

EMPREGO DA ANÁLISE DO SOLO E ESTIMATIVA DE DOSES ECONÔMICAS PARA ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA EM CULTURA DE MILHO NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL¹

O. MUZILLI, E.L. OLIVEIRA² e M.T. TORNERO³

RESUMO - No período de 1975 a 1978, uma série de experimentos foi realizada com os objetivos de: a. identificar as classes de resposta do milho (*Zea mays* L.) aos teores de fósforo e potássio na análise do solo; b. ajustar funções de produção para cada classe e c. estimar doses econômicas de adubação baseadas nessas funções. Os resultados permitiram: 1. constatar maior efeito do fósforo, comparado ao potássio, no aumento da produtividade do milho; 2. estabelecer limites de classes: **baixo** (até 3,0 ppm), **médio** (de 3,1 a 7,0 ppm), **alto** (de 7,1 a 16,0 ppm) e **muito alto** (maior que 16,0 ppm) para interpretação da disponibilidade de fósforo por meio da análise do solo (extrator de Mehlich); 3. estimar doses econômicas para adubação fosfatada, pela equação de Mitscherlich, para diferentes relações entre preço do adubo e preço do milho, em solos com teor **baixo** e **médio** de P disponível.

Termos para indexação: fertilização-fósforo; fertilização-potássio; milho; *Zea mays*; Paraná-Brasil.

SOIL TESTING AND ESTIMATION OF ECONOMIC RATES OF P AND K FERTILIZATION FOR MAIZE IN PARANÁ STATE, BRAZIL

ABSTRACT - From 1975 to 1978, a set of trials was carried out, in order to: a. Identify response classes of maize (*Zea mays* L.) to phosphorus and potassium in the soil analysis; b. Adjust production functions for each class and c. Estimate economic rates of fertilization based on these functions. Results allowed: 1. To verify greater response to phosphorus, compared to potassium, in increasing maize yields; 2. To establish limits for **low** (below 3.0 ppm), **medium** (3.1 to 7.0 ppm), **high** (7.1 to 16.0 ppm) and **very high** (above 16.0 ppm) for nutrient classes as a basis for interpretation of phosphorus availability by means of soil analysis (Mehlich's extractor); 3. To estimate economic doses for phosphorus fertilization, by Mitscherlich's equation, for different ratio between fertilizer prices and maize prices, in soils with **low** and **medium** available P.

Index terms: soil analysis; phosphorus and potassium fertilization; maize; *Zea mays* Paraná-Brazil.

INTRODUÇÃO

É freqüente a limitação da produtividade do milho pela baixa disponibilidade do fósforo na maioria das lavouras do Estado do Paraná, e, nessas condições, a prática de adubação fosfatada representa fator essencial para melhoria do rendimento da cultura. Contudo, quando implantada em solos de fertilidade natural elevada ou em áreas intensamente adubadas, de modo geral não se verificam respostas da cultura ao emprego da adubação fosfatada ou, quando ocorrem, são de pouca intensidade.

Com relação ao potássio, de modo geral pode-se dizer que há um adequado suprimento desse nutriente

na maioria das terras do Estado, sendo constatados, não raro, efeitos pouco expressivos ou até mesmo negativos pelo emprego da adubação potássica.

As recomendações de adubação, contudo, não podem ser generalizadas, havendo a necessidade da adoção de critérios que permitam racionalizar a orientação ao emprego de fertilizantes, em função das respostas econômicas da cultura nas diferentes condições de solo.

Estudos anteriores evidenciaram ser a análise do solo um critério eficiente para determinar as necessidades de adubação do milho no Estado do Paraná (Muzilli et al. 1969, Muzilli & Kalckmann 1971). Tal critério, porém, só pode ser usado em escala mais ampla após a execução de estudos adequadamente delimitados e interpretados.

Com vistas a essa necessidade, o Programa Milho/Sorgo do IAPAR, realizou, no decorrer de três safras - 1975/76 a 1977/78 - uma série de experimentos de campo, conduzidos em lavouras particulares, buscando identificar classes de resposta do milho à disponibilidade de fósforo e potássio detectada pela análise do solo e determinar funções de produção para cada

¹ Aceito para publicação em 9 de setembro de 1981. Trabalho apresentado na XIII Reunião Brasileira de Milho e Sorgo. Londrina, PR, 23/julho a 2/agosto de 1980.

² Eng^o Agr^o, M.Sc., Instituto Agrônomo do Paraná, IAPAR, Caixa Postal 1331, CEP 86100 - Londrina, PR.

³ Bióloga, M.Sc., Biometria e Processamento de Dados, IAPAR, Londrina, PR.

classe, a partir das quais pudessem ser estimadas doses econômicas de adubação.

Os resultados obtidos são discutidos e apresentados neste trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização edafoclimática dos locais onde se realizaram os experimentos nas diferentes safras é mostrada na Tabela 1.

O delineamento experimental usado foi um fatorial incompleto, distribuindo-se os tratamentos em blocos ao acaso, com três repetições.

Os tratamentos consistiram em doses crescentes de um nutriente em estudo, mantendo-se constantes as doses dos demais. Os níveis testados foram: $P_2O_5 = 0, 40, 80, 120$ e 160 kg/ha, na forma do superfosfato triplo e $K_2O = 0, 45$ e 90 kg/ha, na forma de cloreto de potás-

sio; os adubos foram colocados em sulcos abaixo das sementes. A dose total de nitrogênio (90 kg/ha) foi parcelada, sendo $1/3$ fornecido na adubação de semeadura e os $2/3$ restantes aplicados em cobertura aos $45-50$ dias após a semeadura, usando-se o sulfato de amônio como fonte.

As cultivares indicadoras foram híbridos duplos comerciais (AG-152 ou C-501) e os tratos culturais constaram de capinas e amontoa.

Para avaliação dos resultados, tomou-se por base a produção de grãos obtida em área de 10 m² por parcela, sendo os valores transformados em kg/ha a $14,5\%$ de umidade nos grãos.

Os dados foram submetidos à análise de variância e comparações das médias dos tratamentos foram feitas pelo teste de Duncan (5%); para cada experimento foi também determinado o coeficiente de variação, descartando-se aqueles com C.V. superior a 20% .

As curvas de resposta foram ajustadas por análise de regressão, tomando-se como variável independente a recíproca ($x = 1/X$) dos teores de P disponível e K trocá-

TABELA 1. Características edafoclimáticas predominantes nos locais onde foram conduzidos os experimentos.

| Localidades | Condição predominante | | Análise química do solo na camada arável ¹ | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------------|------------------------------|---|-----|------|-----|------|----|------|-----|
| | Tipo climático ¹ | Unidade de solo ² | pH | Al | Ca | Mg | K | Al | P | |
| | | | __emg/100 ml TFSA__ | | | | | | % | ppm |
| Safra 1976/1976 | | | | | | | | | | |
| C. Mourão | Cfa* | LRd | 4,8 | 0,1 | 1,8 | 0,4 | 0,17 | 4 | 3,7 | |
| Terra Boa | Cfa | LRd | 5,1 | 0,1 | 5,6 | 0,8 | 0,29 | 1 | 4,8 | |
| Palotina | Cfa | LRd | 5,4 | 0,1 | 7,1 | 0,6 | 0,34 | 1 | 1,4 | |
| Cascavel | Cfa* | LRd | 5,0 | 0,2 | 3,6 | 0,8 | 0,15 | 4 | 4,4 | |
| Safra 1976/77 | | | | | | | | | | |
| Umuarama | Cfa | LEd | 6,3 | 0 | 3,0 | 0,6 | 0,14 | 0 | 28,4 | |
| Umuarama | Cfa | LEd | 6,5 | 0 | 2,8 | 0,6 | 0,14 | 0 | 37,7 | |
| Palotina | Cfa | LRd | 6,2 | 0 | 11,5 | 1,3 | 0,63 | 0 | 7,1 | |
| Palotina | Cfa | LRd | 6,3 | 0 | 10,7 | 1,4 | 0,56 | 0 | 6,9 | |
| Toledo | Cfa | LRd | 5,7 | 0 | 7,1 | 1,5 | 0,64 | 0 | 7,3 | |
| Tibagi | Cfa* | LEa | 5,0 | 0,4 | 2,5 | 0,9 | 0,21 | | 10,0 | |
| Safra 1977/78 | | | | | | | | | | |
| Paranavaí | Cfa | LEd | 5,8 | 0 | 2,0 | 1,4 | 0,15 | 0 | 1,9 | |
| Paranavaí | Cfa* | LEd | 5,3 | 0 | 1,3 | 0,8 | 0,16 | 0 | 3,3 | |
| Cascavel | Cfa* | LRd | 4,8 | 0,5 | 2,7 | 1,2 | 0,45 | 10 | 21,1 | |
| Cascavel | Cfa | LRd | 5,0 | 0,4 | 3,0 | 1,7 | 0,37 | 7 | 25,2 | |

¹ Caracterização climática segundo classificação de Köppen.

Fonte: IAPAR, 1978 - Cartas Climáticas Básicas do Estado do Paraná.

(*) : Áreas em zona de transição, comportando-se no verão como tipicamente Cfa e no inverno como Cfb.

² Caracterização pedológica segundo critérios definidos pelo SNLCS/EMBRAPA

LRd = Latossolo Roxo eutrófico, de textura argilosa

LRd = Latossolo Roxo distrófico, de textura argilosa

LEd = Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, de textura média

LEa = Latossolo Vermelho-Escuro álico, de textura média

³ Análise segundo métodos em uso no Laboratório de Solos do IAPAR (Muzilli et al. 1978) feita em amostras coletadas nos blocos experimentais, por ocasião da semeadura. Médias de três repetições por local.

vel determinados nos solos pelo método de Mehlich e como variável dependente o índice da produção relativa em ausência do nutriente, expresso em percentagem da produtividade máxima obtida com o nutriente em cada experimento (Freitas et al. 1966).

Os intervalos que definem as classes de resposta para interpretação da análise do solo foram estabelecidos a partir das curvas de resposta, com base em critérios descritos por Rouse (1968) e Raij (1974).

Para cada classe, ajustou-se a função de produção que permite estimar a relação entre as doses de nutriente aplicadas e os rendimentos de grãos obtidos, através da equação de Mitscherlich - $y = A \cdot 1 - 10^{-x^{(1+b)}}$ - onde os rendimentos obtidos nos grupos de experimentos de cada classe foram tomados como variável dependente e as doses de nutrientes aplicadas como variável independente. As doses econômicas de adubação foram estimadas a partir dessas funções, para diferentes relações preço do adubo/preço do milho, empregando-se a expressão $y = 1/c \cdot \log(A \cdot c \cdot w / t \cdot \log e) - b$, onde w = preço do milho e t = preço da unidade P_2O_5 ou K_2O , conforme apresentado por Malavolta (1967) e Gomes (1973).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rendimento de grãos

Os rendimentos médios de grãos proporcionados pelos tratamentos, nas diferentes localidades e safras, são mostrados na Tabela 2.

A comparação pelo teste de Duncan (5%) evidencia a predominância de aumentos significativos de rendimento devidos à adubação fosfatada; mesmo nos casos em que os efeitos não foram estatisticamente significativos, predominou a tendência de respostas positivas à aplicação do nutriente, sendo poucas as situações em que se verificou tendência de respostas nulas ou negativas.

Para a adubação potássica, embora predominasse a tendência a respostas positivas, em apenas um caso os efeitos foram estatisticamente significativos.

Tais resultados vieram a confirmar a importância da adubação fosfatada para melhoria da produtividade da cultura do milho no Estado do Paraná, o que não se verificou para a adubação potássica.

Caracterização das classes de resposta

Classes de resposta para fósforo

A função que melhor exprimiu a relação entre teor de fósforo no solo e índices de produção relativa foi a equação $y = 101,74 - 95,79 (1/X)$, que explicou 71% da variação observada. A curva ajustada é mostrada na Fig. 1.

A partir dessa curva, os intervalos estabelecidos foram:

- P até 3 ppm, para o limite BAIXO (produção relativa abaixo de 70%);
- P entre 3,1 e 7,0 ppm para o limite MÉDIO (produção relativa entre 70 e 88%);
- P entre 7,1 e 16,0 ppm, para o limite ALTO (produção relativa entre 88 e 97%) e
- P acima de 16,0 ppm, para o limite MUITO ALTO (produção relativa acima de 97%).

Classes de respostas para potássio

As tentativas de ajustes entre os valores da produção relativa sem potássio e os teores de K trocável no solo não evidenciaram nenhuma correlação significativa que permitisse caracterizar a curva de resposta.

A necessidade de estudar a relação entre o teor de K trocável com outros cátions trocáveis em ensaios de calibração e a definição da importância dessas relações no prognóstico da adubação potássica foram enfatizadas por Raij (1972). Alguns índices, como a relação Ca/K (Miranda 1966), a relação K/Ca (Kalkmann & Fratini 1967), a relação Ca + Mg/K (Silva 1971) e a percentagem de saturação do complexo do solo com K trocável (Freitas et al. 1966, Mielniczuck 1978) tampouco permitiram evidenciar correlações significativas e aceitáveis entre os prováveis ajustes.

Assim sendo, não foi possível, no presente trabalho, a obtenção de parâmetros seguros para o estabelecimento das classes de resposta a potássio pelo milho, quando foram utilizados os valores de K trocável determinados pela análise do solo.

Deve ser ressaltado que, nos locais estudados, os teores de K trocável do solo foram iguais ou superiores a 0,14 emg/100 ml de TFSA, valor considerado médio por inúmeros autores (Mielniczuck et al. 1969, Miranda & Jorge 1971, Catani & Jacintho 1974, Raij 1974) para a interpretação das análises de solo. Nessas condições, os efeitos da adubação potássica no aumento de rendimento da cultura foram pouco expressivos, aspecto que pode ter interferido nos resultados obtidos.

Funções de produção para as classes de resposta à adubação fosfatada

Nas classes de teor baixo e médio, as respostas à adubação fosfatada foram significativas a 5% e a 1%, respectivamente, pelo teste F. As funções de produção para essas classes de resposta e seus respectivos coeficientes de determinação (r^2) em relação às médias de rendimentos obtidos em cada grupo de experimento são mostradas na Fig. 2.

Nas classes de teor alto e muito alto, as respos-

TABELA 2. Rendimento médio de milho (kg/ha) em função de diferentes doses de adubação fosfatada e potássica, nos diferentes locais e safras. (Médias de três repetições por tratamento).

| Locais | Safras | Doses de P ₂ O ₅ (kg/ha) ¹ | | | | | Doses de K ₂ O (kg/ha) ² | | | | |
|--------------|---------|---|----------|----------|----------|---------|--|---------|----------|--|--|
| | | 0 | 40 | 80 | 120 | 160 | 0 | 45 | 90 | | |
| | | Rendimento de grãos (kg/ha) ³ | | | | | | | | | |
| Campo Mourão | 1975/76 | 6.962 B | 7.222 AB | 7.132 AB | 7.797 A | 6.908 B | 6.993 B | 7.797 A | 7.626 AB | | |
| Terra Boa | 1975/76 | 4.482 B | 5.733 AB | 5.866 AB | 7.246 A | 7.349 A | 5.019 A | 7.246 A | 7.004 A | | |
| Palotina | 1975/76 | 1.528 C | 4.128 B | 5.609 A | 5.971 A | 6.068 A | 5.634 A | 5.971 A | 6.202 A | | |
| Cascavel | 1975/76 | 6.936 A | 7.492 A | 7.206 A | 8.210 A | 8.204 A | 7.726 A | 8.211 A | 8.090 A | | |
| Umuarama | 1976/77 | 2.760 A | 2.493 A | 2.661 A | 2.548 A | 2.259 A | 2.474 A | 2.548 A | 2.236 A | | |
| Umuarama | 1976/77 | 3.469 A | 3.711 A | 4.184 A | 3.892 A | 3.889 A | 4.455 A | 3.892 A | 3.857 A | | |
| Palotina | 1976/77 | 6.721 A | 6.832 A | 6.206 A | 5.724 A | 6.087 A | 5.641 A | 5.724 A | 5.956 A | | |
| Palotina | 1976/77 | 7.233 A | 6.832 A | 6.921 A | 7.789 A | 7.051 A | 7.116 A | 7.789 A | 7.138 A | | |
| Toledo | 1976/77 | 6.690 A | 7.277 A | 7.308 A | 7.083 A | 6.999 A | 7.023 A | 7.083 A | 7.141 A | | |
| Tibagi | 1976/77 | 7.629 A | 7.164 A | 7.243 A | 6.950 A | 7.613 A | 7.523 A | 6.950 A | 7.632 A | | |
| Paranavaí | 1977/78 | 2.962 B | 4.758 A | 4.988 A | 5.013 A | 5.104 A | 4.987 A | 5.013 A | 5.582 A | | |
| Paranavaí | 1977/78 | 3.080 B | 3.965 AB | 4.033 AB | 4.703 AB | 4.665 A | 4.017 A | 4.703 A | 5.158 A | | |
| Cascavel | 1977/78 | 4.799 A | 4.526 A | 4.798 A | 4.415 A | 4.686 A | 4.420 A | 4.415 A | 5.003 A | | |
| Cascavel | 1977/78 | 4.424 A | 5.237 A | 5.185 A | 5.467 A | 4.845 A | 4.868 A | 5.467 A | 5.110 A | | |

¹ Doses de N (90 kg/ha) e de K₂O (45 kg/ha) constantes.

² Doses de N (90 kg/ha) e de P₂O₅ (120 kg/ha) constantes.

³ Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si dentro de um ano agrícola, em cada localidade, pelo teste de Duncan (5%).

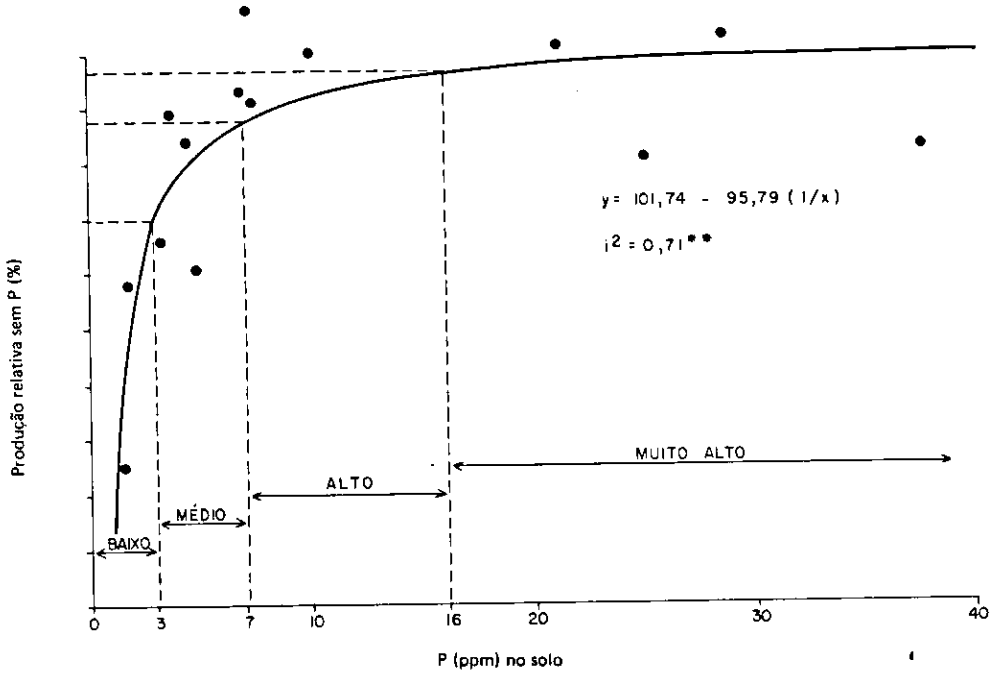


FIG. 1. Curva de resposta e estabelecimento das classes de teores de fósforo, em função da produção relativa sem adubação fosfatada (%) e do teor de P (ppm) no solo determinado pelo método Mehlich.

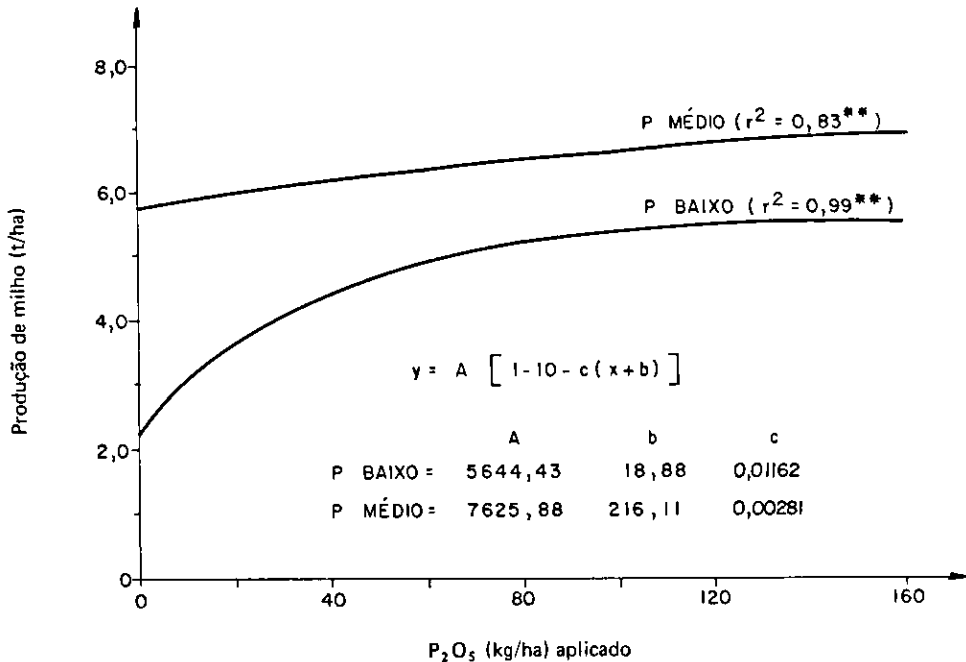


FIG. 2. Equações ajustadas e respectivos coeficientes de determinação para as classes de teores baixo e médio de fósforo no solo.

tas à adubação fosfatada não foram significativas (teste F), e nessa situação a equação de resposta não foi ajustada.

Estimativa de doses econômicas para adubação fosfatada

A Fig. 3 permite inferir graficamente as doses econômicas para diferentes relações entre preço do adubo e o preço do milho em solos com teor **baixo** (< 3 ppm) e **médio** (3 a 7 ppm) de fósforo.

Assim, por exemplo, para uma relação preço de

P_2O_5 /preço do milho igual a 8/1, as doses econômicas de adubação fosfatada seriam 90 e 65 kg de P_2O_5 /ha, para os solos com teor **baixo** e **médio** de fósforo, respectivamente.

Para os solos com teor **alto** e **muito alto**, não se evidenciou efeito da adubação fosfatada no rendimento do milho. Nessa situação, não se justificou o estudo de doses econômicas; adubações de reposição com vistas à manutenção da fertilidade do solo teriam que ser consideradas um investimento e não um custo direto de produção da cultura.

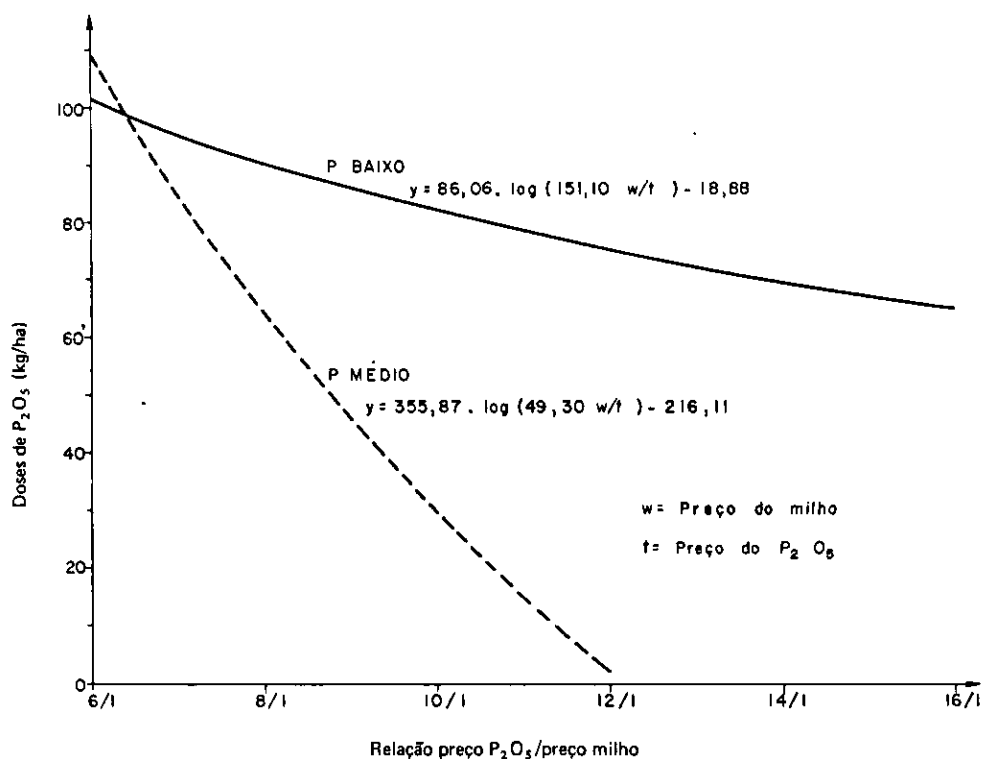


FIG. 3. Estimativa de doses econômicas para adubação fosfatada do milho, para diferentes relações entre preço do adubo (P_2O_5) e preço do milho, nas classes de teor **baixo** e **médio** de fósforo no solo.

CONCLUSÕES

1. A adubação fosfatada se caracterizou como prática necessária e importante para a melhoria da produtividade do milho no Estado do Paraná, e seus efeitos mostraram estarem relacionados com a disponibilidade do nutriente revelada pela análise do solo.

2. Para interpretação da disponibilidade de fósforo através da análise do solo, foram estabelecidos os seguintes padrões: teor **baixo**: P até 3,0 ppm; teor mé-

dió; P entre 3,1 e 7,0 ppm; teor **alto**: P entre 7,1 e 16,0 ppm e teor **muito alto**: P superior a 16,0 ppm.

3. Os incrementos de produção obtidos em solos com teor **baixo** e **médio** de fósforo justificam economicamente o emprego da adubação fosfatada, enquanto que para as classes de teor **alto** e **muito alto** a baixa resposta à adubação fosfatada sugere a adoção dessa prática como adubação de reposição, desde que seja tal medida considerada um investimento e não um custo direto de produção.

4. Os efeitos da adubação potássica no aumento da produtividade do milho no Estado do Paraná foram de pouca expressão e não permitiram a obtenção de parâmetros eficazes para o estabelecimento das classes de resposta e a estimativa de respostas econômicas do milho ao emprego desse nutriente.

REFERÊNCIAS

- CATANI, R.A. & JACINTHO, A.O. Avaliação da fertilidade do solo; métodos de análise. Piracicaba, Livrocere, 1974. 57p.
- FREITAS, I.M.M.; MCCLUNG, A.C. & GOMES, F.P. Determinação das áreas deficientes em potássio para a cultura de algodão. Rev. Fertilité, 26: 37-45, 1966.
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental; 5.ed. São Paulo, Nobel, 1973. p.323-40.
- KALCKMANN, R.E. & FRATINI, C.T.A. Contribuição à interpretação das análises de potássio em solos do Rio Grande do Sul. Pesq. agropec. bras., 2:263-7, 1967.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola - adubos e adubação. 2.ed. São Paulo, Bibl. Agron. Ceres, 1967. p.392-410.
- MIELNICZUCK, J. O potássio no solo. Piracicaba, Ed. T. Yamada, Inst. Potassa Fosfato, Inst. Intern. Potassa, Programa Comun no Brasil, 1978. (Boletim Técnico, 2).
- MIELNICZUCK, J.; LUDWICK, A. & BOHNEN, H. Recomendações de adubo e calcário para os solos e culturas do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, FAV-UFRGS, 1969. 29p. (Boletim Técnico, 2).
- MIRANDA, L.T. Resultados de experimentos de adubação e sugestões para a interpretação baseada na análise química do solo. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE POTASSA, São Paulo, SP. Cultura e adubação do milho. São Paulo, 1966. p.466-7.
- MIRANDA, L.E.C. & JORGE, J.P.J. Adubação do milho. II - Comprovação da eficiência das fórmulas de adubação recomendadas em função da análise do solo. Campinas, Inst. Agron., 1971. 11p. (Boletim, 12). Proj. BNDE/ANCA/CIA.
- MUZILLI, O. & KALCKMANN, R.E. Sugestões de calagem e adubação para recuperação de solos na região Nordeste do Estado do Paraná. R. IBPT, Curitiba, 14:54-60, 1971.
- MUZILLI, O.; LANTMANN, A.F.; PALHANO, J.B.; OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S.; COSTA, A.; CHAVES, J.C.D. & ZOCOLER, D.C. Análise de solos. Interpretação e Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Paraná. Londrina, Fundação Instituto Agrônomo do Paraná, 1978. 49p. (Circular IAPAR, 9).
- MUZILLI, O.; MUNHOZ, F.G.; SCOTTI, C.A. & KALCKMANN, R.E. Interpretação de análises de assistência. I - Correlação entre as análises de solos, os ensaios em vasos e os ensaios de campo - Milho 1968/69. R. Esc. Agron. Vet. Univ. Fed. Paraná, Curitiba, 5:7-16, 1969.
- RAIJ, B. van. A análise de potássio em solos para fins de determinação da adubação potássica; estado atual das pesquisas sobre o assunto no Brasil. s.n.t. 8p. Trabalho apresentado na VII Reunião Bras. de Fert. do Solo. Itabuna, BA, 11-16 setembro 1972. Mimeografado.
- RAIJ, B. van. Calibração do potássio trocável nos solos para feijão, algodão e cana-de-açúcar. Ci. e Cult., São Paulo, 26(6):579, 1974.
- ROUSE, R.D. Soil test theory and calibration for cotton, corn, soybeans and coastal bermudagrass. Ala, Auburn Univ., 1968. 67p. (Agr. Exp. Sta., Bull., 375).
- SILVA, N.M. Importância da seleção de glebas para estudos de adubação do algodoeiro. Campinas, Inst. Agron., 1971. 11p. (Boletim, 8). Proj. BNDE/ANDA/CIA.