTERAÇÃO FÓSFORO, ZINCO E FERRO, NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO CACAUEIRO

*Sonia Sales de Oliveira**

*Ivomar Carvalho Brito***

*Charles José L. de Santana****

RESUMO – Avaliaram-se os efeitos da interação $P \times Zn$, $P \times Fe$ e $Fe \times Zn$ no crescimento e produção do cacaueiro em experimentos conduzidos com plântulas em casa de vegetação e, no campo, em cacaueiros safreiros.

Nos solos com baixo teor de P , a produção de biomassa e a taxa de clorofila das plântulas de cacau aumentaram com as adições desse elemento. Contrariamente, as aplicações de Zn e Fe provocaram decréscimos na produção de biomassa e redução na taxa de clorofila na maioria dos solos ensaiados.

Com as aplicações de P , embora aumentando a concentração desse elemento na planta, não ocorreram variações nos teores de Zn , havendo, todavia, um aumento dos teores de Fe nas raízes das plântulas. As adições de Zn e Fe elevaram a concentração de Zn na planta e diminuíram ligeiramente os teores de P . Discutem-se as relações P/Zn e Fe/Zn na planta e apresentam-se os resultados obtidos nos experimentos de campo.

ABSTRACT – The effect of the interactions phosphorus $\times$ zinc, $P \times Fe$, and $Fe \times Zn$ was evaluated in the growth and yield of cacao in experiments conducted with seedlings in the greenhouse and with cacao trees in the field.

In the soils with low phosphorus content the biomass and the chlorophyll rate in the cacao seedlings increased with addition of that nutrient. Contrary to this, the additions of zinc and iron caused decrease in the biomass and reduced the chlorophyll rate in the majority of the soils tested.

With application of P , the concentration of this element in the plant increased. Variations in the Zn contents did not occur, although an increase of the contents of Fe in the roots of the seedlings has been observed. The addition of Zn and Fe raised the Zn concentration in the plant and reduced rapidly the contents of P . The P/Zn , P/Fe and Fe/Zn relationships in plant has been discussed and the results obtained in the field experience are presented.

INTRODUÇÃO

A interação entre nutrientes pode ser definida como a influência de um elemento sobre outro, afetando o crescimento e a produção da planta. Essa interação

(*) Prof. Adjunto do Instituto de Biologia da UFBA – Dep. de Botânica

(**) Prof. Adjunto do Dep. de Ciências Exatas (UEFS)

(***) Técnico da Divisão de Geociências, Centro de Pesquisas do Cacau (Itabuna-Ba).

depende dos teores dos elementos no solo, taxa de absorção, distribuição para os setores metabólicos e do grau de mobilidade dentro da planta.

A interação P x Zn e P x Fe geralmente causa desordem no crescimento das plantas, estando esse fenômeno associado aos altos níveis de P disponível, ou às aplicações de P ao solo (ELLIS, DAVIS & THURLOW, 1964; JAMISON, 1943; LANGIN *et alii*, 1962; NAIR E BABU, 1975; PAULI, ELLIS & MOSER, 1968; STUKENHOLTZ *et alii*, 1966; WARNOCK, 1970 e WATANABE, LINDSAY & OLSEN, 1965).

A interação P x Zn e P x Fe pode provocar redução no teor de Zn disponível para a planta, seja pela formação no solo de $Zn_3(PO_4)_2$, composto de baixa solubilidade (JAMISON, 1943), ocorrência de um antagonismo entre P e Zn no interior da raiz (BERLESON, DACUS & GERARD, 1961), ou pela interferência de P na translocação e/ou utilização de Zn e Fe (STUKENHOLTZ *et alii*, 1966).

A interação P x Zn, por outro lado, pode causar redução no teor de P, na parte aérea, quando o nível de aplicação do Zn no solo se eleva. Desse modo, P e Zn parecem ser mutuamente antagônicos, se ambos excedem algum valor crítico (BOAWN & LEGETT, 1964 e ADRIANO PAULSEN e MURPHY, 1971).

STUKENHOLTZ *et alii* (1966) assinalam que em solos com baixos teores de P e Zn, o suprimento de P acarreta pequenos acréscimos no crescimento da planta, devido a absorção de Zn não ser suficientemente rápida, para manter, na parte aérea, uma concentração adequada de Zn. Esse comportamento é acentuado pela lenta mobilidade do Zn no interior do vegetal.

MILIKAN (1963) afirma que a relação P/Zn é um bom indicador de interferência de P sobre Zn, por ter encontrado relação baixa em plantas normais e alta naquelas com desordem nutricional. Em milho e feijão, observou-se deficiência de Zn e Fe, quando o valor das relações P/Zn e P/Fe foram iguais ou superiores a 300 e 600 ppm, respectivamente (WATANBE, LINDSAY & OLSEN, 1965).

Neste trabalho procurou-se avaliar os efeitos das interações P x Zn, P x Fe e Fe x Zn no crescimento e produção do cacaueteiro e na concentração de P, Zn e Fe nas partes aéreas e raízes.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em duas etapas – Casa de Vegetação e Campo.

Em Casa de Vegetação utilizaram-se quatro solos da região Sul da Bahia pertencentes às unidades Rio Branco, Itabuna distrófico, Nazaré e Colônia, segundo nomenclatura usada no Setor de Pedologia do CEPEC (SILVA *et alii* 1975). Nesse experimento utilizou-se o desenho experimental inteiramente casualizado, com arranjo de tratamento obedecendo esquema fatorial incompleto, com 15 tratamentos e 4 repetições por unidade de solo, sendo a unidade experimental representada por uma plântula de cacau catongo, cultivada em vasos de polietileno contendo 2,3 kg de solo. Os tratamentos fertilizantes consistiram na combinação de cinco doses de fósforo, três de zinco e três de ferro, com intervalos de 45 kg/ha

de P_2O_5 , 15 kg/ha de Zn e 15 kg/ha de Fe.

O fósforo foi aplicado na forma de fosfato de amônio e o zinco e ferro nas formas de sulfato de zinco e cloreto de ferro, respectivamente. Todos os tratamentos foram complementados, para cada kg de solo, com 50 mg de N, 60 mg de K_2O , 30 mg de CaO e 20 mg de MgO, nas formas de NH_4NO_3 , KCl, $CaCl_2$ e $MgSO_4$, respectivamente e os elementos menores à razão de 2,5 mg de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 2,5 mg de $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, 0,5 mg de $B_4O_7Na_2 \cdot 10H_2O$ e 0,5 mg de $MoO_4Na_2 \cdot 2H_2O$ por cada kg de solo.

Os nutrientes foram aplicados em solução, mantendo-se, durante a fase de cultivo, a umidade do solo em aproximadamente 75% da capacidade de campo, mediante irrigação controlada.

Aos 120 e 210 dias de plantio, foram coletadas amostras de solo e de folhas para análises químicas e determinação da taxa de clorofila nas folhas verdes. Os elementos minerais foram determinados segundo metodologia descrita por SANTANA, PEDREIRA & MORAIS (1977), enquanto a clorofila foi dosada conforme metodologia apresentada por FEETAK, V. *et alii*, (1971).

No campo, aproveitou-se o experimento que vem sendo conduzido pelo Setor de Fertilidade do CEPEC, em oito áreas de cacauzeiros Catongo, localizadas em diferentes municípios da região Sul da Bahia (CABALA, SANTANA & MIRANDA, 1976). Dessas oito áreas, foram selecionadas quatro situadas nas unidades de solo Rio Branco, Itabuna distrófico, Nazaré e Colônia, correspondendo, portanto, aos mesmos solos utilizados no experimento de Casa de Vegetação.

O desenho experimental usado foi em blocos ao acaso, com arranjo de tratamentos segundo esquema fatorial incompleto (superfície de resposta), totalizando 15 tratamentos e duas repetições por local. O nitrogênio, fósforo e potássio foram adicionados em cinco doses com intervalos de 30 kg/ha de N, 30 kg/ha de K_2O e de 45 kg/ha de P_2O_5 (CABALA, SANTANA & MIRANDA, 1976).

Não foram feitos tratamentos fertilizantes com Zn e Fe para avaliar a influência do P no teor natural desses elementos no solo.

Em cinco períodos (março, abril, junho, agosto e outubro) foram coletadas folhas não sombreadas, nos tratamentos que receberam 0,90 e 180 kg/ha de P_2O_5 , ou seja, $N_{60}P_0K_{60}$, $N_{60}P_{90}K_{60}$ e $N_{60}P_{180}K_{60}$, determinando-se nas folhas a taxa de clorofila e o teor de nutrientes. Levou-se em conta a produção anual de amêndoas secas de cacau, e avaliou-se o efeito do fósforo nessa produção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Casa de Vegetação: no Quadro I, são apresentadas algumas características químicas dos solos estudados, enquanto os efeitos principais de P, Zn e Fe na produção de biomassa de plântulas de cacauzeiro e a taxa de clorofila são mostrados nos Quadros 2 e 3.

Os valores de pH do solo indicam acidez elevada e os teores de Al mostram acidez nociva baixa. O solo Rio Branco, mesmo com um teor de Al aparentemente alto (1,3 meq/100 ml de solo), tem parte de sua acidez nociva neutralizada por Ca + Mg, que se apresenta com um valor acima do nível crítico (3 meq/100 ml de solo). Os teores de Ca e Mg situam-se, em três dos solos ensaiados, abaixo do nível crítico, enquanto K, Fe e Zn estão na faixa médio/baixa. O teor de P é alto no solo Itabuna, apresentando nos demais solos valores abaixo do nível crítico, que é de 5 ppm.

A produção de biomassa, em três dos solos estudados, aumenta significativamente tanto na parte aérea quanto na raiz, em consequência das aplicações de fósforo. O solo Itabuna, provavelmente devido ao teor elevado de fósforo (Quadro 1), não provoca acréscimos significativos na produção de biomassa.

As taxas de clorofilas A e B incrementam com a adição de fósforo, exceto no solo Itabuna onde os acréscimos não foram significativos.

Os efeitos de tratamento devidos ao fósforo são mais evidentes aos 210 dias, em decorrência do processo nutricional que se apresenta mais estável nesse período.

Observou-se decréscimo na produção de biomassa e taxa de clorofila nos tratamentos adubados com Zn e Fe, o que se atribui a uma possível toxidez decorrente das quantidades aplicadas (Quadros 2 e 3). Os efeitos principais de Zn e Fe na produção de biomassa e taxa de clorofila não foram estatisticamente significativos.

Os efeitos de fósforo na concentração de P, Zn e Fe na planta estão ilustrados na Fig. 1, onde se observa aumento na concentração de P na parte aérea e na raiz. Nota-se boa concordância entre o P consumido e a produção de biomassa da parte aérea e raiz (Quadro 2), quando se compara P O com os demais níveis de P aplicado.

A concentração de Zn, nas partes aéreas e raízes das plântulas é baixa (Fig. 1), consequência das doses de P, que reduzem a absorção e a translocação desse elemento, da raiz para a parte aérea. O Fe, ao contrário, se acumula na raiz sendo, no entanto, impedido por P de translocar para a parte aérea.

Os baixos teores de Zn e Fe encontrados nas partes aéreas das plântulas de cacau que receberam doses de P (Fig. 1), não afetaram seu crescimento, o que demonstra tolerância a níveis baixos desses elementos. Segundo BURLESON, DAWES & GERARD (1961) e SHARMA *et alii* (1968), em milho, feijão e trigo ocorre o inverso, pois decréscimos nos teores de Zn e Fe, na parte aérea, provocam não só sintomas de deficiência desses elementos como também queda no crescimento e na produção.

Os efeitos de Zn e Fe sobre a concentração de P, Zn e Fe são evidenciados na Fig. 2, onde se verifica decréscimo no teor de P na parte aérea e raiz, devido às adições no solo de Zn e Fe. A concentração de Zn na parte aérea e raiz eleva-se em consequência do suprimento de Zn. O teor de Fe manifesta-se na parte aérea em níveis baixos, constantes e na raiz, altos com tendência a decrescer em doses mais elevadas de Zn e Fe.

As relações P/Zn, P/Fe e Fe/Zn estabelecidas com os valores de concentração de P, Zn e Fe, na parte aérea e raiz (Fig. 3) mostram para tratamentos que receberam fósforo nas doses de 0 a 180 kg/ha de P_2O_5 , a interação entre esses elementos, com a conseqüente redução na absorção e/ou translocação de Zn e Fe induzida pelo P.

A relação P/Zn na parte aérea e raiz revela uma redução no teor de Zn devido à interferência de P. De modo similar, a relação P/Fe incrementa, indicando decréscimo do Fe na parte aérea. Na raiz, esta relação é baixa e sem alteração para as diferentes doses de P (Fig. 3).

A relação Fe/Zn decresceu na parte aérea em conseqüência dos reduzidos teores de Zn e Fe, enquanto na raiz esta relação elevou-se em virtude do maior teor de ferro nesse órgão.

As relações P/Fe e Fe/Zn nos tratamentos que receberam doses crescentes de Zn e Fe (Fig. 4), mostram valores parecidos com os obtidos nos tratamentos adubados com P (Fig. 3). A relação P/Zn, ao contrário, decresce devido ao incremento do teor de Zn na planta. Os valores da relação P/Zn adquiridos para milho e feijão por NAIR & BABU (1975); WARNOCK (1970) E WATANABE, LINDSAY & OLSEN (1965), são altos se comparados aos alcançados no presente estudo, identificando-se apenas as relações P/Fe e Fe/Zn obtidas pelos referidos autores.

Experimento de campo: A Fig. 5 apresenta as respostas do cacaueiro, em termos de produção de amêndoas secas, a três níveis de P (0,90 e 18 kg/ha). Nota-se que, apenas no solo Itabuna, os efeitos não são significativos, devido à riqueza desse nutriente no solo. Nesses tratamentos a concentração de P nas folhas aumenta com a dose de P aplicada, enquanto a de Zn e Fe diminui (Quadro 4), corroborando, desse modo, os resultados alcançados no experimento da Casa de Vegetação. A taxa de clorofila decresce com os acréscimos nas dosagens de P adicionadas ao solo.

As relações P/Zn e P/Fe demonstram, de modo geral, ocorrência de uma redução no teor de Zn e Fe com o aumento de adubação fosfatada (Fig. 6 e 7). Esse fato se deve à inativação do Zn e Fe no solo ou dentro da planta. Nota-se que essas relações variam bastante em função da época do ano, devendo-se esperar pequena estabilização na composição desses elementos na planta, em áreas adubadas com fósforo.

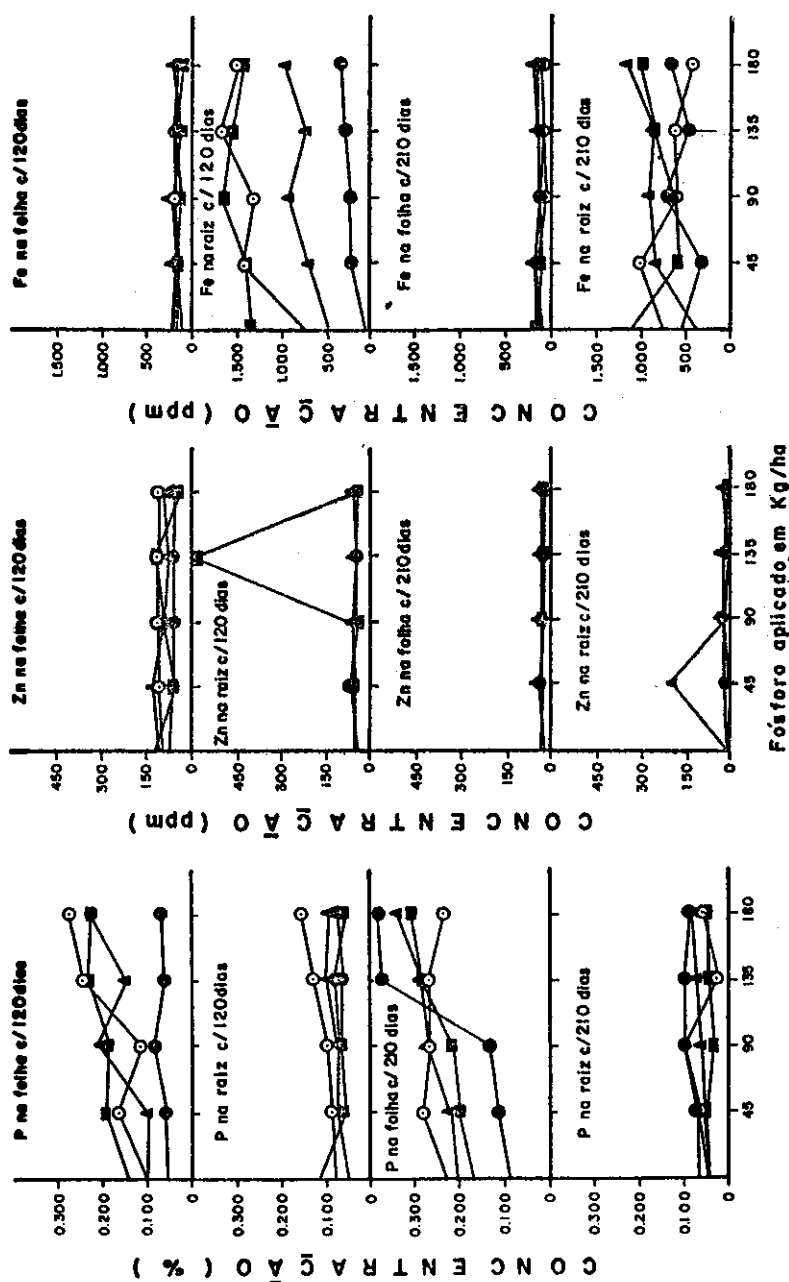
CONCLUSÕES

1. As aplicações de P aumentaram a produção de biomassa e a taxa de clorofila nos solos com baixo conteúdo de P ($P < 5$ ppm).
2. A produção de biomassa e a taxa de clorofila de plântulas de cacau adubadas com Zn e Fe incrementaram ligeiramente nos solos 1 e 2 e decresceram nos solos 3 e 4.

3. As adições de P elevaram a concentração de P e estabilizaram Zn em níveis baixos, na parte aérea do cacauzeiro. Quanto ao Fe, os aumentos ocorreram apenas na raiz.
4. As relações P/Zn, P/Fe e Fe/Zn mostraram que a redução ou acréscimo na concentração de P, Zn e Fe, na planta, dependem das adições e das interações ocorridas entre esses elementos no solo ou na planta.

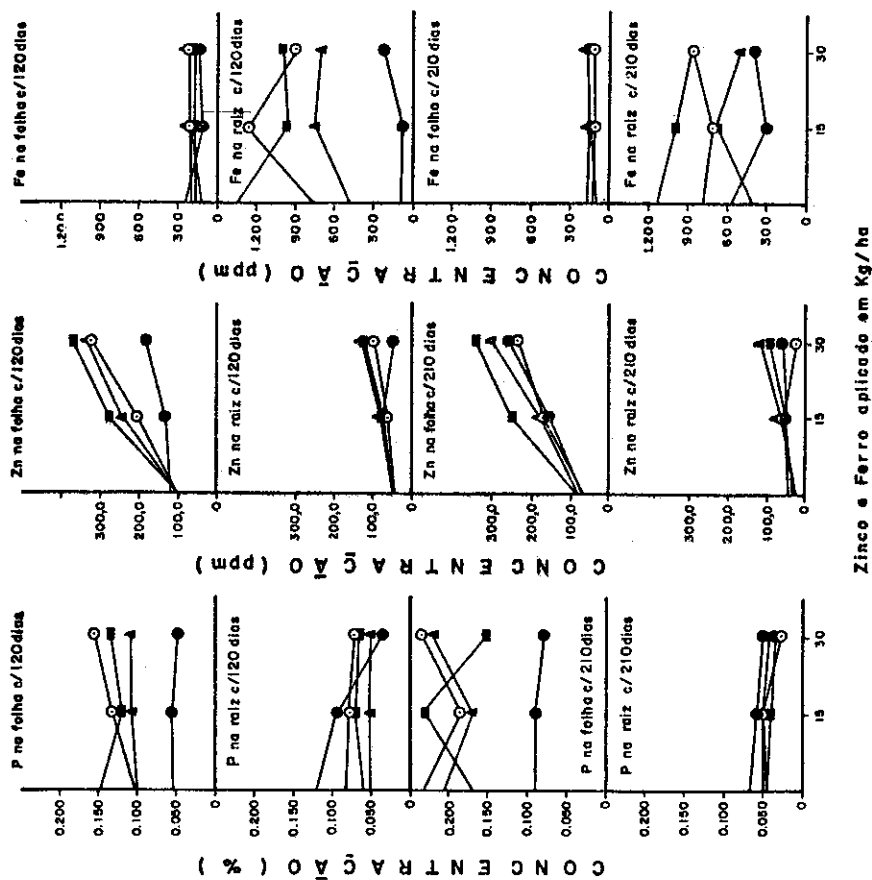
AGRADECIMENTOS

Aos técnicos de laboratório José Nelson R. Machado e Isabel C. Silva F. L. Brandão, pela ajuda nas análises de laboratório.



● Solo 1 ▲ Solo 2 ○ Solo 3 ■ Solo 4

FIG. 1 – Efeitos de Fósforo na concentração de P, Zn e Fe nas folhas e nas raízes de plântulas de cacau.



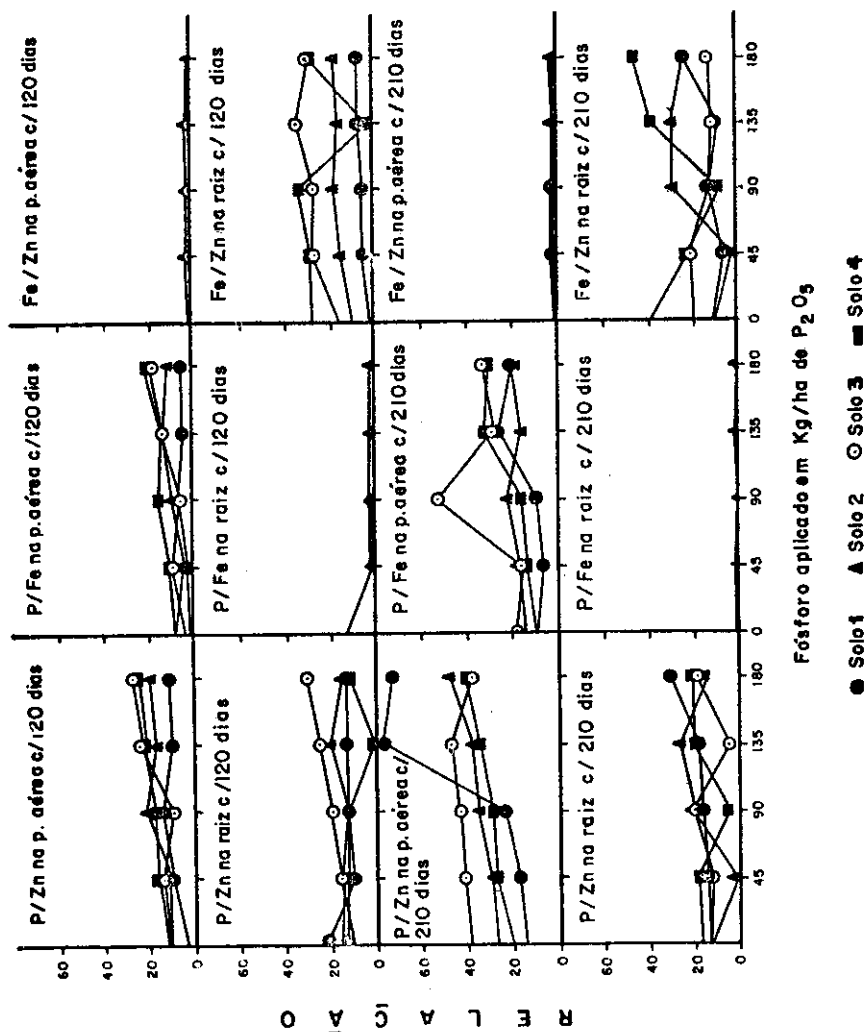
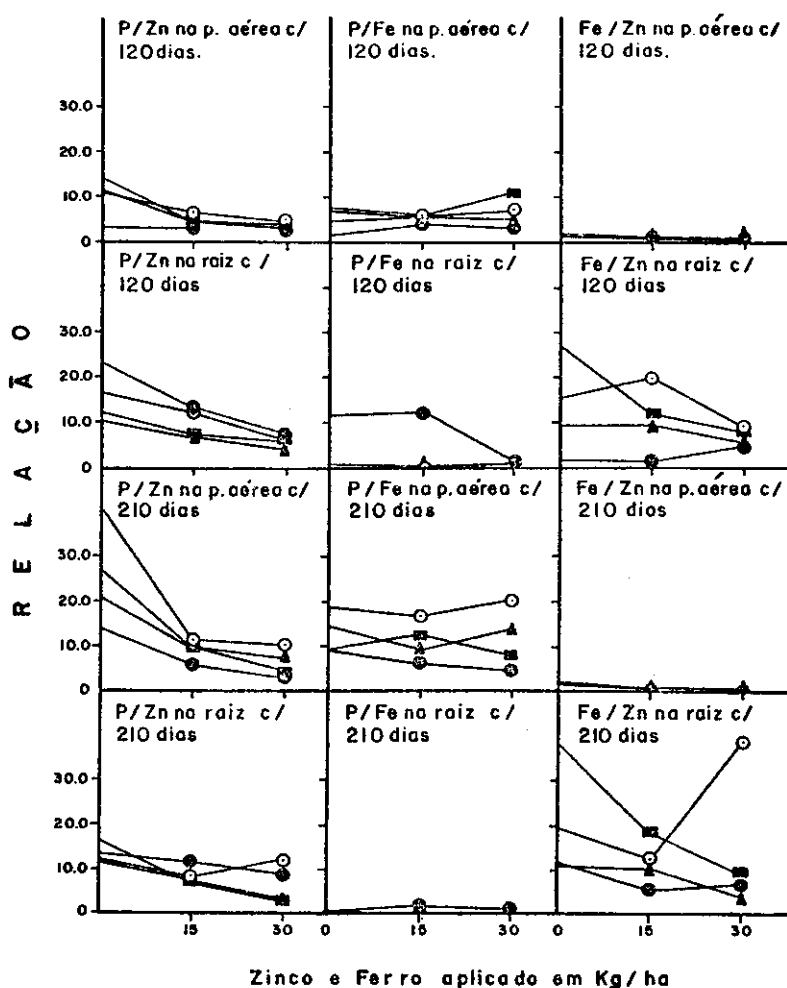


FIG. 3 – Efeito de fósforo nas relações P/Zn, P/Fe e Fe/Zn na parte aérea e nas raízes de plântulas de cacau.



4 – Efeito de Zn e Fe nas relações P/Zn, P/Fe e Fe/Zn na parte aérea e nas raízes de plântulas de cacau.

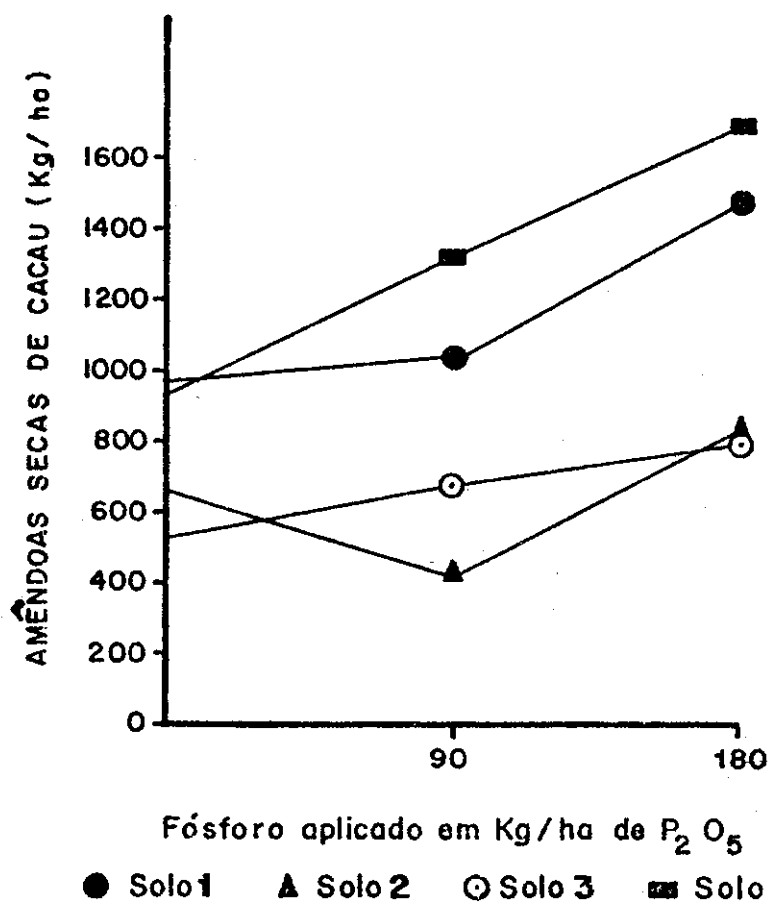


FIG. 5 - Efeito de fósforo na produção anual de amêndoas secas de cacau.

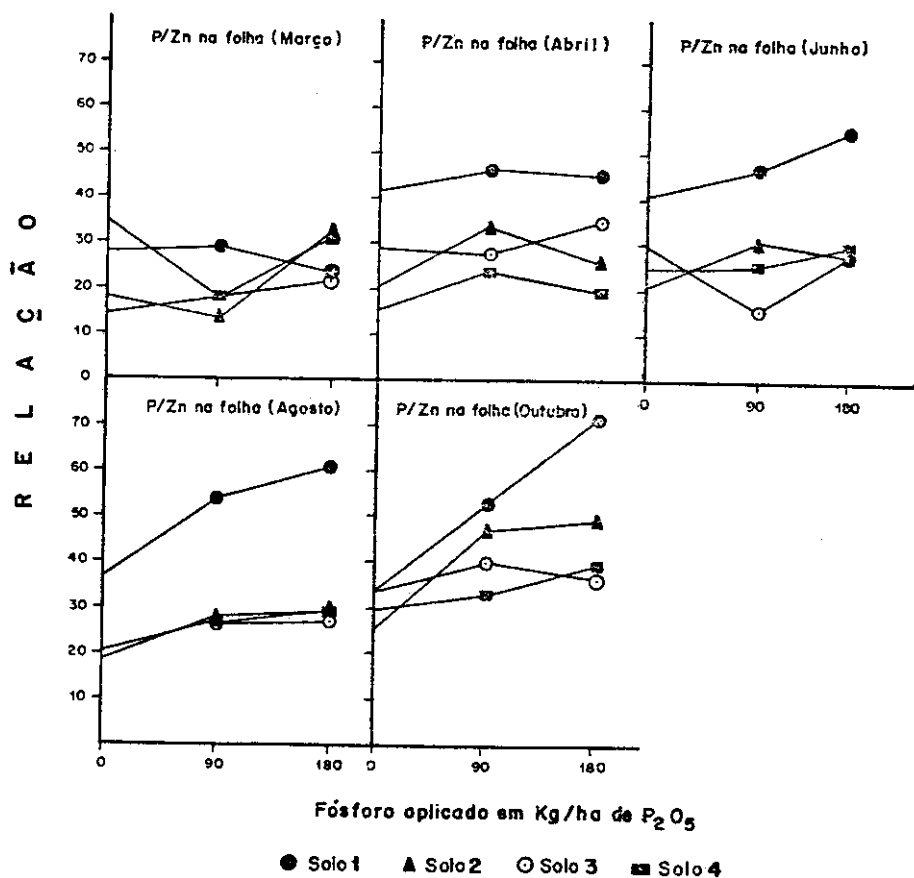


FIG. 6 – Efeito de fósforo na relação P/Zn nas folhas de cacaueiros catongo.

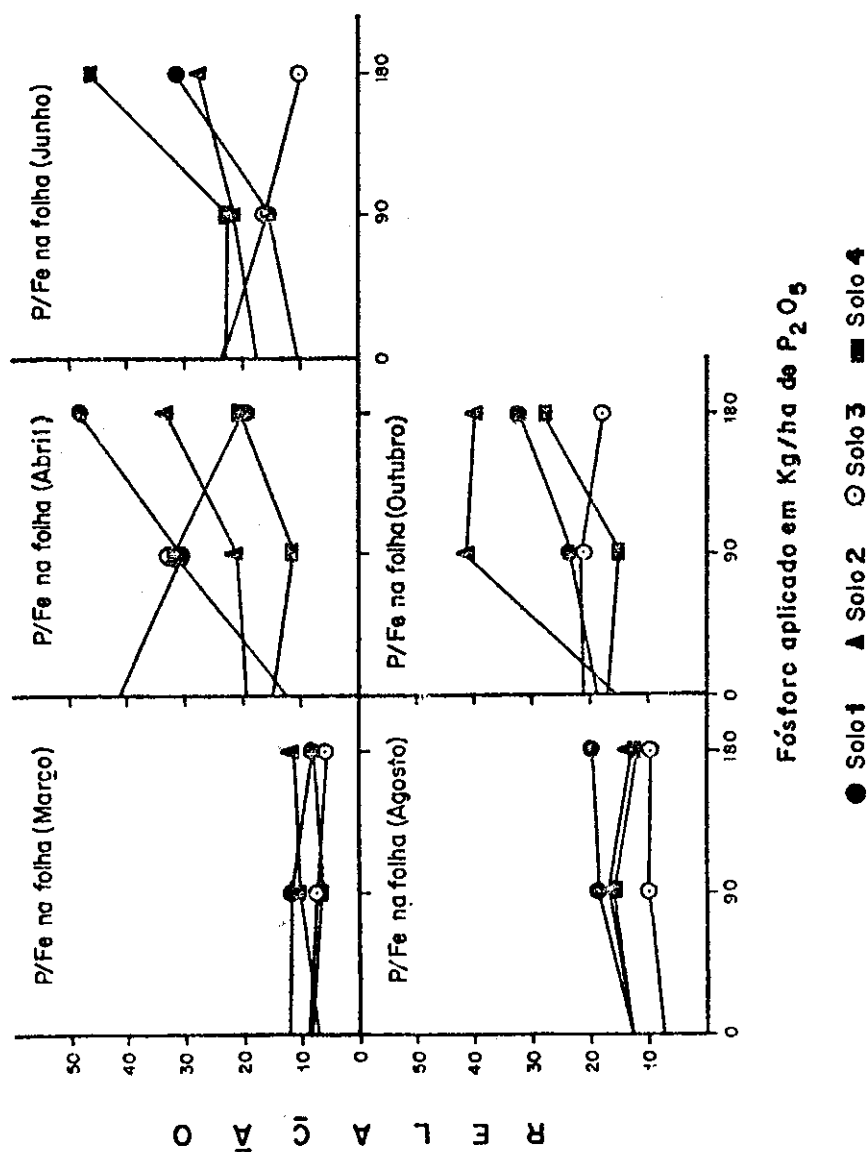


FIG. 7 – Efeito de fósforo na relação P/Fe nas folhas de cacaueiros catongo.

Solos	C	N	C/N	pH H ₂ O	Al	Ca mg/100g	Mg	K	P	Fe ppm	Zn
1. COLÔNIA (<i>Typic Haplorthox</i>)	1,71	0,11	15,5	5,0	0,6	0,5	0,9	0,07	1	211	3
2. ITABUNA (<i>Typic Tropudult</i>)	0,78	0,11	7,1	5,0	0,5	1,5	0,6	0,13	9	260	4
3. NAZARÉ (<i>Orthoxic Tropudult</i>)	1,37	0,18	7,6	4,7	0,4	0,8	0,4	0,10	4	168	3
4. RIO BRANCO (<i>Oxis Distropept</i>)	2,41	0,20	12,1	4,8	1,3	1,3	3,1	0,20	2	85	3

(*) Amostras coletadas de 0-20 cm de profundidade.

QUADRO 2 - Efeitos principais de P, Zn e Fe na produção de matéria seca de plântulas de cacau com 120 e 210 dias de plantio.

TRATAMENTOS	PARTE AÉREA (Gramas/planta)						RAIZ (Gramas/planta)										
	SOLO 1		SOLO 2		SOLO 3		SOLO 4		SOLO 1		SOLO 2		SOLO 3		SOLO 4		
	120	210	120	210	120	210	120	210	120	210	120	210	120	210	120	210	
P ₀	4,50	11,50	4,80	11,60	4,80	11,70	6,00	9,60	1,60	3,90	1,60	4,30	1,60	4,20	1,70	2,80	
P ₄₅	5,20	10,30	5,70	11,40	8,60	14,80	6,80	17,50	1,80	3,80	2,20	4,80	1,90	5,00	1,60	5,40	
P ₉₀	6,30	14,00	5,20	11,10	7,80	15,20	7,70	17,20	1,90	5,60	1,80	4,20	2,20	5,10	2,30	5,40	
P ₁₃₅	6,30	15,00	5,90	11,00	9,00	14,60	6,00	19,30	1,80	5,60	1,90	4,10	1,90	5,20	1,40	5,60	
P ₁₈₀	7,36	14,30	6,00	10,20	9,30	16,30	8,40	20,40	2,60	4,90	1,90	4,10	1,80	5,00	1,80	5,60	
Z ₀ Fe ₀	6,20	11,90	5,70	10,40	8,30	14,30	8,90	18,40	1,90	4,70	1,90	4,10	1,80	5,20	2,00	4,95	
Z ₁₅ Fe ₁₅	6,50	12,40	5,30	11,50	7,68	14,50	6,30	16,30	1,90	4,70	1,80	4,40	1,70	5,10	1,90	4,80	
Zn ₃₀ Fe ₃₀	5,80	14,70	5,50	11,30	7,70	12,70	5,70	15,80	2,10	5,00	1,90	4,40	1,90	4,40	1,40	5,00	
DMS 5% - Parte aérea 120 dias = 1,78									DMS 5% - Raiz 120 dias = 0,61								
Parte aérea 210 dias = 3,71									Raiz 210 dias = 1,14								
SOLOS: 1 = Colônia; 2 = Itabuna distrófico; 3 = Nazaré; 4 = Rio Branco																	

QUADRO 3 — Efeitos principais de P, Zn e Fe na taxa de clorofila de folhas de cacau com 210 dias de plantio

TRATAMENTOS	CLOROFILA (%)							
	SOLO 1		SOLO 2		SOLO 3		SOLO 4	
	A	B	A	B	A	B	A	B
P ₀	0,51	0,51	0,47	0,17	0,72	0,25	0,47	0,16
P ₄₅	0,49	0,16	0,54	0,18	0,70	0,25	0,46	0,15
P ₉₀	0,69	0,24	0,54	0,19	0,80	0,28	0,67	0,24
P ₁₃₅	0,59	0,20	0,53	0,18	0,76	0,26	0,42	0,14
P ₁₈₀	0,54	0,18	0,52	0,18	0,78	0,27	0,53	0,18
Zn ₀ Fe ₀	0,50	0,17	0,55	0,19	0,73	0,25	0,53	0,18
Zn ₁₅ Fe ₁₅	0,55	0,18	0,51	0,17	0,77	0,27	0,61	0,21
Zn ₃₀ Fe ₃₀	0,64	0,22	0,51	0,17	0,76	0,27	0,39	0,13
DMS 5% - Clorofila A e B = 0,06								

QUADRO 4 - Concentração de P, Zn, Fe e taxa de clorofila nas folhas do cacaueiro*

Tratamentos	P (%)	Zn ppm	Fe	Clorofila (%)	
				A	B
N ₆₀ P ₀ K ₆₀	0,164	69	130	0,31	0,14
N ₆₀ P ₉₀ K ₆₀	0,209	68	128	0,31	0,14
N ₆₀ P ₁₈₀ K ₆₀	0,212	64	120	0,26	0,08
(*) Média dos solos Rio Branco, Itabuna distrófico, Nazaré e Colônia.					

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, D. C.; PAULEN, G. M.; & MURPHY, L. S.. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationships in corn (*Zea mays L.*). Seedlings as affected by mineral nutrition. *Agronomy Journal*, (63): 36-9, 1971.
- BOAWN, L. C. & LEGGETT, G. E.. Phosphorus and zinc concentration in Russett potato tissues in relation to development of zinc deficiency symptoms. *Soil Science Society of America Proceeding*, (28): 229-32, 1964.
- BURLESON, G. A., DACUS, A. D., & GERARD, C. J. The effect of phosphorus fertilization on the zinc nutrition of several irrigated crops. *Soil Science Society of America Proceeding*, (25): 365-8, 1961.
- CABALA, F. P.; SANTANA, C. J. L. de; & MIRANDA, E. R.. *Respostas del cacaoiro al abonamiento en le sur de Bahia, Brasil*. Ilhéus-Ba, CEPLAC/CEPEC, 1976. 24 p. (Boletim Técnico, 43).
- ELLIS, R. Jr.; DAVIS, J. F.; & THURLOW, D. L. Zinc availability in calcareous Michigan Soils as influenced by Phosphorus level and temperature. *Soil Science of America Proceedings*. (28): 83-6, 1964.
- FEFTAK, V. et alii. Determination of chlorophylls a and b. In: *Plant photosynthetic production: manual of methods*. New York, Hague W. Junk, 1971. p. 672-701.
- JAMISON, V. C. The effect of phosphates upon the fixation of zinc and copper in several Florida soil. *Florida state Horticultural association Proceedings*, (56): 21-6, 1943.
- LANGIN, E. J. et alii. Factors responsible for poor response of corn and grain sorghum to phosphorus fertilization: II. Lime and P placement effects on P - Zn relations. *Soil Science Society of America Proceedings*. (26): 574-8, 1962.
- MILLIKAN, C. R.. Effects of different levels of zinc and phosphorus in the growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum L.*). *Australian Journal Agricultural Research*, (14): 180-205, 1963.
- NAIR, K. P. P. & BABU, G. R.. Zinc - phosphorus iron interaction in maize. *Plant and soil*, 42 (3): 517-36, 1975.
- NEWMAN, D. W.. *Instrumental methods of experimental biology*, 1964. p. 337-8.
- PAULI, A. W., ELLIS, R. Jr.; & MOSER, H. C.. Zinc uptake and translocation as influenced by phosphorus and calcium carbonate. *Agronomy Journal*, 60: 394-6, 1968.
- SANTANA, M. B. M; PEREIRA, G. C.; & MORAIS, F. I. *Métodos de análise de solos, plantas e água utilizados no laboratório do Setor de Fertilidade do CEPEC*. Ilhéus-Ba, CEPLAC/CEPEC. 28 p. (Mimeografados).
- SHARMA, J. C. et alii. Interaction of Zn and P in top and root of corn and tomato. *Agronomy Journal*, (60): 453-6, 1968.
- SILVA, L. F. da et alii. *Solos e aptidão agrícola, Itabuna, Bahia*. CEPLAC/IICA, 1975. 179p. (Diagnóstico Sócio Econômico da Região cacauífera, 2).
- STUKENHOLTZ, D. D. et alii. On the mechanism of phosphorus - zinc interaction in corn nutrition. *Soil Science Society of America Proceedings*, (30): 759-763, 1966.
- WARNOCK, R. E. Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea Mays L.*) in relation to

phosphorus-induced zinc deficiency. *Soil Science Society of America Proceedings*, (34): 765-9, 1970.

WATANABE, F. S.; LINDSAY, W. L.; & OLSEN, S. R. Nutrient balance involving phosphorus iron and zinc. *Soil Science Society of America Proceedings*, (29): 562-5, 1965.