

ENSAIOS DE ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NA CULTURA DO MILHO EM MINAS GERAIS. I. ANÁLISE PELA LEI DE MITSCHERLICH¹

FRANCISCO BAHIA², RICARDO MAGNAVACA³, HÉLIO L. DOS SANTOS⁴, JAIRO SILVA⁵,
ANTÔNIO F. C. BAHIA FILHO⁶, GONÇALO E. DE FRANÇA⁷,
ANTÔNIO M. MURAD⁸, ÁLVARO A. DE MACÊDO⁹, TÁCITO SILVA⁹ e EDGAR CUNHA FILHO¹⁰

SINOPSE.— Ensaios de adubação NPK na cultura do milho foram realizados no Estado de Minas Gerais nos anos agrícolas de 1967/68 a 1969/70, através de convênio celebrado entre o Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Oeste/Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico/Associação Nacional para Difusão de Adubos.

Os experimentos, em número de 23, foram instalados nas localidades de Patos de Minas, Guaraniésia, Pains, Passos, Guaxupé, Rosário de Minas e Coronel Pacheco, tendo os solos sido previamente analisados e identificados.

O delineamento experimental adotado foi o fatorial 3×3×3 com confundimento total da interação NPK, grupo W. Os níveis dos nutrientes estudados, em kg/ha, foram 0, 60 e 120 para N e P₂O₅ e 0, 30 e 60, para K₂O tendo sido utilizado em todos os ensaios o milho híbrido duplo Hmd 6999 B.

A análise da variância e o método de Mitscherlich foram aplicados na interpretação dos resultados, juntando-se os dados de produção referentes a solos do mesmo grande grupo. Na aplicação do método de Mitscherlich tomaram-se os preços médios do milho e dos adubos relativos a 1970, publicados pelo Boletim do Departamento de Estudos Rurais da Secretaria de Estado da Agricultura de Minas Gerais.

Os solos Latossolo Roxo Eutrófico, Laterítico Bruno-avermelhado, Mediterrânico Vermelho-amarelo e Aluvião mostraram efeito significativo para nitrogênio, com doses econômicas estimadas em 150, 75, 73 e 143 kg/ha, respectivamente. O "intergrade" Podzólico Vermelho-amarelo × Laterítico Bruno-avermelhado, o Latossolo Vermelho-escuro fase cerrado e o Latossolo Vermelho-amarelo Podzólico, apesar de terem apresentado efeito significativo para nitrogênio, não mostraram condições para estimular as doses econômicas.

Os solos Laterítico Bruno-avermelhado, Mediterrânico Vermelho-amarelo, Latossolo Vermelho-escuro fase cerrado e Aluvião indicaram efeito significativo para fósforo, com doses econômicas estimadas em 113, 81, 111 e 11 kg/ha, respectivamente. Para o Latossolo Vermelho-amarelo Podzólico verificou-se efeito significativo para fósforo, não tendo sido possível estimar a dose econômica.

O solo Latossolo Vermelho-amarelo Podzólico mostrou efeito significativo para potássio, com a dose econômica estimada em 89 kg/ha.

As respostas obtidas para fósforo confirmaram os resultados analíticos de solos.

INTRODUÇÃO

A cultura do milho no Brasil apresenta características que lhe conferem grande importância na economia nacional. A área plantada com milho é a maior entre as espécies cultivadas, cobrindo em 1969 mais de nove milhões de hectares (IBGE 1970). O cultivo do milho estende-se em maior ou menor escala do extremo sul

até ao norte do país e de leste a oeste, não sendo possível fazer-se zoneamento desta gramínea. Tem sido, de maneira geral, cultura de subsistência, de consumo na própria fazenda, ou de consumo interno, em razão de sua grande versatilidade e da tradição, pois foi cultivada pelos indígenas antes do descobrimento do Brasil.

¹ Pesquisador em Agricultura, Chefe da Seção de Fitotecnia e Genética do IPEACO e bolsista do CNPq.

² Eng.º Agrônomo da Seção de Solos do IPEACO e bolsista do CNPq.

³ Pesquisador em Agricultura, Chefe da Estação Experimental de Patos de Minas, Caixa Postal 135, Patos de Minas, Minas Gerais.

⁴ Eng.º Agrônomo da Cia. Hortícolas S.A., Igarapé, Minas Gerais. Anteriormente, Eng.º Agrônomo da Estação Experimental de Água Limpa, do IPEACO.

⁵ Pesquisador em Agricultura, Chefe da Seção de Estatística e Análise Econômica do IPEACO.

⁶ Pesquisador em Agricultura da Seção de Fitotecnia do IPEACO e bolsista do CNPq.

¹ Aceito para publicação em 27 nov. 1972.

² Eng.º Agrônomo, Auxiliar de Ensino da Cadeira de Agrologia da Escola Superior de Agricultura de Lavras, Caixa Postal 37, Lavras, Minas Gerais. Anteriormente, Eng.º Agrônomo da Seção de Solos do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Oeste (IPEACO).

³ Eng.º Agrônomo do Setor de Milho do IPEACO, Caixa Postal 151, Sete Lagoas, Minas Gerais e bolsista do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq).

⁴ Pesquisador em Agricultura da Seção de Solos do IPEACO e bolsista do CNPq.

Apesar do grande número de trabalhos de pesquisa já realizados com milho no país, os níveis de produtividade são muito baixos, sendo a média brasileira de aproximadamente 1,3 t/ha em 1969 (Fundação João Pinheiro 1971). Resultados experimentais em diferentes pontos do país têm demonstrado a alta capacidade genética de produção dos cultivares utilizados, o que contrasta com as produções médias observadas em grandes ou pequenas lavouras. Médias em torno de 7 t/ha são frequentes em experimentos, tendo sido já alcançadas produções superiores a este valor.

A grande variabilidade dos solos no país levou a Associação Nacional para Difusão de Adubos a promover, juntamente com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico, a realização de ensaios de adubação de milho no sul e sudeste do país, região que contribui com cerca de 80% da produção nacional (IBGE 1970).

Sayre (1955), em revisão da bibliografia sobre a nutrição mineral do milho, verificou grande variação no teor dos diversos elementos minerais nas folhas de diferentes cultivares, bem como em relação às exigências nutricionais da planta.

Munson e Doll (1959) apresentaram revisão sobre a economia do uso de fertilizantes, discutindo princípios e várias técnicas adotadas para a formulação nacional de adubos, entre as quais o método de Mitscherlich.

Gomes e Campos (1966), em retrospecto sobre resultados de ensaios de adubação de milho no Brasil, estimaram doses econômicas pela utilização da lei de Mitscherlich.

Trabalhando com 50 ensaios de adubação NPK 3×3×3 na cultura do milho no Estado de São Paulo, Campos (1967) concluiu que as estimativas de dose econômica através do método de Mitscherlich são muito mais precisas do que as obtidas através de superfícies de resposta. Indicou e discutiu alguns problemas estatísticos da aplicação de superfícies de resposta a ensaios de adubação.

Colyer e Kroth (1968) estimaram o nível ótimo de nitrogênio e de população de plantas de milho, durante sete anos, no Estado de Missouri, através de superfícies de resposta. O nível ótimo de N variou de 21,4 a 202,1 kg/ha e o nível ótimo de população de 12.189 a 54.134 plantas/ha. A estimativa média para os sete anos foi de 120 kg/ha de N e 37.787 plantas/ha.

Apresentando revisão sobre o destino do nitrogênio aplicado aos solos, Allison (1966) afirmou que raramente mais de 95% do nitrogênio aplicado é recuperado pela planta; recuperações de 70-90% são frequentes. Diversos fatores são discutidos com o objetivo de prover condições ideais para a rápida nitrificação de toda a amônia não assimilada diretamente pela planta, tais como: arejamento e drenagem do solo; aplicações apropriadas em cobertura conforme a necessidade; incorporação de fertilizantes nitrogenados ao solo em vez de aplicação na superfície; aplicações moderadas de fontes de amônia a fim de evitar bloqueio da nitrificação na fase de nitrato; aplicação de nitrogênio tantas vezes e em tais quantidades que a cultura possa utilizá-lo prontamente.

Leal e Alvahydo (1971), em estudo realizado com um Podzólico Vermelho-amarelo arenoso da Série Itaguaí observaram sensíveis perdas de nitrogênio amoniacal por percolação. Verificaram também que após dois meses da aplicação do sulfato de amônio todo o nitrogênio amoniacal foi nitrificado e que a maior parte do nitrogênio adicionado foi perdido na forma de NO_x.

Novais (1970), avaliando o comportamento de dois híbridos duplos comerciais de milho em três densidades

e três níveis de nitrogênio, em Patos de Minas, encontrou diferenças quanto aos dois fatores estudados, indicando que estes fatores devem ser estimados para cada cultivar. Não foi observado máximo na regressão de nitrogênio sobre a produção, tendo sido observado apenas efeito linear significativo com os níveis de 0, 80 e 160 kg de N/ha. O solo onde foram conduzidos os ensaios de Novais é do mesmo grande grupo dos solos utilizados para a área de Patos de Minas. Somente uma cobertura nitrogenada foi aplicada nestes ensaios.

A inexistência de carta de solos do Estado de Minas Gerais, bem como a escassez de resultados de adubação com a cultura do milho, induziram os autores do presente trabalho a estudar a adubação racional para a cultura do milho em diferentes locais, procurando-se indicar para cada tipo de solo os níveis econômicos de NPK.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos utilizados neste trabalho foram conduzidos em fazendas particulares, na sua grande maioria, nos anos agrícolas de 1967/68, 1968/69 e 1969/70, no Estado de Minas Gerais.

Foram conduzidos 30 ensaios, tendo sido utilizados 23 na interpretação dos resultados. A área experimental foi fixada para os três anos, tendo sido previamente realizada a análise química e a classificação dos solos ao nível de grande grupo, mediante a abertura de perfis ao lado das áreas experimentais.

O método de análise química de solos utilizado foi o proposto pelo "Soil Testing International Program", da "North Carolina State University". A classificação dos solos, ao nível de grande grupo, foi feita de acordo com os critérios utilizados pela Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo, conforme Camargo e Bennema (1966).

A classificação de solos ao nível de grande grupo e o número de ensaios utilizados para interpretação de resultados, por município, encontram-se no Quadro 1.

A análise química dos solos, de acordo com o grande grupo, local e número do experimento, constam do Quadro 2.

O delineamento experimental utilizado foi o fatorial 3×3×3, uma repetição por local com confundimento total da interação NPK, grupo W. A área total da parcela foi de 30 m² e a área útil de 15,60 m². As fileiras foram espaçadas de 1 m entre si, ficando duas plantas a cada 0,40 m, após o desbaste, utilizando-se portanto uma população de 50.000 plantas por hectare, população esta indicada para as diferentes regiões do Estado de Minas Gerais.

QUADRO 1. Municípios onde foram realizados os ensaios, grande grupo de solo e número de ensaios utilizados na interpretação dos resultados

Município	Grande grupo de solo	N.º de ensaios
Patos de Minas	Latossolo Roxo Eutrófico	12
Guaranésia	Laterítico Bruno-avermelhado	3
Páris	Mediterrânico Vermelho-amarelo (Furnas)	3
Rosário de Minas	Latossolo Vermelho-amarelo Podzólico	2
Passos	Latossolo Vermelho-escuro fase cerrado	1
Guaxupé	"Intergrade" Podzólico Vermelho-amarelo x Laterítico Bruno-avermelhado	1
Coronel Pacheco	Aluvião	1

QUADRO 2. Análise química dos solos das áreas experimentais, por grande grupo de solo e número do experimento

Locais e grandes grupos de solos	pH água	Al (mE/100/cm ³)	Ca + Mg (mE/100/cm ³)	K (ppm)	P (ppm)	M.O. (%)	N total (%)
Patos de Minas							
Latossolo Roxo Eutrófico	5,20	nihil	3,94	85	26	2,050	0,107
Latossolo Roxo Eutrófico	5,20	nihil	3,32	45	20	1,937	0,101
Latossolo Roxo Eutrófico	5,20	nihil	3,96	51	57	2,386	0,124
Latossolo Roxo Eutrófico	5,35	nihil	4,78	104	32	2,004	0,104
Guaranésia							
Laterítico Bruno-avermelhado	5,45	0,05	5,55	173	2	2,091	0,109
Pains							
Mediterrânico Vermelho-amarelo	5,30	0,20	5,83	103	2	1,679	0,036
Rosário de Minas							
Latossolo Vermelho-amarelo Podzóico	4,55	0,95	1,95	49	1	2,519	0,131
Passos							
Latossolo Vermelho-escuro fase cerrado	4,60	0,40	1,90	67	1	1,445	0,075
Guaxupé							
"Intergrade" Podzóico Vermelho-amarelo							
Laterítico Bruno-avermelhado	4,85	0,10	4,90	70	7	2,116	0,171
Coronel Pacheco							
Aluvião	4,10	0,95	3,85	113	5	1,342	0,070

Em todos os ensaios foi plantado o milho híbrido Hmd 6999 B, de grande capacidade de produção e adaptação.

As datas de plantio dos experimentos variaram de 20 de outubro a 10 de novembro no decorrer dos três anos. Nos sulcos de plantio foi aplicado o herbicida Gesaprim 50M e entre as fileiras foram realizados cultivos normais para a cultura de milho. Foram anotados os dados de "stand" inicial, "stand" final e produção de grãos. O nitrogênio foi parcelado, aplicando-se 1/3 da dose no plantio e 2/3 em cobertura, 45 dias depois.

Foram utilizadas as doses de 0, 60 e 120 kg de N/ha, na forma de sulfato de amônio, 0, 60 e 120 kg de P₂O₅/ha, na forma de superfosfato simples, e 0, 30 e 60 kg de K₂O/ha, na forma de cloreto de potássio.

Na interpretação dos resultados, os experimentos foram reunidos segundo o grande grupo de solos. Foram realizadas as análises da variância, individuais e conjuntas, segundo modelo de Gomes (1963). Foi empregado o método de Mitscherlich para o estudo econômico das doses de adubação, utilizando-se a fórmula de Gomes e Abreu (1959) para o cálculo da dose econômica:

$$x = \frac{1}{2} Xu + \frac{1}{c} \log \frac{W \cdot u}{t \cdot Xu}$$

onde Xu é a dose de nutriente aplicada, em quilograma, u é o aumento de produção observado, em quilograma, t é o preço de 1 quilograma do nutriente, W é o preço de 1 quilograma do produto agrícola e c é o coeficiente de eficácia. Na aplicação da fórmula para cálculo da dose econômica foi utilizado o coeficiente de eficácia

teórico c, sugerido por Gomes (1963), ou seja, c = 0,0088 hectare/quilograma para o fósforo e potássio e c = 0,0049 hectare/quilograma para o nitrogênio.

Na fórmula da dose econômica, o preço unitário do nutriente na região do experimento e o preço do milho pago ao produtor foram estimados com base em dados obtidos na região segundo o Departamento de Estudos Rurais (1970). Foram tomados os dados obtidos de janeiro a dezembro de 1970, estimando-se uma média de preço de 12 meses. Foram observadas as seguintes condições para a aplicação da equação de Mitscherlich:

$$\bar{Y}_0 < \bar{Y}_1 < \bar{Y}_2,$$

$$2 \bar{Y}_1 - (\bar{Y}_0 + \bar{Y}_2) > 0, e$$

$$\bar{Y}_1^2 - \bar{Y}_0 \times \bar{Y}_2 > 0.$$

Nas condições acima, \bar{Y}_0 , \bar{Y}_1 e \bar{Y}_2 representam as produções médias obtidas com as doses 0, 1 e 2 do elemento estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 3 acham-se os preços de tonelada de milho e de kg de N, P₂O₅ e K₂O tomados durante o ano de 1970 e de acordo com as regiões de condução dos ensaios.

Utilizaram-se nos ensaios os coeficientes teóricos de c = 0,0049 para N e c = 0,0088 para P₂O₅ e K₂O. No Quadro 4 encontram-se as doses econômicas estimadas pela utilização dos coeficientes.

QUADRO 3. Preços da t de milho e do kg de N, P₂O₅ e K₂O, em 1970, nas regiões de condução dos ensaios

Municípios	Milho em grãos (Cr\$/t)	N (Cr\$/kg)	P ₂ O ₅ (Cr\$/kg)	K ₂ O (Cr\$/kg)
Patos de Minas	220,00	1,80	1,60	0,74
Guaranésia	215,00	1,45	1,30	0,60
Pains	206,83	1,75	1,50	0,74
Rosário de Minas	233,33	1,80	1,55	0,74
Passos	215,00	1,45	1,30	0,60
Guaxupé	215,00	1,45	1,30	0,60
Coronel Pacheco	233,33	1,80	1,55	0,74

QUADRO 4. Doses econômicas de N, P₂O₅ e K₂O por grande grupo de solo

Grande grupo de solo	Doses econômicas (kg/ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Latossolo Roxo Eutrófico	150	—	—
Laterítico Bruno-avermelhado	75	113	—
Mediterrânico Vermelho-amarelo	73	81	—
Latossolo Vermelho-amarelo Podzólico	—	—	89
Latossolo Vermelho-escuro fase cerrado	—	111	—
"Intergrade" Podzólico Vermelho-amarelo x Laterítico Bruno-avermelhado	—	—	—
Aluvião	143	77	—

QUADRO 5. Médias de produção de grãos referentes às diferentes doses dos elementos para o Latossolo Roxo Eutrófico

Doses dos elementos	Médias de produção de grãos (kg/ha)					
	Nitrogênio	Índice	Fósforo	Índice	Potássio	Índice
0	3.769	100	5.109	100	5.070	100
1	5.327	141	5.224	102	5.179	102
2	6.442	171	5.205	102	5.288	104

Latossolo Roxo Eutrófico

No Quadro 5 encontram-se as produções médias obtidas em quatro locais durante três anos para um total de 12 ensaios.

A análise conjunta da variância para os 12 ensaios revelou efeitos altamente significativos para nitrogênio, a interação nitrogênio × experimento e nitrogênio quadrático. Não houve efeito significativo para a aplicação de fósforo e potássio (Quadro 6). A inexistência de respostas para o fósforo confirma os resultados da análise de solo (Quadro 2). Somente nitrogênio preencheu as condições para aplicação da fórmula de Gomes e Abreu (1959) e cálculo da dose econômica.

A dose econômica calculada, utilizando-se o coeficiente de eficácia obtido no experimento, $c = 0,0025$, foi de 237 kg de N/ha. Utilizando-se o coeficiente de eficácia teórico $c = 0,0049$ obteve-se a dose econômica de 150 kg/ha (Quadro 4).

A dose de 150 kg/ha é a mais aceitável em razão de o pequeno número de ensaios conduzidos nesta área não

QUADRO 6. Análise conjunta da variância, referente a 12 ensaios para o Latossolo Roxo Eutrófico

Efeitos	Q.M. ^a
N linear	312,75**
N quadrático	2,83*
P linear	0,44
P quadrático	0,26
K linear	2,17
K quadrático	0,00
N*P'	0,78
N*K'	1,09
P*K'	0,14
Exp. x N	4,02**
Exp. x P	0,47
Exp. x K	1,16

* = significativo ao nível de 5%, ** = significativo ao nível de 1%.

C.V. (a) = 8,91%, C.V. (b) = 10,27%.

QUADRO 7. Médias de produção de grãos referentes às diferentes doses dos elementos para o Laterítico Bruno-avermelhado

Doses dos elementos	Médias de produção de grãos (kg/ha)					
	Nitrogênio	Índice	Fósforo	Índice	Potássio	Índice
0	4.929	100	4.263	100	5.839	100
1	5.820	118	6.086	143	5.474	94
2	5.904	120	6.301	148	5.339	91

permitir uma boa estimativa do coeficiente de eficácia. Entretanto, o baixo coeficiente encontrado sugere que o nitrogênio aplicado deverá sofrer um maior parcelamento neste tipo de solo, permitindo melhor aproveitamento do adubo aplicado. A dose econômica de 150 kg/ha é concordante com os resultados obtidos por Novais (1970), trabalhando no mesmo tipo de solo.

QUADRO 8. Análise conjunta da variância, referente a três ensaios para o Laterítico Bruno-avermelhado

Efeitos	Q.M. ^a
N linear	30,92**
N quadrático	7,09
P linear	136,74**
P quadrático	28,55**
K linear	8,25
K quadrático	0,54
N'P'	0,04
N'K'	3,77
P'K'	0,47
Anos x N	1,42*
Anos x P	0,26
Anos x K	0,05

** = significativo ao nível de 5%, * = significativo ao nível de 1%.

C.V. (a) = 18,37%, C.V. (b) = 7,51%.

QUADRO 9. Médias de produção de grãos referentes às diferentes doses dos elementos para o Mediterrânico Vermelho-amarelo

Doses dos elementos	Médias de produção de grãos (kg/ha)					
	Nitrogênio	Índice	Fósforo	Índice	Potássio	Índice
0	2.609	100	2.487	100	3.070	100
1	3.327	128	3.397	137	3.224	105
2	3.782	145	3.833	154	3.423	111

QUADRO 10. Análise conjunta da variância, referente a três ensaios para o Mediterrânico Vermelho-amarelo

Efeitos	Q.M. ^a
N linear	45,14**
N quadrático	0,81
P linear	59,16**
P quadrático	2,42
K linear	4,21
K quadrático	0,03
N'P'	2,52
N'K'	2,74
P'K'	0,23
Anos x N	10,42**
Anos x P	9,08**
Anos x K	0,93

** = significativo ao nível de 5%, * = significativo ao nível de 1%.

C.V. (a) = 22,37, C.V. (b) = 25,35%.

Laterítico Bruno-avermelhado

No Quadro 7 encontram-se as produções médias de grãos obtidas em um local durante três anos.

Efeitos altamente significativos para nitrogênio linear, fósforo linear e quadrático e interação anos x nitrogênio foram encontrados através da análise da variância (Quadro 8).

As doses econômicas estimadas foram de 75 kg/ha para nitrogênio e 113 kg/ha para fósforo (Quadro 4). Estas doses estão dentro do limite das doses utilizadas.

Os resultados experimentais neste tipo de solo confirmam os resultados da análise química para fósforo (Quadro 2).

Mediterrânico Vermelho-amarelo (Furnas)

Os dados de produções médias obtidas em um local durante três anos acham-se no Quadro 9.

A análise de variância revelou efeitos altamente significativos para nitrogênio linear, fósforo linear e as interações anos x nitrogênio e anos x fósforo (Quadro 10). Verificou-se uma tendência de efeito linear para potássio, apesar de este não ter sido significativo.

Os resultados obtidos confirmam os resultados analíticos para fósforo.

As doses econômicas estimadas foram de 73 kg de N/ha e 81 kg de P₂O₅/ha, valores estes que se acham dentro dos limites das doses empregadas.

Latossolo Vermelho-amarelo Podzólico

São apresentadas no Quadro 11 as produções médias de grãos obtidas em um local durante dois anos.

Efeitos altamente significativos para fósforo quadrático e significativos para nitrogênio quadrático, fósforo linear, potássio linear e interação fósforo x potássio foram encontrados na análise da variância (Quadro 12).

Os resultados obtidos experimentalmente confirmam os resultados analíticos para fósforo e potássio.

Entretanto, somente para potássio foi possível o cálculo da dose econômica, uma vez que os dados de nitrogênio e fósforo não atenderam às condições para uso da fórmula.

A dose estimada foi de 89 kg de K₂O/ha, estando fora da amplitude das doses empregadas no experimento.

O efeito da interação fósforo x potássio e a dose extrapolada restringem a generalização do resultado encontrado.

As doses econômicas para nitrogênio e potássio estariam próximas da dose 1. Para uma estimativa correta seriam necessários ensaios com um maior número de

QUADRO 11. Médias de produção de grãos referentes às diferentes doses dos elementos para o Latossolo Vermelho-amarelo Podzólico

Doses dos elementos	Médias de produção de grãos (kg/ha)					
	Nitrogênio	Índice	Fósforo	Índice	Potássio	Índice
0	3.224	100	2.519	100	2.878	100
1	3.641	113	3.827	152	3.250	113
2	2.840	88	3.506	139	3.577	124

QUADRO 12. Análise conjunta da variância, referente a dois ensaios para o Latossolo Vermelho-amarelo Podzólico

Efeitos	Q.M.*
N linear	3,30
N quadrático	10,70*
P linear	15,39*
P quadrático	23,17**
K linear	10,78*
K quadrático	0,01
N'P'	3,83
N'K'	0,33
P'K'	7,16*
Anos x N	1,35
Anos x P	0,75
Anos x K	0,04

* = significativo ao nível de 5%, ** = significativo ao nível de 1%.
C.V. (a) = 30,09%, C.V. (b) = 4,55%.

níveis dentro dos limites usados. Os efeitos quadráticos altamente significativos para os dois elementos confirmam esta necessidade.

Aluvião

Neste solo foi realizado um ensaio durante um ano. Os dados de produções médias encontram-se no Quadro 13.

Houve efeitos altamente significativos para nitrogênio linear, fósforo linear e significativo para a interação nitrogênio x fósforo (Quadro 14).

Estas respostas confirmam os resultados analíticos para fósforo e potássio.

A estimativa das doses econômicas apresenta alguma restrição na sua generalização em virtude da interação nitrogênio x fósforo.

As doses econômicas encontradas foram de 143 kg/ha para o nitrogênio e 77 kg/ha para o fósforo.

QUADRO 13. Médias de produção de grãos referentes às diferentes doses dos elementos para o solo de Aluvião

Doses dos elementos	Médias de produção de grãos (kg/ha)					
	Nitrogênio	Índice	Fósforo	Índice	Potássio	Índice
0	2.147	100	2.724	100	3.237	100
1	3.545	166	3.634	133	3.525	109
2	4.513	210	3.846	141	3.448	107

QUADRO 14. Análise da variância referente a um ensaio para o solo de Aluvião

Efeitos	Q.M.*
N linear	61,23**
N quadrático	0,65
P linear	13,80**
P quadrático	1,76
K linear	0,50
K quadrático	0,50
N'P'	8,50*
N'K'	2,92
P'K'	2,08

* = significativo ao nível de 5%, ** = significativo ao nível de 1%.
C.V. = 19,77%.

"Intergrade" Podzólico Vermelho-amarelo x Laterítico Bruno-avermelhado

As produções médias de grãos obtidas em um local em um ano acham-se no Quadro 15.

A análise de variância revelou efeito significativo apenas para nitrogênio linear, não havendo efeito para fósforo e potássio (Quadro 16). Estes resultados discordam dos resultados analíticos para fósforo e potássio.

Não foi feito o cálculo da dose econômica por não terem sido satisfeitas as condições necessárias.

As doses de nitrogênio utilizadas foram insuficientes para a estimativa do nível econômico, havendo necessidade de ensaios com doses mais elevadas.

QUADRO 15. Médias de produção de grãos referentes às diferentes doses para o "intergrade" Podzólico Vermelho-amarelo x Laterítico Bruno-avermelhado

Doses dos elementos	Médias de produção de grãos (kg/ha)					
	Nitrogênio	Índice	Fósforo	Índice	Potássio	Índice
0	4.173	100	4.391	100	4.692	100
1	4.602	110	4.848	110	4.506	96
2	5.070	121	4.609	105	4.647	99

QUADRO 16. Análise da variância referente a um ensaio para o "intergrade" Podzólico Vermelho-amarelo X Laterítico Bruno-avermelhado

Efeitos	Q.M. ^a
N linear	8,83*
N quadrático	0,00
P linear	0,52
P quadrático	1,79
K linear	0,02
K quadrático	0,38
N*P	0,18
N*K'	1,94
P*K'	0,55

* = significativo ao nível de 5%, ** = significativo ao nível de 1%.
C.V. = 13,33%.

QUADRO 17. Médias de produção de grãos referentes às diferentes doses dos elementos para o Latossolo Vermelho-escuro, fase cerrado

Doses dos elementos	Médias de produção de grãos (kg/ha)					
	Nitrogênio	Índice	Fósforo	Índice	Potássio	Índice
0	3.840	100	3.301	100	4.442	100
1	5.160	134	4.807	146	4.673	105
2	4.865	127	5.762	175	4.750	107

QUADRO 18. Análise da variância referente a um ensaio para o Latossolo Vermelho-escuro, fase cerrado

Efeitos	Q.M. ^a
N linear	11,50*
N quadrático	9,53
P linear	66,66**
P quadrático	1,10
K linear	1,05
K quadrático	0,09
N*P	3,68
N*K'	2,97
P*K'	0,38

* = significativo ao nível de 5%, ** = significativo ao nível de 1%.

C.V. = 21,50%.

Latossolo Vermelho-escuro fase cerrado

Os resultados obtidos em um local durante um ano são apresentados no Quadro 17.

Houve efeito altamente significativo para fósforo linear e significativo para nitrogênio linear, não se verificando nenhum efeito para o potássio (Quadro 18).

A resposta obtida para fósforo confirma o resultado da análise do solo.

Não foi possível a obtenção da estimativa econômica para nitrogênio pelo método escolhido. No Quadro 17, entretanto, verifica-se que a dose 1 foi suficiente para a nutrição do milho. Neste caso, a dose econômica estaria próxima de 1, o que corresponde a 60 kg/ha.

Para o fósforo a dose econômica foi estimada em 111 kg de P_2O_5 /ha.

CONCLUSÕES

Do exposto pode-se concluir que, nas condições em que os experimentos foram realizados:

1) a dose econômica de nitrogênio para o Latossolo Roxo Eutrófico foi de 150 kg/ha; a baixa eficiência do adubo nitrogenado sugere estudos sobre o seu fracionamento;

2) houve resposta a nitrogênio e fósforo no Laterítico Bruno-avermelhado sendo as suas doses econômicas estimadas 75 kg de N/ha e 113 kg de P_2O_5 /ha;

3) houve resposta à aplicação de nitrogênio e fósforo no Mediterrânico Vermelho-amarelo, sendo as doses econômicas de 73 kg de N/ha e 81 kg de P_2O_5 /ha;

4) no Latossolo Vermelho-amarelo Podzólico houve respostas a nitrogênio, fósforo e potássio; somente foi possível estimar a dose econômica para potássio em 89 kg de K_2O /ha, sendo que as de nitrogênio e fósforo devem estar próximas de 60 kg de N/ha e 60 kg de P_2O_5 /ha;

5) foram obtidas respostas para nitrogênio e fósforo no solo Aluvião, sendo as doses econômicas estimadas em 143 kg de N/ha e 77 kg de P_2O_5 /ha;

6) o solo "intergrade" Podzólico Vermelho-amarelo X Laterítico Bruno-avermelhado somente respondeu a nitrogênio. Entretanto, não foi possível estimar a dose econômica;

7) respostas a fósforo e nitrogênio foram verificadas no Latossolo Vermelho-escuro fase cerrado, sendo a dose econômica para fósforo estimada em 111 kg/ha; para nitrogênio não foi possível o cálculo, estando em torno de 60 kg de N/ha;

8) as respostas obtidas para fósforo confirmaram os resultados da análise dos solos.

A análise dos solos indicou para potássio teores médios de 61 a 120 ppm, embora não tenha havido respostas em todos os experimentos.

Houve respostas generalizadas a nitrogênio nos experimentos. Não se considerou para efeito comparativo o teor do elemento no solo dado pela análise química.

Estes resultados foram obtidos com a população de 50.000 plantas/ha.

ACRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração do Engenheiro Agrônomo Célio Landi Pereira e do Técnico Agrícola Heli Gaudêncio Costa, da ACAR; do Engenheiro Agrônomo Dalmo Teles, da Secretaria de Agricultura do Estado de Minas Gerais; do Técnico Agrícola Geraldo Rodrigues, da Estação Experimental de Patos de Minas, do IPEACO, e de Geraldo Fabiano Horta de Avelar, responsável pelo serviço de datilografia.

REFERÊNCIAS

- Allison, F.E. 1966. The fate of nitrogen applied to soils. *Adv. Agron.* 18:219-258.
- Campos, H. de 1967. Aspectos da aplicação das superfícies de resposta a ensaios fatoriais 3ª. Tese, Piracicaba, S. Paulo. 82 p.
- Camargo, M.N. & Bennema, J. 1966. Delimitação esquemática dos solos do Brasil. *Pesq. agropec. bras.* 1:47-54.
- Colyer, D. & Kroth, E.M. 1968. Corn yield response and economic optima for nitrogen treatments and plant population over a seven year period. *Agron. J.* 60:524-529.
- Departamento de Estudos Rurais. 1970. Informativo estatístico de Minas Gerais. Bolm 56 a 67, Secret. Est. Agric. Minas Gerais.
- Fundação João Pinheiro. 1971. Diretrizes para aplicação do crédito em Minas Gerais. Belo Horizonte. 329 p.
- Gomes, F.P. 1963. Curso de estatística experimental. 2.ª ed. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz, Piracicaba, S. Paulo. 384 p.
- Gomes, F.P. & Abreu, C.P. 1959. Sobre uma fórmula para o cálculo da dose mais econômica de adubo. *Anais Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz, Piracicaba*, 16:191-198.
- Gomes, F.P. & Campos, H. de 1966. Resultados de ensaios de adubação, p. 429-449. In Krug, C.A. *et al.* (ed.) *Cultura e adubação do milho*. Instituto Brasileiro de Potassa Experimentação e Pesquisa, São Paulo.
- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. 1970. Anuário estatístico do Brasil, agricultura, Rio de Janeiro (Brasil). Rio de Janeiro, p. 130.
- Leal, J.R. & Alvahydo, R. 1971. Transformação e deslocamento do íon amônio em solo da Série Itaguaí. *Pesq. agropec. bras., Sér. Agron.*, 6:129-135.
- Munson, R.D. & Doll, J.P. 1959. The economics of fertilizer use in crop production. *Adv. Agron.* 11:133-169.
- Novais, R.F. de 1970. Comportamento de dois milhos híbridos (*Zea mays* L. cultivares: Ag. 206 e H 6999) em três densidades de plantio e três níveis de nitrogênio. Tese de M.S., Univ. Fed. Viçosa. 63 p.
- Sayre, J.D. 1955. Mineral nutrition of corn, p. 293-314. In Sprague, C.F. (ed.) *Corn and corn improvement*. Academic Press, New York.

ABSTRACT.- Bahia, F.; Magnavaca, R.; Santos, H.L. dos; Silva, J.; Bahia Filho, A.F.C.; França, G.E. de; Murad, A.M.; Macêdo, A.A. de; Silva, T.; Cunha Filho, E. [NPK fertilization experiments on corn in Minas Gerais State.]. Ensaios de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio na cultura do milho em Minas Gerais. I. Análise pela lei de Mitscherlich. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia* (1973) 8, 231-238 [Pt. en] IPEACO, Caixa Postal 151, Sete Lagoas, MG, Brazil.

NPK field experiments on corn were carried out in the State of Minas Gerais during 1967/70 under an agreement signed by IPEACO/BNDE/ANDA. The experiments, 23 in total, were conducted at seven different sites in Minas Gerais: Patos de Minas, Guaranésia, Pains, Passos, Guaxupé, Rosário de Minas and Coronel Pacheco. Soils in all experimental areas were chemically analysed and classified.

The experimental design used was 3x3x3 factorial with interaction for NPK totally confounded, group W. Fertilizers were applied at rates of 0, 60, 120 kg N/ha; 0, 60, 120 kg P₂O₅/ha; 0, 30, 60 kg K₂O/ha. Hmd 6999 B double cross hybrid corn was used in all experiments.

Analysis of variance and the Mitscherlich method of economic analysis were used in interpreting the results. For the analysis, results from the same great soil group were combined. In applying the Mitscherlich method the average prices for corn and fertilizers in 1970, published by "Departamento de Estudos Rurais" of the "Secretaria de Estado da Agricultura de Minas Gerais", were used.

The experiments on the "Roxo" Entrofic Latosol, the Reddish-brown Lateritic soil, the Yellow Mediterranean soil and the Aluvial soil show significant effects for nitrogen, with economic returns from 150, 75, 73 and 143 kg N/ha, respectively.

Even though the experiments on the Yellow-red podzolic Intergrade, the Reddish-brown Lateritic soil, the Dark Red Latosol (Cerrado phase) and the Yellow-red Podzolic Latosol showed significant effects for nitrogen, conditions were not provided for estimating economic levels.

The experiments on the Reddish-brown Lateritic soil, the Yellow-red Mediterranean soil, the Dark Red Latosol (Cerrado phase), and the alluvial soil responded significantly to phosphorus, economic levels were 113, 81, 111, and 97 kg P₂O₅/ha, respectively. A significant effect for phosphorus was found for the Yellow Red Podzolic. However, it was impossible to check the economic response level on this soil.

The experiment on the Yellow Red Podzolic Latosol responded significantly to potassium and the economic level was 89 kg K₂O/ha.

Responses obtained with phosphorus fertilization correlate with soil analysis for this element.