

- P.M. & Lindsay, W.L. ed., Micronutrientes in Agriculture. Madison, Soil Sci. Soc. Am. Inc., 1973. p.59-78.
- FOX, R.L. & KAMPRATH, E.J. - Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34: 902-907, 1970.
- FOX, R.L.; NISHIMOTO, R.K.; THOMPSON, R.S. & de LA PENA, R.S. - Comparative external requirements of plants growing in tropical soils. In: Int. Congr. Soil Sci. 10th, Moscow, U.R.S.S., 1974. Trans., Moscow Intern. Soc. Soil Sci, 1974. 4:232-239.
- HASHIMOTO, I. & JACKSON, M.L. - A rapid dissolution of allophane and kaolinite. Clays Clay Miner., 1: 102-113, 1960.
- HOSSNER, L.R.; FREEOUF, J.A. & FOLSOM, B.L. - Solution phosphorus concentration and growth of rice (*Oryza sativa* L.) in flooded soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37: 405-408, 1973.
- HUNTER, A.H. - International soil fertility and improvement laboratory procedures. Raleigh, N.C., Department of Soil Science. North Carolina State University. Raleigh, 1974. (Mimeo.).
- HSU, P.H. - Adsorption of phosphate by aluminum and iron in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28: 474-478, 1964.
- LEAL, J.R. & VELLOSO, A.C.X. - Adsorção de fosfato em latossolos sob vegetação de cerrados. Pesq. agron. bras., 8:81-88, 1973. (Série Agron.).
- LOPES, A.S. - Available water, phosphorus fixation, and zinc levels in Brazilian cerrado soils in relation to their physical chemical and mineralogical properties. Tese de Ph.D., North Carolina State University, 1977. 189p. (University Microfilms, Inc., Ann Arbor, Michigan).
- LOPES, A.S. & COX, F.R. - A survey of the fertility status of surface soils under «cerrado» vegetation in Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J., 41(4): 742-747, 1977.
- MEDINA, H.P. & GROHMANN, F. - Contribuição ao estudo da análise granulométrica do solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 6., Salvador, 1957. Anais. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1962. p.29-38.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. - Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium carbonate. Clay and Clay Miner. 7: 317-327, 1960.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. - A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta, 27: 21-36, 1962.
- OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. - A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 21:144-149, 1957.
- OZANNE, P.G. & SHAW, T.C. - Phosphate sorption by soils as a measure of the phosphate requirement for pasture growth. Aust. J. Agric. Res., 18: 601-612, 1967.
- OZANNE, P.G. & SHAW, T.C. - Advantage of recently developed phosphate sorption tests over the older extractants methods of soil phosphates. In: Int. Congr. Soil Sci. 9th. Adelaide, Australia, 1968. Trans., Adelaide, Intern. Soc. Soil Sci., 1968. 2: 273-280.
- SCHOFIELD, R.K. - Effect of pH on electric charges carried by clay particles. J. Soil Sci., 1: 1-8, 1949.
- SMYTH, T.J. - Comparison of the effects of phosphorus, lime and silicate applications on phosphorus sorption, ion exchange, and rice growth in an Oxisol from the Cerrado of Brazil. Tese de M.S., North Carolina State University, 1976. 138p.
- SYERS, J.K.; EVANS, T.D.; WILLINS, J.D.H. & MURDOCK, J.T. - Phosphate sorption parameters of representative soils from Rio Grande do Sul, Brazil. Soil Sci., 112: 267-275, 1971.
- VETTORI, L. - Métodos de análise de solo. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. EPE, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Bol. Tec. n.º 7).
- WEAVER, R.M. - Soil of the Central Plateau of Brazil. Chemical and mineralogical properties. Ithaca, Cornell University, 1974. 74-78p. (Agronomy mimeo.).

INTERAÇÃO ENTRE FÓSFORO, ZINCO E CALCÁRIO EM ARROZ-DE-SEQUEIRO (1)

N.K. FAGERIA & F.J.P. ZIMMERMANN (2)

RESUMO

Num experimento de campo e em dois em casa de vegetação, usando Latossolo Vermelho-Amarelo procedente de Goiânia (GO) e de Planaltina (DF), estudou-se a interação entre fósforo, zinco e calcário sobre o crescimento, a produção e os componentes de produção de arroz-de-sequeiro (*Oryza sativa* L.), cultivar IAC 47. Testaram-se todas as combinações de quatro níveis de fósforo (0, 50, 100 e 150 kg/ha de P₂O₅), quatro níveis de zinco (0, 5, 10 e 15 kg/ha de Zn) e dois níveis de calcário (0 e 4 t/ha).

O crescimento da planta, a produção e os componentes de produção foram significativamente afetados pela aplicação do fósforo. Resposta a zinco foi obtida somente em um dos experimentos, enquanto a aplicação de calcário não produziu efeito benéfico no campo nem em casa de vegetação. A aplicação de 150 kg/ha de fósforo e 4 t/ha de calcário causou problema de deficiência de zinco no campo e em casa de vegetação.

(1) Trabalho apresentado na XIII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo. Goiânia (GO), julho de 1978. Recebido para publicação em outubro de 1978 e aprovado em maio de 1979.

(2) Pesquisadores da EMBRAPA/CNPAF, GOIÂNIA (GO).

SUMMARY: INTERACTION AMONG PHOSPHORUS, ZINC AND LIME IN UPLAND RICE

One field and two greenhouse experiments using soils of Goiânia and Planaltina were conducted to study interaction among phosphorus, zinc and lime on growth, yield and yield components of upland rice (Oryza sativa L.) cultivar IAC 47). Four levels of phosphorus (0, 50, 100, and 150 kg/ha of P₂O₅), four levels of zinc (0, 5, 10, and 15 kg/ha of Zn), and two levels of lime (0 and 4 t/ha) were tested in all combinations.

Plant growth, yield components were significantly affected by application of phosphorus. Zinc response was obtained only in Planaltina soil and application of lime did not produce beneficial effect neither in field nor in the greenhouse experiments. Application of 150 kg/ha of P₂O₅ and 4 t/ha lime, produced zinc deficiency symptoms in the field as well as in the greenhouse experiments.

INTRODUÇÃO

Uma vasta área do Brasil Central (1,8 milhões de quilômetros quadrados ou 20% do país), está ocupada por um tipo de vegetação de savana tropical chamado cerrado, cujos solos apresentam como características típicas: alta fixação de P, baixo nível de nutrientes disponíveis, baixo pH, alta saturação de alumínio e baixa capacidade de troca catiônica / CTC (Buol, 1973; Leal & Velloso, 1973, e Lopes & Cox, 1977). Geralmente, recomenda-se para esses solos a aplicação de fósforo e calcário, devido à alta fixação de P, ao baixo pH e à alta saturação de Al.

Com aplicações de altas doses de P e calcário, encontraram-se problemas de deficiência de zinco, nos estados de Goiás, Mato Grosso e Minas Gerais (Fageria & Zimmermann, 1977). Muitos produtores de arroz de Goiás trouxeram ao Centro Nacional e Pesquisa de Arroz e Feijão (C.N.P.A.F.) amostras de plantas de arroz com visíveis sintomas de deficiência de Zn, relatando que esse problema era mais grave onde foram feitas aplicações de P e calcário.

Levando em consideração esse problema, foi efetuado um estudo para determinar os efeitos de várias doses de fósforo e zinco, com e sem adição de calcário, e as interações entre P, Zn e calcário, no rendimento e nos componentes do rendimento da cultura do arroz, cujos resultados são aqui apresentados.

MATERIAL E MÉTODOS

Experimentos em casa de vegetação

Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, para estudar a relação entre P, Zn e calcário, usando solos provenientes de campos experimentais do C.N.P.A.F., na Fazenda Capivara, em Goiânia (GO), e do Centro de Cerrado em Planaltina (DF).

As análises químicas dos solos revelaram: pH 5,3; P disponível 2 ppm; K trocável 31 ppm; Ca + Mg trocável 0,2 meq/100 g e Al trocável 0,2 meq/100 g na amostra da Fazenda Capivara; e pH 5,2, P disponível 1 ppm; K trocável 22 ppm; Ca + Mg trocável 0,2 meq/100 g e Al trocável 0,3 meq/100 g, na amostra de Planaltina.

Amostras de solo da camada superficial (0-20 cm) foram secas, peneiradas e colocadas em vasos de 10 kg. Dezesesseis tratamentos perfaziam todas as combinações possíveis entre quatro níveis de fósforo (P₀= 0; P₁= 50; P₂= 100 e P₃= 150 kg de P₂O₅ fornecido como superfosfato simples (20% P₂O₅); dois níveis de zinco (Zn₀= 0 e Zn₁= 20 kg/ha de Zn), fornecido como sulfato de zinco (23% Zn) e dois níveis de calcário (C₀= 0 e C₁= 4 t/ha). Os tratamentos foram repetidos quatro vezes no solo da Fazenda Capivara e duas vezes

no de Planaltina. Foram aplicados 400 mg de N e 100 mg de K por vaso na forma de (NH₄)₂SO₄ e de KCl.

Semeadura do cultivar de arroz IAC 47, após a germinação foram selecionadas duas plantas uniformes por vaso. Os vasos foram irrigados de forma a manter a umidade na capacidade de campo durante todo o ciclo da cultura. Colheram-se os dados relacionados com produção e componentes de produção, e fez-se a análise de variância.

Experimento de campo

Usou-se um delineamento de blocos ao acaso, conduzido no campo experimental de novembro de 1976 a abril de 1977. A análise do solo (0-20 cm de profundidade), no início do estudo, indicou pH 4,9; P disponível 6 ppm; K trocável 31 ppm, Ca + Mg trocável 1,2 meq/100 g e Al trocável 0,1 meq/100 g. Os 32 tratamentos perfaziam todas as combinações possíveis entre quatro níveis de fósforo (0, 50, 100 e 150 kg/ha de P₂O₅), cuja fonte foi o superfosfato simples (20% P₂O₅), quatro níveis de zinco (0, 5, 10 e 15 kg/ha de Zn) proveniente de sulfato de zinco, e dois níveis de calcário (0 e 4 t/ha). O calcário foi aplicado 48 dias antes do plantio e os tratamentos, repetidos quatro vezes. As parcelas receberam 60 kg/ha de N em forma de (NH₄)₂SO₄ e 30 kg/ha de K₂O sob a forma de KCl. Um terço do N foi aplicado no plantio e, o restante, no início do primórdio floral. A quantidade total de potássio foi aplicada no plantio, completamente misturada ao solo.

A área total e a área útil das parcelas foram, respectivamente, de 16 m² e 6 m². A semeadura foi feita a 26 de novembro de 1976, com uma distância entre linhas de 50 cm, e a densidade de cem sementes por metro quadrado. O cultivar usado como indicador foi o IAC 47.

A colheita foi efetuada a 14 e 15 de abril de 1977, obtendo-se os dados de produção de grãos, número de panículas por metro quadrado, peso de panículas, de cem grãos e de palha. As plantas foram amostradas durante o período de crescimento com cerca de duas semanas de intervalo, para determinar a altura e o peso seco da parte aérea. A significação estatística dos dados foi determinada pela análise de variância e teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sintomas visuais de deficiência de zinco

Os sintomas de deficiência de zinco foram observados 30 a 35 dias após o plantio, no tratamento de 4 t/ha de calcário na ausência de zinco, no campo e em casa de vegetação. Os sintomas observados eram de marcante coloração bruno-ferruginosa do tecido, de cada lado da nervura das folhas adultas. As folhas mais desenvolvidas apresentavam um tecido clorótico branco que se tornava marrom-ferrugem. O crescimento da planta era atrofiado pela deficiência, e as folhas de cor ferrugem eram predominantes em estádios posteriores.

Sintomas de deficiência de zinco foram observados também nos tratamentos de 150 kg/ha de P₂O₅, na ausência de zinco, mas não tão graves quanto no tratamento de calcário. Tais sin-

Quadro 1. Efeito de calcário e zinco na produção e componentes de produção (1).

Tratamentos	Produção	Peso de palha	Panículas	Peso 1.000 grãos	Grãos vazios
Calcário t/ha	kg/ha		n.º/m ²	g	%
0	552,64 a	3.568,95 a	197 a	24,74 a	45,4 a
4	455,66 b	3.505,28 a	207 b	24,37 a	49,8 b
Zn kg/ha					
0	520,46 a	3.437,50 a	200 a	24,05 a	47,3 a
5	450,53 a	3.476,50 a	203 a	24,56 a	47,9 a
10	544,21 a	3.552,18 a	202 a	25,19 a	48,3 a
15	501,06 a	3.682,28 a	202 a	24,43 a	46,9 a

(1) Nas colunas, os valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

tomas são semelhantes aos relatados por Fageria, 1976, para deficiência de zinco. A aplicação de 10 kg/ha de Zn foi suficiente para eliminá-los. **Crescimento da planta, produção e componentes de produção**

Os resultados de experimento de campo relacionados com crescimento, produção e componentes de produção são apresentados nas figuras 1 e 2 e no quadro 1. A altura da planta e o peso seco aumentaram significativamente com a aplicação de fósforo até 150 kg/ha de P₂O₅, enquanto o número de panículas aumentou significativamente até 100 kg/ha de P₂O₅. A produção de grãos por hectare diminuiu com mais de 50 kg/ha de P₂O₅, devido ao veranico que ocorreu durante a fase reprodutiva, causando esterilidade muito elevada e redução no peso de 1.000 sementes (Figura 2).

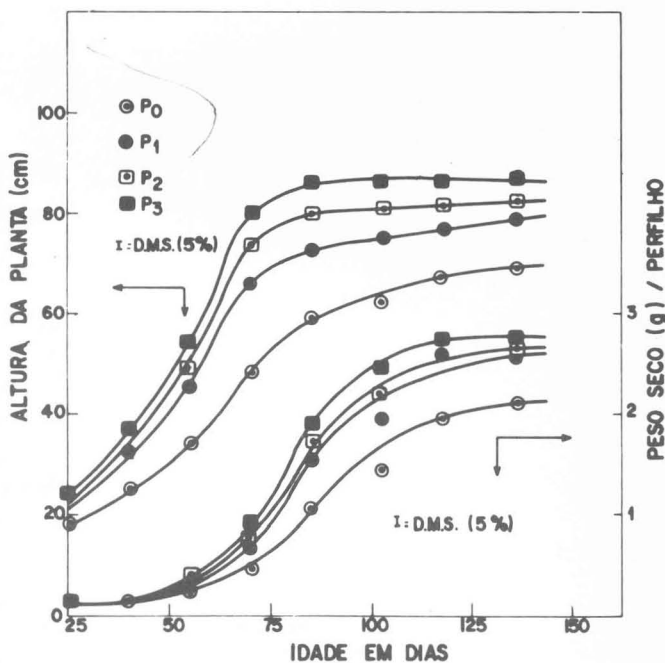


Figura 1. Altura e peso seco, por perfilho, da planta de arroz durante o período de crescimento sob diferentes tratamentos com fósforo (P₀ = 0, P₁ = 50, P₂ = 100 e P₃ = 150 kg/ha de P₂O₅).

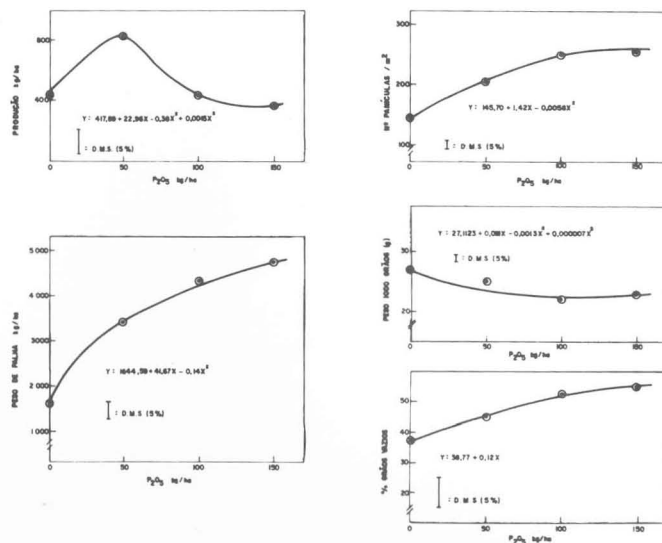


Figura 2. Produção de arroz e seus componentes, em diferentes doses de fósforo no experimento de campo.

Muitos pesquisadores afirmam que a planta de arroz é bastante sensível à seca, do estágio de divisão celular à floração (Kawahara, 1944; Wada; Baba; Furuya, 1945, e Nagato, 1949). Isso foi confirmado também por Matsushima, 1968, que, estudando arroz na Malásia, encontrou que três dias de seca, a partir do período crítico (onze a três dias antes da floração), reduziram a produção por causa de alta esterilidade.

Nos experimentos de casa de vegetação também foi obtida resposta significativa a fósforo nos dois solos com relação à produção e a seus componentes (Figura 3). A produção e os componentes de produção aumentaram com a aplicação de zinco, mas foi obtida resposta significativa somente no solo de Planaltina (Figura 4). Isso se deve à diferença em propriedades químicas entre os dois solos. A aplicação de calcário diminuiu a produção e os componentes de produção nos dois solos (Figura 4). A aplicação de 4 t/ha de calcário causou problema de disponibilidade de zinco, observada pelos sintomas de deficiência. A deficiência de zinco está relacionada

com o aumento de pH pela aplicação de calcário. Foi relatada por Trierweiler & Lindsay, 1969, que a solubilidade de zinco em água diminuiu 100 vezes quando o pH aumentou de uma unidade. Outra razão dessa deficiência pode ser a adsorção de zinco decorrente da aplicação de CaCO_3 e MgCO_3 solúveis, diminuindo, portanto, a disponibilidade de zinco para a planta (Yoshida & Tanaka, 1969; Katyal & Ponnampuruma, 1975). Foi observada uma interação entre zinco e calcário. Sem aplicação de zinco, a produção e seus componentes diminuíram com a aplicação de 4 t/ha de calcário nos solos (Figuras 5 e 6).

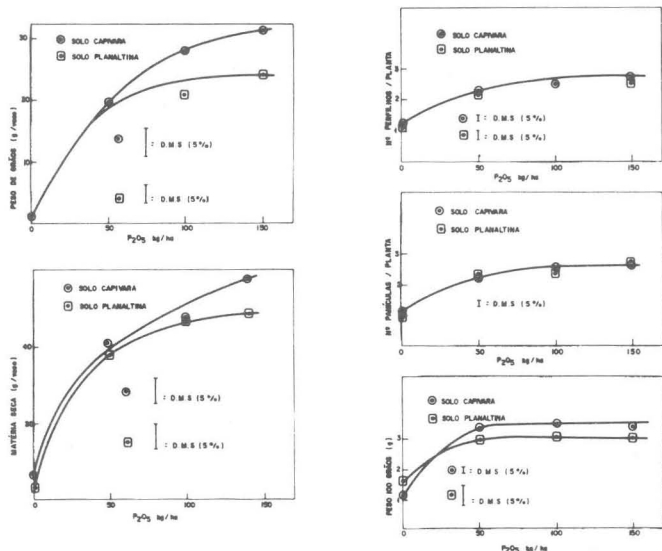


Figura 3. Produção de arroz e seus componentes, em diferentes doses de fósforo no experimento em casa de vegetação.

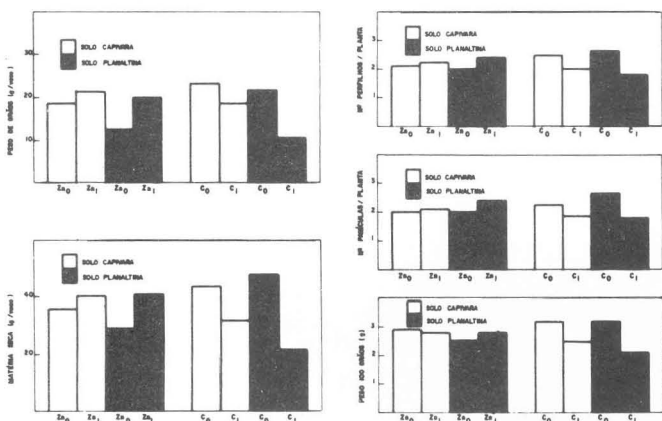


Figura 4. Produção de arroz e seus componentes, na presença e na ausência de zinco e calcário, no experimento em casa de vegetação.

As figuras 7 (a, b) e 8 (a, b, c) mostram interação entre fósforo e calcário. Sem aplicação de zinco, a produção e seus componentes diminuíram com a aplicação de altos níveis de fósforo. Isso se deve, provavelmente, à ação depressi-

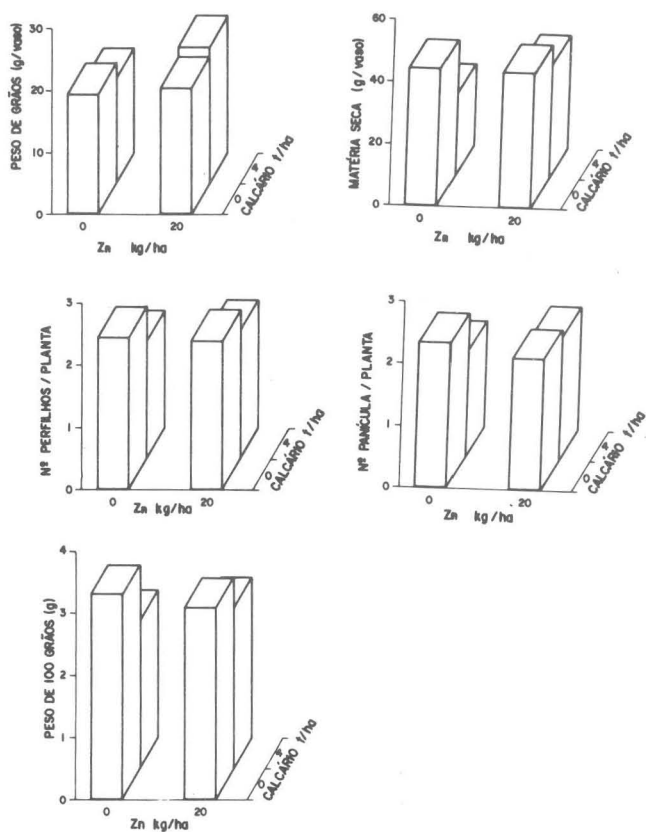


Figura 5. Interação entre zinco e calcário, na produção e seus componentes, do solo da Fazenda Capivara, em casa de vegetação.

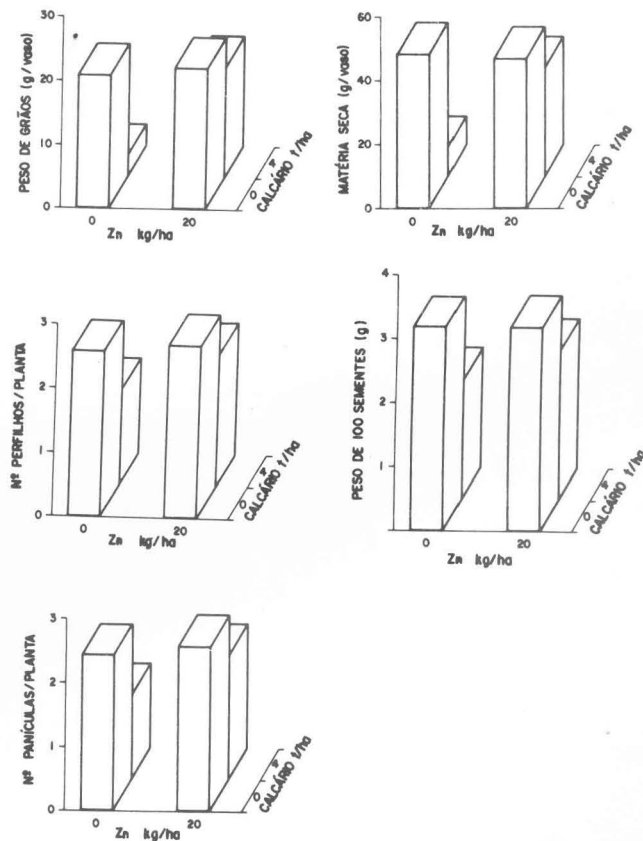


Figura 6. Interação entre zinco e calcário, na produção e seus componentes do solo de Planaltina, em casa de vegetação.

va do fósforo na absorção de zinco, como resultado de reação química no solo (Bingham, 1963) ou ao antagonismo entre os dois elementos, que ocorre na planta (Burleson; Dacus; Gerard, 1961 e Langin *et alii*, 1962).

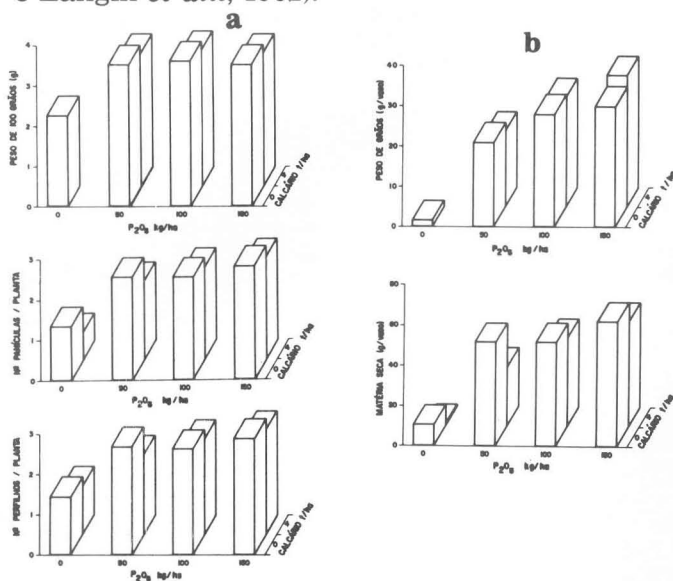


Figura 7a - Interação entre fósforo e calcário no peso de cem grãos, número de panículas e de perfilhos do solo da Fazenda Capivara, em casa de vegetação.

7b - Interação entre fósforo e calcário no peso de grãos e matéria seca do solo da Fazenda Capivara em casa de vegetação.

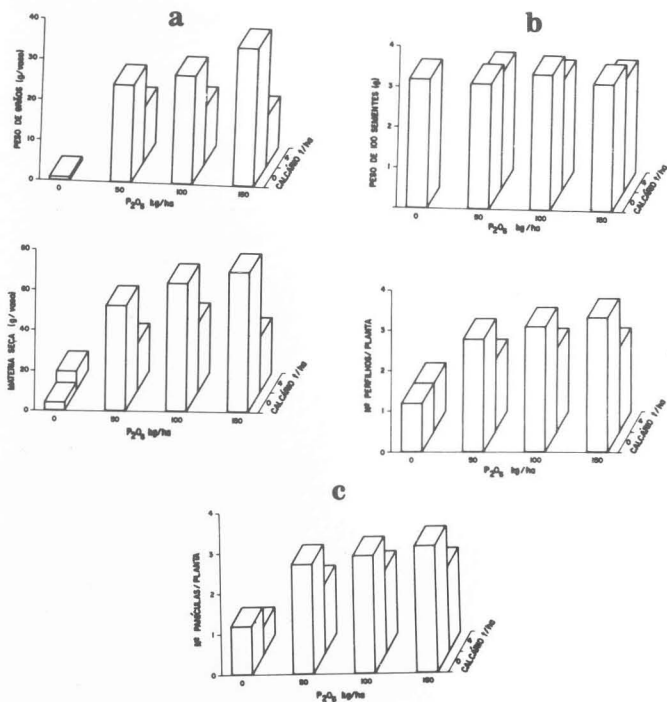


Figura 8a - Interação entre fósforo e calcário, na produção de grão e matéria seca, do solo de Planaltina, em casa de vegetação.

8b - Interação entre fósforo e calcário, no peso de sementes e número de perfilhos, do solo de Planaltina, em casa de vegetação.

8c - Interação entre fósforo e calcário, no número de panículas, do solo de Planaltina, em casa de vegetação.

LITERATURA CITADA

- BINGHAM, F.T. - Relation between phosphorus and micronutrients in plants. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 27: 389-391, 1963.
- BUOL, S.W. - Soil genesis, morphology, and classification. In: SANCHEZ, P.A., ed. A review of soil research in tropical Latin America, North Carolina, 1973. p.1-38. (Agric. Exp. Stn. Tech. Bull. 219).
- BURLESON, C.A.; DACUS, A.D.; GERARD, C.J. - The effect of phosphorus fertilization on the zinc nutrition of several irrigated crops. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 25: 365-368, 1961.
- FAGERIA, N.K. - Identificação de distúrbios nutricionais do arroz e sua correção. Goiânia, EBRAPA/C.N.P.A.F. 1976. 11p. (Boletim Técnico, 2).
- FAGERIA, N.K. & ZIMMERMANN, F.J.P. - Resposta do arroz irrigado à aplicação de fósforo, zinco e calcário. R. bras. Ci. Solo 1: 72-76, 1977.
- KATYAL, J.C. & PONNAMPERUMA, F.N. - Zinc deficiency; a widespread nutritional disorder of rice in Angsan del Norte, Philip. Agric. J., 58: 79-89, 1975.
- KAWAHARA, U. - Studies on water economy of lowland rice. Horticulture, 19: 756-758, 1944.

- LANGIN, E.J.; WARD, R.C.; OLSON, R.A.; RHOADES, H.F. - Factors responsible for poor response of corn and grain sorghum to phosphorus fertilization. II. Lime and P placement effects on P-Zn relations. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 26: 574-578, 1962.
- LEAL, J.R. & VELLOSO, A.C.X. - Adsorção de fosfato em latossolos de cerrado. Pesq. agr. bras., 8: 81-88, 1973. (Sér. Agron.).
- LOPES, A.S. & COX, F.R. - A survey of the fertility status of surface soils under «cerrado» vegetation in Brasil. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 742-746, 1977.
- MATSUSHIMA, S. - Water and physiology of indica rice. In: Rice cultivation in Southeast Asia. Proc. Crop Sci. Soc. Jap., Special issue, 1968. p.102-109.
- NAGATO, K. - On the effects of wilting upon the growth of upland rice plants. Proc. Crop Sci. Soc. Japan, 17: 11, 1949.
- TRIERWEILER, J.F. & LINDSAY, W.L. EDTA - Ammonium carbonate soil test for zinc. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33: 49-53, 1969.
- WADA, E.; BABA, S.; FURUYA, T. - Studies on drought of lowland rice. Agr. Hort., 20: 131-132, 1945.
- YOSHIDA, S. & TANAKA, A. - Zinc deficiency of the rice plant in calcareous soil. Soil Sci. Plant Nutr., 15: 75-80, 1969.