

EFEITOS DE DOSES NÃO EQUIDISTANTES DE N, P, K NAS
CONCENTRAÇÕES DESTES MACRONUTRIENTES NA FOLHA E
NA PRODUÇÃO DO MILHO (*Zea mays* L.)*

ANDRÉ MARTIN LOUIS NEPTUNE**
JULIO NAKAGAWA***
LUIZ CARLOS SCOTTON****
EUCLIDES A. DE SOUZA*****

RESUMO

Os experimentos foram conduzidos, em um podzólico de Lins e Marília - variação Lins, de textura barrento-arenosa, localizado no Município de Monte Azul Paulista, SP. O híbrido de milho duplo H-6999B foi utilizado.

Cada experimento constou de 5 trata-

-
- * Agradecimentos são devidos ao Sr. Benedito Fernandes (funcionário), pela ajuda na instalação dos experimentos. Entregue para publicação em 21/12/1982
- ** Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes. E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.
- *** Departamento de Ciências do Solo, UNESP, Botucatu.
- **** SAGRA-Nordeste S.A. - Agro Industrial. Salvador, BA.
- ***** Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, UNESP.

mentos e de 4 repetições. Os níveis de nitrogênio foram: 0, 50, 100, 200 e 400 kg/ha, sendo aplicados também 90 kg/ha de P_2O_5 e 50 kg/ha de K_2O .

Os níveis de fósforo foram: 0, 40, 80, 160 e 320 kg/ha de P_2O_5 , sendo aplicados também 100 kg/ha de N e 50 kg/ha de K_2O .

Os níveis de potássio foram: 0, 25, 50, 100 e 200 kg/ha de K_2O , sendo aplicados também 100 kg/ha de N e 90 kg/ha de P_2O_5 .

A aplicação tanto das doses de fósforo como das de nitrogênio fez aumentar a produção de milho, a qual foi da ordem de 3 a 7 vezes superior à média de produção do Estado de São Paulo.

A dose econômica e a sua consequente produção, determinadas pelas equações de Mitscherlich-Pimentel Gomes foram: para o fósforo, de 253 kg/ha de P_2O_5 correspondente a uma produção de 6.877 kg/ha de milho em grão; para o nitrogênio, foi de 228 kg/ha de N correspondente a uma produção de 11.100 kg/ha de milho e para o potássio, foi de 62 kg/ha de K_2O correspondente a uma produção de 9.252 kg/ha de milho.

Os níveis críticos econômicos, nas folhas, determinados pelas equações de MALAVOLTA & PIMENTEL GOMES (1961) e correspondentes às doses econômicas, foram de: 0,293% de P, de 3,27% de N e de 2,07% de K.

A folha escolhida, ou seja, aquela oposta à espiga mais alta, reflete bem o estado nutricional da planta e consequentemente o nível de fertilidade do solo.

INTRODUÇÃO

Para se estabelecer os níveis críticos dos nutrientes N, P e K, um dos caminhos consiste em analisar as folhas dos milharais produtivos, as dos de produção média e as daquelas de baixa produção. Admite-se, como primeira aproximação, que os milharais muito produtivos, com um bom estado nutricional, devem atingir ou estar acima do nível crítico para cada nutriente.

Comparando os resultados das análises das folhas de milharais sob condições de diferentes níveis de fertilidade de solo, tem-se os níveis de nutrientes a serem atingidos para colocar as plantas nas melhores condições possíveis à sua nutrição com fins a uma ótima produção. Partindo desta premissa, conduz-se em plantações onde existem carências de nutrientes, experimentos de adubação do tipo fatorial NPK: 2^3 ou 3^3 . Relacionando teores de nutrientes nas folhas com a produção obtida, nos diversos tratamentos, pode-se saber que quantidades de nutriente necessita ser adicionada ao solo para atingir o nível crítico e conseqüentemente a produção desejada; desse modo podem ser feitas as correções necessárias para as plantações de milho no tipo de solo daquela região.

Um outro caminho consiste em se instalar, de início, experimentos fatoriais ou experimentos com doses não equidistantes dos nutrientes como fez DUMENIL (1961); neste último caso faz-se variar um elemento mantendo-se os demais. Após estabelecer os níveis críticos correspondentes a uma produção econômica, realiza-se o levantamento nutricional dos milharais da região.

O emprego de doses não equidistantes, além de apresentar vantagem em relação ao cálculo dos parâmetros A, b e c da equação Mitscherlich (NOGUEIRA, 1960; NOGUEIRA *et alii*, 1963), nos permite saber quando a planta atinge a sua plena capacidade produtiva dentro das condições climáticas nas quais se realizaram os experimentos.

O objetivo deste trabalho consistiu em estabelecer as doses ótimas de nitrogênio, fósforo e potássio que

permitem obter o rendimento máximo econômico como também as concentrações dos elementos nas folhas correspondentes aquelas doses.

MATERIAL E MÉTODO

O solo utilizado nestes experimentos é um Podzólico de Lins e Marília, variedade Lins, cujas características podem ser vistas em NEPTUNE (1977). Este solo apresenta um valor pH 5,9 favorável ao desenvolvimento da cultura do milho, teor baixo de fósforo (0,108 e.mg/100g solo de PO_4^{3-} ou 1,11 mg/100g de solo de P ou 11 ppm de P) e teor alto em K trocável (0,305 e.mg K^+ /100g de solo ou 11,9 mg K^+ /100g de solo ou 119 ppm de K).

O híbrido duplo H-6999 foi utilizado.

Experimento com doses não equidistantes de fósforo (ano agrícola 1964-1965)

Os níveis de fósforo foram: P_0 , P_1 , P_2 , P_4 e F_8 , correspondentes a 0, 40, 80, 160 e 320 kg/ha de P_2O_5 e a 0, 200, 400, 800, 1.600 kg/ha de superfosfato simples, respectivamente.

As quantidades de nitrogênio e de potássio aplicadas foram mantidas constantes e correspondem a 100 kg/ha de N na forma de 500 kg de sulfato de amônio e a 50 kg/ha de P_2O_5 , na forma de 83,33 kg de cloreto de potássio.

Experimentos com doses não equidistantes de nitrogênio e potássio (ano agrícola 1965-1966)

Os níveis de nitrogênio foram: N_0 , N_1 , N_2 , N_4 e N_8 , correspondentes a 0, 50, 100, 200 e 400 kg/ha de N. A quantidade de fósforo aplicada foi de 80 kg/ha de P_2O_5 e a de potássio foi de 50 kg/ha de K_2O .

Os níveis de potássio foram: K_0 , K_1 , K_2 e K_8 , correspondentes a 0, 25, 50, 100 e 200 kg/ha de K_2O . O nitrogênio e o fósforo foram aplicados nas quantidades de 100 kg/ha de N e de 80 kg/ha de P_2O_5 .

As fontes dos adubos foram as mesmas para todos os experimentos. No caso do sulfato de amônio, aplicou-se 1/3 no plantio e 2/3 em cobertura 40 dias após o plantio. No caso do superfosfato simples e do cloreto de potássio, eles foram aplicados no plantio, em sulco, juntos com 1/3 do sulfato de amônio.

O delineamento dos experimentos foi o de blocos ao acaso com 5 tratamentos de acordo com os níveis dos elementos N ou P ou K, com 4 repetições.

A área de cada parcela foi de $48m^2$ (4m x 12m) e cada uma delas constava de 4 linhas com espaçamento de 1m entre linha e 0,25 m entre plantas após o desbaste.

Após a preparação do solo, aração com arados de discos à uma profundidade de 20 cm, procedeu-se a sua amostragem para análise química e a seguir foram locados os experimentos.

As semeaduras foram feitas em 20 de novembro de 1964 para o experimento com doses de fósforo e em 27 de dezembro de 1965 para os experimentos com doses de nitrogênio e de potássio.

A amostragem de folhas para diagnose foliar foi efetuada, em 8 de fevereiro de 1965 e em 19 de março de 1966, respectivamente, para os experimentos com fósforo e aqueles com doses de nitrogênio e de potássio. A folha escolhida foi aquela oposta à espiga mais alta correspondente à 7ª folha a partir da panícula. Foram tomadas 20 (vinte) folhas no aparecimento da inflorescência masculina, das quais foram retirados os 30 cm centrais da lâmina eliminando-se a nervura principal. O restante do processo até a determinação de N total, P total e K total está descrito em NEPTUNE (1977).

A colheita das 2 linhas centrais de cada parcela foi feita em 12 de maio de 1965 e 18 de maio de 1966. As espigas foram colocadas em sacos de pano, desgranadas, determinando-se a percentagem de umidade em amostras compostas de cada tratamento, no aparelho Steinlite, da Electronic Tester. Os cálculos de produção de milho em grão foram feitos em base a 14% de umidade. Amostras de grãos de milho de cada parcela, após secas em estufa a 70°C foram moidas e analisados para N, P e K (veja - se NEPTUNE, 1977).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento com doses não equidistantes do fósforo (ano agrícola 1964-1965)

Os resultados deste experimento encontram-se nas Tabelas 1 e 2. Incluímos um tratamento T (sem adubo) que deveria refletir o nível de fertilidade daquele solo.

Os teores em % do P total encontram-se na Tabela 1. Verifica-se que estes teores variaram de 0,184% para a planta testemunha a 0,288% para a parcela que recebeu 320 kg de P_2O_5 /ha. TYNER (1947) encontrou que o teor de P varia de 0,233% a 0,307%. Os contrastes significativos ao nível de 1% de probabilidade são: P_8 e P_1 , P_8 e P_0 , P_8 e T, P_4 e P_0 , P_4 e T, P_2 e T e aqueles significativos ao nível de 5% de probabilidade são: P_4 e P_2 , P_2 e P_0 , P_1 e T.

Observa-se também um aumento progressivo nos teores de P de maneira geral e nota-se uma certa influência do nitrogênio aplicado (tratamento P_0) sobre o fósforo do solo, embora pela análise estatística não se tenha diferença significativa entre P_0 e T. Este fato foi sugerido por BENNET et alii (1953) os quais encontraram teores de fósforo variando de 0,173% a 0,320% nas folhas de milho sem aplicação de nitrogênio e teores de 0,206 a 0,331% daquele elemento com a aplicação de 80kg/ha de nitrogênio.

No que diz respeito ao teor de N nas folhas (Tabela 1), há uma variação de 2,24% para a planta testemunha até 3,17% para os tratamentos P₂ e P₈. Os tratamentos que diferiram entre si ao nível de 1% de probabilidade são: P₄ e T, P₂ e T e aqueles que diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade foram, além dos já citados, os seguintes: P₁ e T, P₀ e T, e P₃ e T. Houve mesmo resposta ao nitrogênio e uma leve interação favorável entre N e P, que permitiu um aumento no teor de nitrogênio.

Em relação ao teor de K nas folhas (Tabela 1), não houve diferença significativa entre os tratamentos. O teor de potássio para a testemunha foi de 1,243% e variou de 1,323% para 1,510% para os demais tratamentos. O nível crítico proposto por TYNER (1946) como tentativa, foi de 1,30% de K, o qual corresponde ao teor encontrado na testemunha. O solo do local do experimento continha 352 kg/ha de K⁺, extraído com HNO₃ 0,05N. ELLIS *et alii* (1956) encontraram uma relação bastante estreita entre teor de K nas folhas de milho e teor de K⁺ no solo. Concluíram estes pesquisadores que em solos com quantidade menor do que 200 kg/ha de K⁺, encontra-se teor de potássio na folha menor do que 1,30%. No que diz à produção, os contrastes significativos ao nível de 1% de probabilidade são: P₈ e P₁, P₈ e P₀ e T, P₄ e P₁ e T, P₁ e T e aqueles ao nível de 5% de probabilidade são P₈ e P₂. Como se pode verificar houve excelente resposta à adubação fosfatada (Tabela 2).

O aumento de produção (Tabela 2) foi calculado subtraindo a produção obtida de cada uma das doses de fósforo do tratamento P₀ (sem fósforo). O fator de utilização de um nutriente (TYNER & WEBB, 1946), pode ser definido como a quantidade em kg do mesmo exigido para produzir um aumento de uma unidade na produção. É de se notar (Tabela 2) que a aplicação de 40 kg de P₂O₅/ha determinou um aumento de 784,1 kg de milho em grão; isso representa um valor de 0,051 para o fator de utilização do fósforo indicando um mais eficiente uso do fósforo aplicado; ou seja, foi necessário 0,051 kg de P₂O₅ para pro-

Tabela 1 - Porcentagem de P total, de N total e de K total na folha de milho adu-
bado com doses não equidistantes de fósforo.

Elemento (%)	Tratamentos							
	T	P ₀ NK	P ₁ NK	P ₂ NK	P ₄ NK	P ₈ NK		
P	0,184	0,205	0,227	0,245	0,274	0,288		
N	1,98	3,03	3,08	3,17	2,99	3,17		
K	1,243	1,457	1,510	1,427	1,443	1,323		
Para P: dms (5%):	0,034	-	F = 33,77	Ft = 5,64 - C.V. = 5,03%				
Para N: dms (5%):	0,690	-	F = 6,30	Ft = 5,64 - C.V. = 8,30%				
Para K: dms (5%):	0,280	-	F = 1,63NS	C.V. = 6,99%				

duzir 1 kg de milho em grão. Observa-se que a medida que aumenta a dose de fósforo diminui a eficiência do adubo fosfatado, exceto quando aplicou-se 200 kg/ha de P_2O_5 , o fator de utilização foi de 0,062. O fator de utilização indica a taxa de aproveitamento do adubo, sem considerar porém a parte econômica da questão.

Tabela 2 - Produção de milho em grão (kg/ha) adubado com doses não equidistantes de fósforo, incremento de produção e fator de utilização do fósforo aplicado.

Tnatamentos	Prod. Média em kg/ha	Aum. prod. em kg/ha	Fator de utilização
T	1.748,0	-	-
P ₀ NK	3.977,2	-	-
P ₁ NK	4.761,3	784,1	0,051
P ₂ NK	5.194,7	1.217,5	0,066
P ₄ NK	6.547,0	2.569,8	0,062
P ₈ NK	7.034,0	3.056,8	0,105

Houve uma correlação positiva e significativa ($r = 0,699^{**}$) ao nível de 1% entre teor em % de P e a produção.

Experimento com doses não equidistantes de nitrogênio (ano agrícola 1965-1966)

Os resultados deste experimento encontram-se nas Tabelas 3 e 4.

Os teores em % de N total nas folhas (Tabela 3) aumentam com as diferentes doses de nitrogênio. O teor variou de 1,96% para o tratamento N₀ até 3,29% para o tratamento N₈. Todos os tratamentos diferem da testemunha ao nível de 1% de probabilidade. Houve diferença signi-

ficativa ao nível de 5% de probabilidade entre o tratamento N₈ e N₂ e o N₄ e N₂. Em relação à % de P na folha (Tabela 3), observa-se que as concentrações deste nutriente aumentam com as doses de nitrogênio, chegando a acusar diferença significativa entre tratamentos. Os contrastes significativos ao nível de 1% de probabilidade são: N₈ e N₁, N₈ e N₀, N₄ e N₁, N₄ e N₀ e ao nível de 5% de probabilidade: N₄ e N₂, N₈ e N₂. Os teores em % de P situam-se entre 0,232% para o tratamento N₀ e 0,260% e 0,266% para os tratamentos N₄ e N₈, respectivamente. Quanto ao potássio, não houve diferença significativa entre os tratamentos e os teores situam-se entre 2,08%, teores estes muito mais altos que os apresentados na Tabela 3. Isso talvez seja devido ao alto nível de K⁺ no solo do local deste experimento (0,37 e.mg/100g de solo).

Tabela 3 - Porcentagens de N total, P total e K total na folha de milho adubado com doses não equidistantes de nitrogênio.

Elemento %	Tratamentos				
	N ₀ PK	N ₁ PK	N ₂ PK	N ₄ PK	N ₈ PK
N	1,96	2,28	2,87	3,12	3,29
P	0,232	0,232	0,243	0,260	0,266
K	2,080	2,08	2,13	2,12	2,18
Para N: dms (5%): 0,24% - F = 107,34** Ft = 5,06 - CV=4,04%					
Para P: dms (5%): 0,015 - F = 22,81** Ft=5,41 - CV=2,66%					
Para K: dms (5%): F = 0,38NS CV=6,23%					

No que diz respeito à produção (Tabela 4), ela aumentou com as doses de nitrogênio. Os contrastes significativos ao nível de 1% de probabilidade são: N₈ e N₂, N₈ e N₁, N₈ e N₀, N₄ e N₁, N₄ e N₀, N₂ e N₁, N₂ e N₀,

N_1 e N_0 e ao nível de 5% de probabilidade: N_4 e N_2 . Não houve diferença significativa entre N_8 e N_4 .

Tabela 4 - Produção de milho em grão (kg/ha) adubado com doses não equidistantes de nitrogênio, incremento de produção e fator de utilização do nitrogênio aplicado.

Tratamentos	Produção média em kg/ha	Aumento de produção em kg/ha	Fator de utilização
PKN ₀	4.746,6	-	-
PKN ₁	6.440,0	1.693,4	0,029
PKN ₂	9.643,0	4.896,4	0,020
PKN ₄	11.303,3	6.556,7	0,030
PKN ₈	11.586,6	6.840,0	0,058

Houve uma correlação positiva e significativa ($r = 0,982^{***}$) entre teor em % de N e produção.

O incremento da produção com as diferentes doses de nitrogênio, como também os fatores de utilização deste nutriente em relação às doses são mostradas na Tabela 4. Houve uma melhor utilização do nitrogênio com a dose de 100 kg de N/ha.

Experimento com doses não equidistantes do potássio (ano agrícola 1965-1966)

Os resultados deste experimento encontram-se nas Tabelas 5 e 6.

Em relação aos teores em % de N, P e K (Tabela 5),

Tabela 5 - Percentagens de K total, N total e P total na folha de milho adubado com doses não equidistantes de potássio.

Elementos %	Tratamentos				
	K ₀ NP	K ₁ NP	K ₂ NP	K ₄ NP	K ₈ NP
K	2,03	2,10	2,06	2,12	2,19
N	3,08	2,80	3,08	2,90	2,84
P	0,260	0,250	0,250	0,246	0,240
Para K,	F = 1,14 N.S.		C.V. = 5,30%		
Para N,	F = 1,05 N.S.		C.V. = 8,84%		
Para P,	F = 1,94 N.S.		C.V. = 4,17%		

não houve diferença significativa entre os tratamentos, apesar disso observa-se uma diminuição nos teores de N e P nas doses de 100 kg K₂O (K₄) e 200 kg K₂O (K₈). Os teores em K na folha mantêm-se no mesmo nível do experimento anterior, sugerindo que a quantidade de K⁺ existente no solo do local deste experimento é mais do que suficiente para satisfazer as exigências de milho em potássio. Por outro lado, o solo do local dos dois experimentos anteriores acusa 425 kg/ha de K⁺ à profundidade de 0-20 cm, e vem ao encontro da afirmativa de BRAY (1945) de que o solo para o bom desenvolvimento do milho necessita de 400 kg de K/ha.

No que diz respeito à produção do milho em grão, (Tabela 6), os contrastes significativos entre as médias de tratamentos ao nível de 1% de probabilidade são K₂ e K₀ e a 5% de probabilidade, além das já citadas são: K₄ e K₀. Houve um efeito depressivo do potássio sobre a produção com as doses de 100 kg e 200 kg K₂O/ha. Como nos outros experimentos com doses não equidistantes de N e P, calculou-se também no caso das doses de potássio a fator de utilização (Tabela 6).

Tabela 6 - Produção de milho em grão (kg/ha) adubado com doses não equidistantes de potássio, incremento de produção e fator de utilização do potássio aplicado.

Tratamentos	Produção média em kg/ha	Aumento de produção em kg/ha	Fator de utilização
K ₀	7.846,0	-	-
K ₁	8.726,6	880,0	0,028
K ₂	9.409,9	1.563,3	0,032
K ₄	9.296,6	1.450,0	0,069
K ₈	9.260,0	1.413,0	0.041

Houve uma melhor utilização do potássio com a dose de 25 kg/ha de K₂O.

Cálculo da dose econômica de P, N e K

Para estabelecer a dose econômica dos três nutrientes, utilizou-se o método dos quadrados mínimos, como indica PIMENTEL GOMES (1951). As equações de Mitscherlich obtidas por este método são as seguintes:

$$\text{Para P, } y_1 = 7,5361 \left[1 - 10^{-0,0029(x+109,4201)} \right] \quad (1)$$

$$\text{Para N, } y_2 = 12,0436 \left[1 - 10^{-0,0041(x+47,7314)} \right] \quad (2)$$

$$\text{Para K, } y_3 = 9,3390 \left[1 - 10^{-0,0201(x+39,3144)} \right] \quad (3)$$

Substituindo-se nessas equações x pelas doses usadas, tem-se kg de:

P ₂ O ₅	Produção observada t/ha	Produção calculada t/ha
0	3,977	3,944
40	4,761	4,740
80	5,195	5,344
160	6,547	6,226
320	7,034	7,183

kg N/ha	Produção observada t/ha	Produção calculada t/ha
0	4,747	4,833
50	6,440	7,106
100	9,643	8,740
200	11,303	10,743
400	11,587	12,299

kg K ₂ O/ha	Produção observada t/ha	Produção calculada t/ha
0	7,847	7,825
25	8,727	8,863
50	9,410	9,189
100	9,297	9,324
200	9,260	9,339

Cálculo da dose econômica de fósforo

A dose econômica aconselhável pode ser determinada pela equação derivada da lei de Mitscherlich, com o auxílio da fórmula transcrita abaixo, segundo PIMENTEL GOMES & MALAVOLTA (1949) e PIMENTEL GOMES (1953):

$$x^+ = \frac{1}{c} \log \frac{A W c}{t \log e} - b \quad (4)$$

Os preços do produto e dos adubos durante o ano agrícola 1964-1965 eram os seguintes:

Preço da t. de milho em grão: Cr\$51.667 (ano 1965)

Preço do kg de P_2O_5 : Cr\$ 280 (ano 1965)

Obteve-se $x^+ = 253$ kg de P_2O_5 /ha.

Substituindo este valor de x^+ na equação (1) tem-se $y = 6,877$ t/ha, produção correspondente a essa dose.

Cálculo da dose econômica de nitrogênio

A dose econômica de nitrogênio foi calculada como para o fósforo.

Os preços do produto e do adubo variaram para o ano agrícola 1965-1966: Preço de 1 t de milho: Cr\$ 68.333,00 (ano 1966).

Preço do kg de N na forma de sulfato de NH_4 : Cr\$.. 800,00 (ano 1966).

$x^+ = 228$ kg de N/ha.

A produção correspondente a essa dose é:

$y = 11,101$ t de milho em grão/ha.

Cálculo da dose econômica de potássio

Preço do kg de K_2O , na forma de KCl: Cr\$ 275,00, ano de 1966.

Preço de 1 t de milho: Cr\$ 68.333,00 (ano 1966)

$x^+ = 62$ kg de K_2O /ha

$y = 9,252$ t de milho em grão/ha.

Curvas de produção

A partir das equações (1), (2) e (3), obtiveram-se

as produções correspondentes às doses de adubos utilizados. Os valores obtidos foram colocados no eixo das ordenadas, sendo as doses de adubos colocadas no eixo das abscissas. A curva que passa por esses pontos corresponde à equação de Mitscherlich e dá a resposta do milho às doses de adubos utilizados (Figuras 1, 2 e 3). Pode-se observar que os valores calculados de y são bastante próximos às produções observadas.

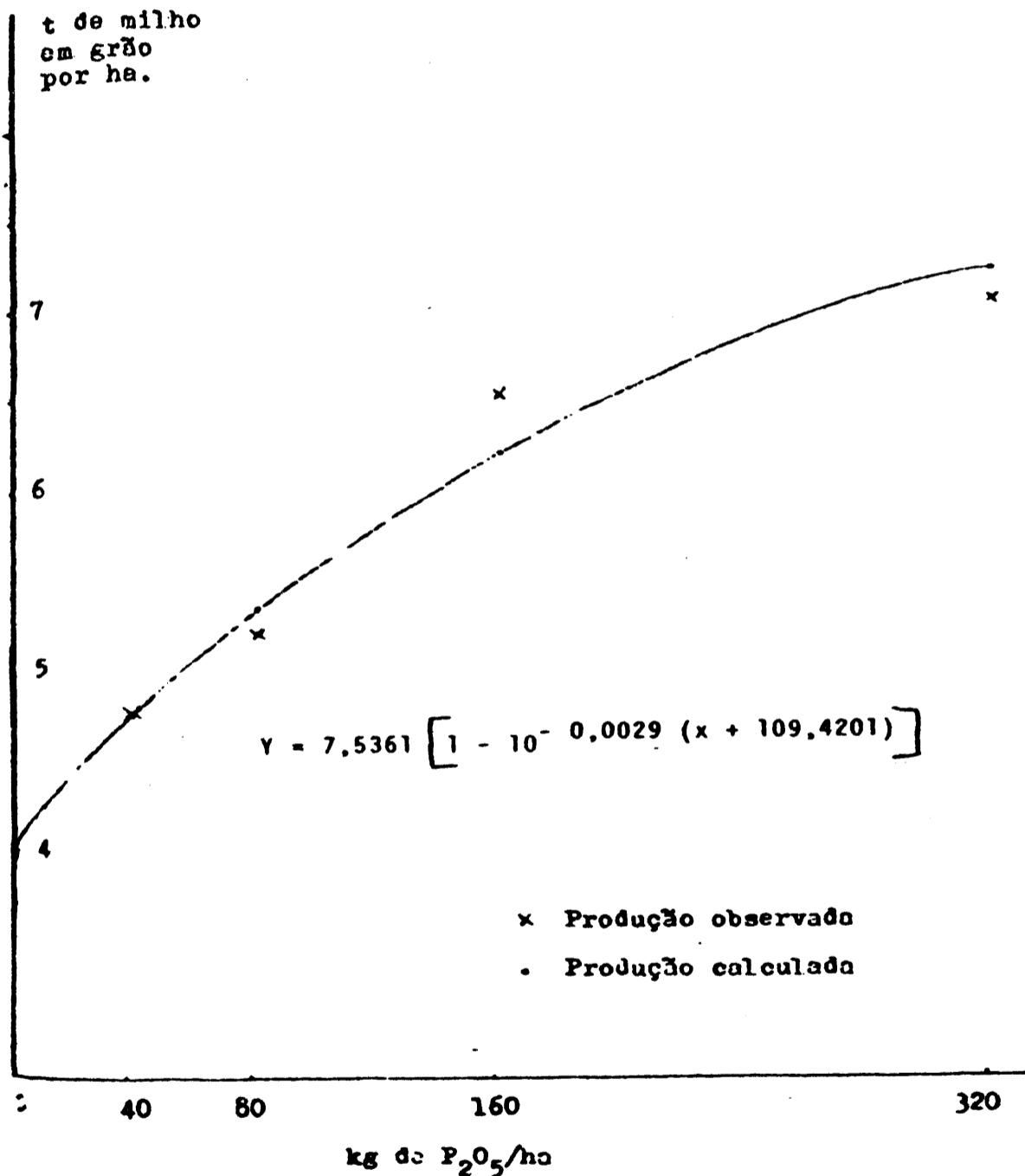


Figura 1 - Curva de produção em função das doses de P_2O_5 segundo a equação de Mitscherlich.

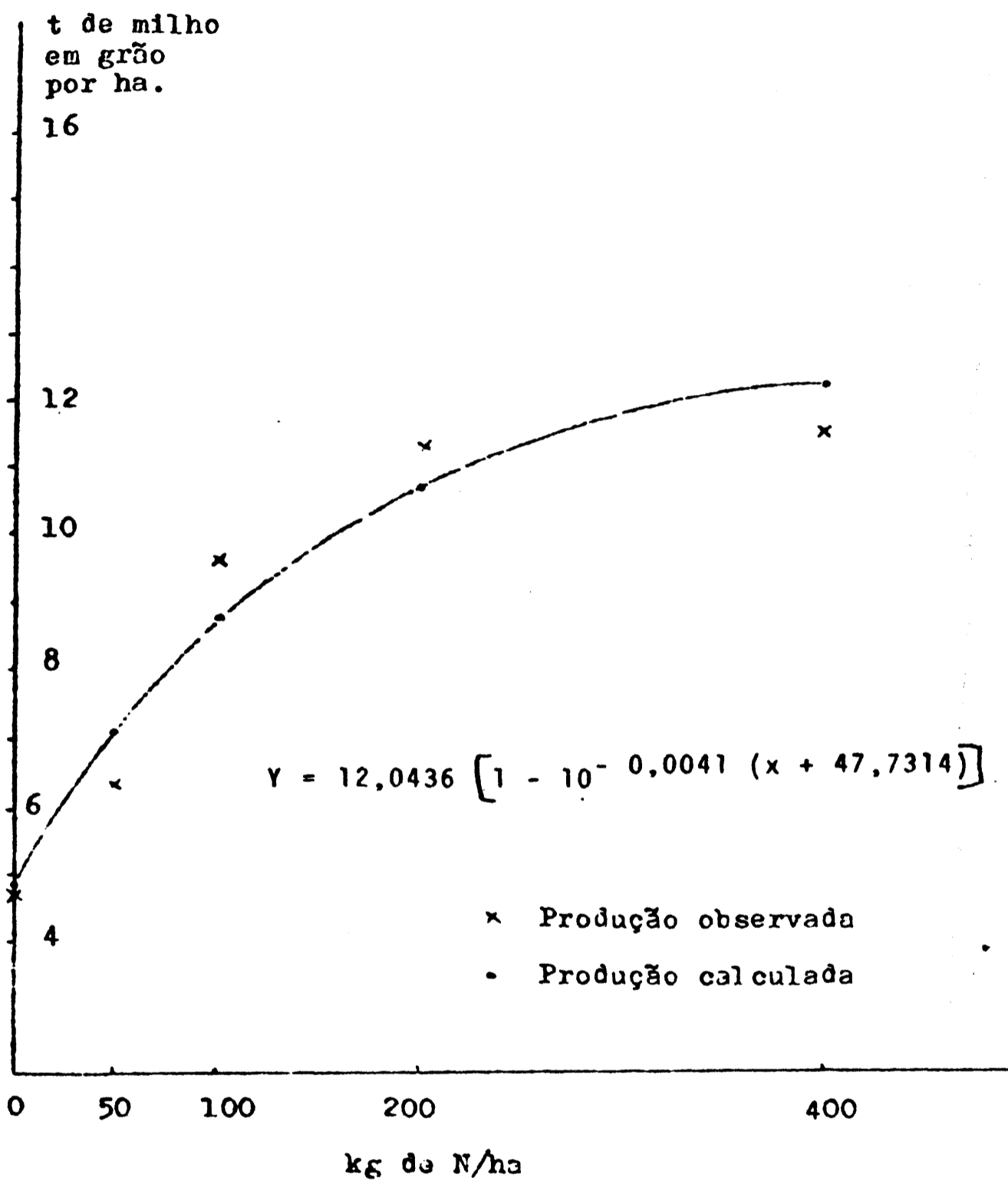


Figura 2 - Curva de produção em função das doses de N segundo a equação de Mitscherlich.

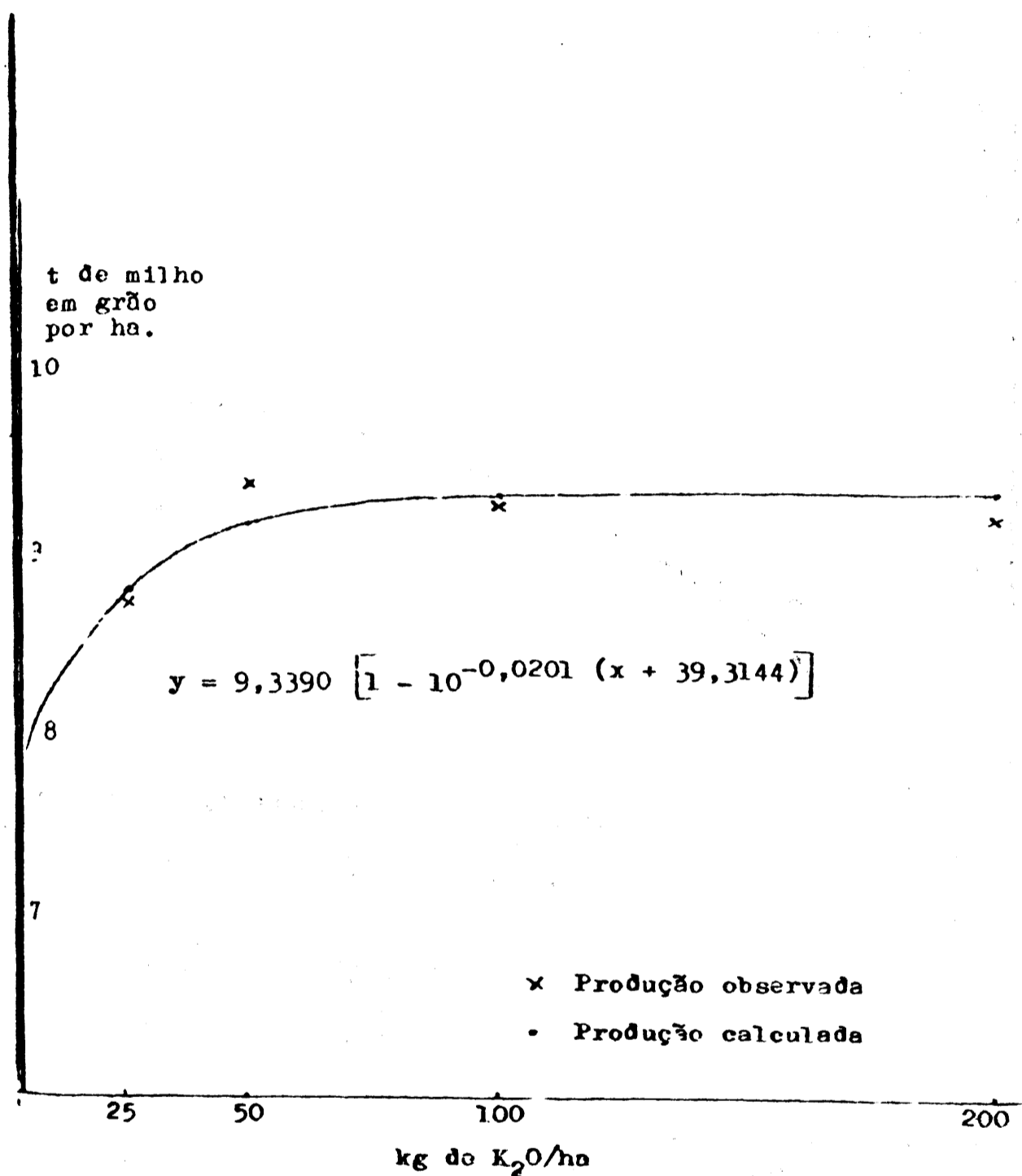


Figura 3 - Curva de produção em função das doses de K_2O , segundo a equação de Mitscherlich.

Determinação do nível crítico econômico de N, P e K

Uma maneira de estabelecer o nível crítico de um nutriente na folha consiste primeiro em calcular a dose economicamente aconselhável pela equação de Mitscherlich; a seguir substituir o valor de x^+ numa equação de regressão quadrática que define as relações existentes entre a dose do nutriente empregado na adubação e o seu teor na folha. O teor do nutriente é aquele acima do qual a adubação é economicamente desaconselhável. É o "nível crítico econômico" estabelecido por DUMENIL (1961) e MALAVOLTA & PIMENTEL GOMES (1961).

Essa equação é a seguinte:

$$y = a + bx + cx^2 \quad (5)$$

onde:

y = teor do nutriente na folha em percentagem

x = dose do nutriente.

O trinômio do 2º grau, interpolado pelo método dos mínimos quadrados é o seguinte:

$$\text{Para fósforo } y = 0,1988 + 0,0007352x - 0,00000144x^2 \quad (6)$$

$$\text{Para nitrogênio } y = 1,956 + 0,00906x - 0,0000144x^2 \quad (7)$$

Temos então, para o fósforo:

Doses de P_2O_5 kg/ha	Teor médio de P em % (observado)	Teor médio de P em % (calculado)
0	0,205	0,199
40	0,227	0,226
80	0,245	0,248
160	0,274	0,287
320	0,288	0,287

A equação (6) assume o máximo para a dose de 255,3 kg de P_2O_5 /ha correspondendo a um teor máximo de P de 0,293%. A diferença em relação ao máximo teor observado é 0,005%. O "nível crítico" estabelecido por TYNER (1947) é de 0,295% de P, demonstrando uma concordância entre ambos os dados.

Com essa equação é possível determinar-se o teor do nutriente na folha para uma determinada dose do mesmo nutriente aplicado. O teor de P na folha corresponde à dose econômica é de 0,293%.

Para o nitrogênio temos:

Dose de N kg/ha	Teor médio de N em % (observada)	Teor de N em % (calculado)
0	1,96	1,96
50	2,28	2,37
100	2,87	2,72
200	3,12	3,19
400	3,29	3,28

A equação (7) assume o máximo para a dose de 314,6 kg de N/ha, correspondendo a um teor máximo de 3,38% de N. O teor de N correspondente à dose econômica de 227,8 kg/ha de N é de 3,27%.

Para o potássio, os dados não permitem utilizar o trinômio do 2º grau em virtude de teores observados não se adaptarem a essa função. Os dados adaptam-se melhor a uma regressão linear do tipo.

$$y = ax + b \quad (8)$$

$$y = 0,00072x + 2,046 \quad (9)$$

A equação obtida em (9) é teoricamente válida somente no intervalo de 0 a 200 kg de K_2O . Com a equação (9), não é possível calcular o máximo da dose a ser aplicada. O teor de K correspondente à dose econômica de 61,7 kg de K_2O /ha é de 2,07%.

Estabelecendo uma comparação entre os "níveis críticos" adotados por TYNER (1946) com base em 6% de umidade, a produção obtida na equação de regressão linear, e os "níveis críticos econômicos", por nós encontrados, com base no material seco em estufa a 70°C, com as produções correspondentes, temos:

% de nutrientes	produção em kg/ha
2,09% N	7.603 (1)
3,27% N	11.100 (2)
0,295% P	7.859 (1)
0,293% P	6.877 (2)
1,30% K	8.413 (1)
2,07% K	9.252 (2)

(1) Valores calculados com os dados de TYNER

(2) Valores calculados com os dados dos presentes experimentos.

Por outro lado, os teores de N, P e K na folha oposta à espiga mais alta e as produções obtidas nas testemunhas (T e T-1) e dos tratamentos que deram melhores produções (B e A-1) dos experimentos de NEPTUNE (1977) e de NEPTUNE & CAMPANELLI (1980), são os seguintes:

Tratamentos	% N	% P	% K	Produção (kg/ha)
A	3,08	0,230	1,59	7.156
A-1	2,52	0,193	1,46	4.469
T	2,24	0,184	1,24	1.948
T-1	1,94	0,189	1,42	1.439

Os dados mostram que os teores iguais ou bem próximos não correspondem a uma igual produção; tais são os casos do fósforo e do nitrogênio. O "nível crítico" para o potássio proposto com certa reserva por TYNER (1946) é baixo; o "nível crítico econômico" estabelecido com o presente trabalho aproxima-se muito mais do estabelecido por LOUE (1963), que é de: 1,6% a 1,8% de K.

Apesar de certa discrepância, a diagnose foliar permite seguir os efeitos dos tratamentos e a folha pode bem refletir o estado nutricional da planta e o nível de fertilidade do solo.

CONCLUSÕES

A aplicação tanto das doses de fósforo como das de nitrogênio fez aumentar a produção de milho, a qual foi da ordem de 3 a 7 vezes superiores à média de produção do Estado de São Paulo.

O fator de utilização dos nutrientes N, P e K, de acordo com o conceito de TYNER, dá uma boa indicação do aproveitamento deste ou daquele nutriente, porém não reflete o lado econômico da adubação.

A dose econômica e a sua consequente produção determinadas pelas equações de Mitscherlich - Pimentel Gomes foram: para o fósforo, de 253 kg/ha de P_2O_5 correspondente a uma produção de 6.877 kg/ha de milho em grão; para o nitrogênio de 228 kg/ha de N correspondente a uma produção de 11.100 kg/ha de milho e para o potássio, foi de 62 kg/ha de K_2O correspondente a uma produção de 9.252 kg/ha de milho.

Os níveis críticos econômicos, nas folhas, determinados pelas equações de Malavolta e Pimentel Gomes e correspondentes às doses econômicas foram de: 0,293% de P, de 3,27% de N e de 2,07% de K.

A folha escolhida ou seja aquela oposta à espiga mais alta reflete bem o estado nutricional da planta e consequentemente o nível de fertilidade do solo.

*SUMMARY*EFFECTS OF NON-EQUIDISTANT RATES OF N, P AND K ON LEAF CONCENTRATIONS OF THESE NUTRIENTS AND ON YIELD OF CORN (*Zea mays* L.)

The experiments herein described were carried out in a podzolic soil, in the State of São Paulo, Brazil, with the double hybrid corn HD-6999 B.

The aim of the work reported in this paper is to determine the critical N, P, K levels or percentages associated with the fertilizer rates that give the maximum yield and the maximum profit.

To arrive at a critical nitrogen, phosphorus and potassium economical level in the corn leaf, it was calculated the maximum economical yield attainable under the conditions presented in this study by using the Mitscherlich and Pimentel Gomes and Malavolta equation.

The following results have been found:

Rates of fertilizers (kg/ha)	Maximum economical corn yield (kg/ha)	Critical nutri- ents level
228(N), 80(P ₂ O ₅), 50(K ₂ O)	11,000	3,27% N
100(N), 253(P ₂ O ₅), 50(K ₂ O)	6,877	0,293% P
100(N), 80(P ₂ O ₅), 61,7(K ₂ O)	9,252	2,07% K

LITERATURA CITADA

- BENNETT, W.F.; STANFORD, G.; DUMENIL, L. 1953. Nitrogen, phosphorus and potassium content of corn leaf and grain as related to nitrogen fertilization and yield. Proc. Soil Sci. Soc. Am. **17**: 252-258.
- BRAY, R.H., 1945. Soil plant relations. II. Balanced fertilizer use through soil tests for potassium and phosphorus. Soil Sci. **60**: 463-473.

- DUMENIL, L., 1961. Nitrogen and phosphorus composition of corn leaves and corn yields in relation to critical levels and nutrient balance. Proc. Soil Sci. Soc. Am. **25**: 295-298.
- ELLIS, B.G.; KNAUSS, C.J.; SMITH, F.W., 1956. Nutrient content of corn as related to fertilizer application and soil fertility. Agron. J. **48**: 455-459.
- LOUE, A., 1963. Contribuição para o estudo da nutrição catiônica do milho, principalmente a do potássio. Fertilidade n° 20.
- MALAVOLTA, E.; PIMENTEL GOMES, F., 1961. Foliar diagnosis in Brazil. Em: **Plant Analysis and Fertilizer Problems**, (W. Reuther, Red), pág. 180-189. Am. Inst. Biol. Sciences, Wash., nr. 8.
- NEPTUNE, A.M.L., 1977. Efeito de diferentes épocas e modos de aplicação do nitrogênio na produção do milho, na quantidade de proteína na eficiência do fertilizante e na diagnose foliar, utilizando o sulfato de amônio - ^{15}N . An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz" **34**: 515-539.
- NEPTUNE, A.M.L.; CAMPANELLI, A., 1980. Efeitos de épocas e de modos de aplicação do sulfato de amônio - ^{15}N e interação nitrogênio - fósforo - ^{32}P , na quantidade e teores de N, P, K, na planta e na folha de milho, na produção, na quantidade de proteína e eficiência do nitrogênio do fertilizante convertido em proteína. An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz" **37**: 1105-1143.
- NOGUEIRA, I.R., 1960. Pesquisa sobre o planejamento experimental de ensaios de adubação (Tese Livre - Doc.) ESALQ, mimeografado, Piracicaba.
- NOGUEIRA, I.R.; CAMPOS, H.; ABREU, C.P.; PIMENTEL GOMES, F., 1963. Tabelas de polinômios para interpolação da equação de Mitscherlich num caso de 4 doses não equidistantes. Bol. Técnico-Científico, ESALQ, n° 16, 6 pgs.

- PIMENTEL GOMES, F.; MALAVOLTA, E., 1949. Aspectos matemáticos e estatísticos da lei de Mitscherlich. An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz" **6**: 193-229.
- PIMENTEL GOMES, F., 1953. The interpolation of Mitscherlich's first approach law and the analysis of variance in experiments with fertilizers. Bol. nº 12, Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, pgs. 7-16.
- PIMENTEL GOMES, F.; ABREU, C.P., 1959. Sobre uma fórmula para o cálculo da dose mais econômica de adubo. An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz" **16**: 191-198.
- TYNER, E.H., 1946. The relation of corn yields to leaf nitrogen, phosphorus and potassium content. Soil Science Society American Proc. **11**: 317-323.
- TYNER, E.H.; WEBB, J.W., 1946. The relation of corn yields to nutrient balance as revealed by leaf analysis. Jour. Amer. Soc. Agron. **38**: 173-185.

