

ANÁLISE ECONÔMICA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MILHO E CAUPI EM CULTIVOS SUCESSIVOS EM SOLOS DE TERRA FIRME DO ESTADO DO AMAZONAS

Sônia Milagres Teixeira¹ e Thomas Jot Smyth²

RESUMO: Os solos de terra firme do Amazonas, em sua grande parte pertencentes ao grupo Latossolo, caracterizam-se por apresentar baixa fertilidade natural, particularmente com deficiência de fósforo. Ensaios sob condição de campo mostraram que solos representativos da Amazônia apresentam limitações desse elemento para cultivos anuais. Neste trabalho, objetivou-se: 1 – Comparar diferentes níveis de utilização de fósforo, determinando níveis ótimos, para a produção de milho e caupi em sucessão; e 2 – Avaliar os efeitos residuais da adubação, em cinco cultivos sucessivos dessas culturas.

Termos para indexação: Milho, caupi, fósforo, deficiência de fósforo, economicidade.

ECONOMIC ANALYSIS OF PHOSPHATE FERTILIZATION IN PRODUCTION SYSTEMS OF CORN AND CAUPI IN SUCCESSIVE CROPS ON TERRA FIRME SOILS IN AMAZONAS STATE

ABSTRACT: The terra firme soils of Amazonas, which mostly pertain to the Latosol group, are characterized by their low fertility, particularly in reference to P deficiencies. Field tests have shown that this element is often limiting for annual crops grown in Amazonia. The objectives of this study were: (1) Compare different levels of P application to determine optimal applications for production of corn and caupi in succession; and (2) evaluate the residual effects of fertilization on successive plantings of these crops.

Index terms: Corn, cowpea, phosphorous, phosphorous deficiency, economics.

ANTECEDENTES

Os solos de terra firme do Amazonas, em sua grande parte pertencentes ao grande grupo Latossolo, caracterizam-se por apresentarem baixa fertilidade natural, particularmente deficientes em fósforo. A despeito dessa baixa fertilidade e acentuada acidez, esses solos são dotados de características físicas que, aliadas ao uso de técnicas adequadas de manejo, uso de corretivos e fertilizantes, possibilitam o desenvolvimento de atividades agrícolas e pastoris (Relatório... 1979).

A grande expansão da fronteira agrícola no Brasil depende hoje de clina apropriada para a agricultura, como terras de topografia favorável e uma agricultura inten-

siva, porém, em solos de baixa fertilidade natural. Nessas áreas, a adubação é, sem dúvida, o principal componente a ser considerado para a manutenção e aumento da produtividade agrícola (Simpósio... 1982).

Sob condições de importadores do insumo ou de matéria prima para a sua fabricação, seu uso deve ser racional, em níveis necessários, do ponto de vista técnico, mas se levando em conta fatores de eficiência econômica. Faz-se necessário desenvolver tecnologia em solos e nutrição de plantas, poupadoras desses nutrientes.

Apesar do esforço já realizado, a pesquisa é ainda incipiente e a interação de diversos fatores precisa ser considerada, muitas vezes impedindo o alcance de resultados conclusivos e abrangentes como respos-

¹ Economista. Ph.D. EMBRAPA-UEPAE Manaus. Caixa Postal 455. CEP 69000. Manaus, AM.

² Eng. Agr. Ph.D. EMBRAPA-UEPAE Manaus.

tas às diversas questões que se colocam sobre a economicidade de adubação em solos da Amazônia.

A Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual, UEPAE de Manaus, vem realizando estudos nessa área, no sentido de viabilizar a utilização de práticas de manejo e adubação para incrementar a produtividade desse fator de produção. Testes de utilização de micro e macronutrientes, em diferentes composições foram efetuados, para a produção de culturas de ciclo curto e perenes. A pesquisa se concentra em estudos de manejo de solos de mata e capoeiras, dos processos de desmatamento e preparo de área, dos efeitos da utilização de máquinas sobre as propriedades físicas do solo, dos efeitos das queimas e tempo de pousio entre outras. Resultados de análise de calibração de fósforo, do potássio, do nitrogênio e do uso da calagem estão disponíveis para a maioria das culturas. Esses estudos foram, de certa forma, prejudicados pelos altos custos de fertilizantes que tornam pouco recomendáveis, principalmente na Amazônia, a utilização de adubos para a maioria dos cultivos alimentares (Relatório... 1981).

Nesse contexto, reconheceu-se que uma grande lacuna nos estudos então desenvolvidos era a escassez de ensaios de longa duração, capazes de medir e ajudar a compreender, através do tempo, a importância dos efeitos residuais e da interação dos diversos fatores de produção. Já em 1977 iniciou-se estudo visando estabelecer o teor de fósforo assimilável no solo que permitisse boa produção em relação às aplicações e ao seu efeito residual em culturas posteriores. As duas primeiras produções de milho mostram resposta a fósforo acima de 200 kg/ha de P_2O_5 , observando-se grandes efeitos residuais, no ano subsequente, efeito esse reduzido dois anos depois. Fatores climáticos prejudicaram a continuidade desse estudo que não obstante permitiu comprovar, de forma quase empírica que a absorção de fósforo é grande nesses solos, porém parte do fósforo absorvido pode ser aproveitada pela planta. Observou-se ainda que como o teor de alumínio é maior que o teor de ferro nes-

se solo, o extrator (Bray), com fluoreto, deve se comportar melhor que o extrator de Mehlich, quando se usam adubos fosfatados solúveis (Relatório... 1981). Esse experimento foi desativado, dando lugar a uma análise mais rigorosa de manejo de fósforo, objeto deste estudo.

OBJETIVOS

Este estudo visa obter respostas à principal indagação acerca da economicidade do uso de fertilizantes fosfatados, em áreas de terra firme do Estado do Amazonas. Especificamente objetiva:

- comparar diferentes níveis de utilização de fósforo para a produção de milho e caupi, em sucessão;
- quantificar níveis ótimos de adubação de manutenção, no sulco para os plantios independentemente e tomados em conjuntos, na sucessão;
- analisar os efeitos residuais supostamente presentes na situação em análise.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em Latossolo Amarelo, textura argilosa, em área da UEPAE de Manaus, ao longo da rodovia AM-010, em dezembro de 1981, com o plantio de milho. A primeira adubação de fósforo sob a forma de P_2O_5 , a lanço, foi realizada no dia do plantio em níveis de 0, 50, 100, 200 e 400 kg/ha. Todos os cultivos receberam adubação de manutenção, no sulco, com 0, 25, 50 e 100 kg/ha, constituindo um fatorial com níveis não equidistantes. O plantio de milho foi sucedido, em abril de 82, pelo caupi, mantendo-se posteriormente a mesma seqüência, totalizando cinco cultivos no período. Maiores detalhes sobre delineamento e condução de experimento estão contidos em Smyth & Bastos (1984).

A análise econômica desenvolvida considera os efeitos da utilização do fósforo, elemento mais limitante desses solos, em diferentes teores. Avalia os efeitos dos níveis de adubação a lanço, no preparo da área

e nas produções das culturas se tomadas isoladamente. Ao mesmo tempo, avaliam-se os efeitos do fertilizante ministrado, em sulco, para os cultivos isolados e para a produção total de milho e caupi em dois anos. Estabelece-se uma medida que possibilite somar resultados da produção de milho e caupi no mesmo ano e sua relação com os níveis do fertilizante utilizado. Assumindo-se a relação de preço de milho ($P_M = 1$) para o preço do caupi ($P_F = 1,5$), atualmente verificada no mercado de Manaus, adotou-se como variável dependente, para as produções somadas, a receita numerária

$$RT_i = P_M YM_i + P_F YF_i \text{ ou seja } RT_i = YM_i + 1,5 YF_i$$

O conjunto de variáveis na análise é especificado na seguinte forma:

YM_i = produção de milho no cultivo i ;

YF_i = produção de caupi no cultivo i ;

XL = níveis de adubação a lanço;

XS = níveis de adubação no sulco;

YMT = milho total produzido em dois anos;

YFT = caupi total produzido em dois anos;

RT_i = receita acumulada de milho e caupi no cultivo i ;

Para estabelecer níveis ótimos econômicos, considere-se para uma dada função de produção $Y = f(x)$, a função de π :

$$\pi = VY - CX - Q$$

Onde: V é o valor unitário do produto Y , C é o custo unitário do fertilizante e Q são custos fixos associados ao cultivo.

Uma vez que a compra do fertilizante precede um período t à venda do produto, faz-se necessário considerar o valor descontado de lucro, dado pela fórmula:

$$\pi_0 = \frac{VY_i}{(1+r)^t} - CX_0 - Q, \text{ onde } \pi_0 \text{ e } X_0$$

representam lucro e quantidade de fertilizante na época da compra:

Os níveis ótimos são obtidos então, resolvendo a equação:

$$\frac{d\pi_0}{dx_0} = 0 \text{ ou}$$

$$\frac{dy_t}{dx_0} = \frac{C}{V} (1+r)^t$$

Esse é o caso de produção de uma cultura, com efeito isolado de níveis do fertilizante, quando não há interferência do adubo no primeiro cultivo e nos cultivos subsequentes. Esse enfoque é apropriado para fertilizantes altamente móveis como N , no qual o efeito residual em cultivos subsequente é quase nulo. Para o caso de P faz-se necessário considerar a possibilidade da presença do efeito residual.

Uma vez que o delineamento supõe adubações sucessivas constantes dos diversos níveis do fator, foram considerados os seguintes casos:

1. produção da cultura (i) x níveis de adubação a lanço no período t_0 ;
2. produção da cultura (i) x níveis de adubação no sulco em t_j ;
3. produção total da cultura (i) x níveis acumulados de fertilizantes em t_j ;
4. receita (numerária $P_F = 1,5 P_M$) x níveis de fertilizantes acumulados por cultivo;

Foram testadas funções quadráticas e raiz quadrada para relacionar esses efeitos. Para tais funções o nível ótimo econômico é então calculado (Quadro I).

Baseados em valores de t , para os coeficientes e os R^2 das funções estimadas, foi estabelecida uma das formas quadráticas ou raiz quadrada. O período considerado foi de quatro e seis meses para as produções de caupi e milho entre a compra do fertilizante e venda do produto. A taxa anual de juros foi de 10% ao ano a preços de março de 1984, de Cr\$ 200 por kg de milho, Cr\$ 300/kg de caupi e Cr\$ 450/kg de supertríplo ou Cr\$ 1.000/kg de P_2O_5 .

A avaliação do efeito residual da adubação foi objeto de estudos como os de Vieira (1977) para solos em Minas Gerais, bem como da análise apresentada por Stauber & Burt (1973), sendo esta a origem do enfoque metodológico do primeiro, com ênfase ao estudo da adubação residual do nitrogênio. Seguindo esse enfoque, no caso da adubação de fósforo, supõe-se que a disponibili-

$$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^2$$

$$\pi_0 = \frac{v}{(1+r)^t} (b_0 + b_1 X + b_2 X^2) - CX_0 - Q$$

$$\frac{V}{(1+r)^t} (b_1 + 2b_2 X) - C = 0 \quad X_o^* = \frac{0,5}{b_2} \left[\frac{C}{V} (1+r)^t - b_1 \right] \quad (i)$$

$$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^{1/2}$$

$$\pi_0 = \frac{v}{(1+r)^t} (b_0 + b_1 X + b_2 X^{1/2}) - CX_0 - Q$$

$$\frac{b_1}{2X_o^{1/2}} + b_2 = \frac{C}{V} (1+r)^t \quad X_o^* = \frac{0,5 b_2 V}{C (1+r)^t - b_1 V} \quad (ii)$$

dade do elemento é função das quantidades ministradas e do tempo entre adubação. A produção do ano t será função dessa disponibilidade do nutriente e de condições climáticas para as culturas de milho e caupi. Especificamente, (Quadro II).

A relação de efeito residual pode ser especificada numa equação de diferença de primeira ordem (Quadro III).

Uma vez que $R_0 = 0$, não há efeito residual para $t = 0$, o processo iterativo na equação (2) se torna (Quadro IV).

Dessa seqüência, deduz-se a seguinte relação genérica para a disponibilidade total de fósforo no período t , em função do nutriente aplicado em t adicionado a uma soma ponderada, das aplicações nos cultivos anteriores. Tal ponderação exprime-se como (Quadro V).

A equação de produção (1) é então aproximada pela forma (Quadro VI).

O termo quadrático em F_t resulta nu-

ma equação não linear em α pela substituição de (3) em (4). Para simplificação do procedimento, da estimação do modelo pode ser obtida através de estimações sucessivas para supostos valores de α permitindo utilizar o método de mínimos quadrados ordinários para o modelo geral em (4). O valor de α e as estimativas dos coeficientes da função que resultarem na menor soma de quadrado do erro para o conjunto de dados, ou mesmo, o mais alto R^2 constituem o conjunto de estimativas para o modelo. Entretanto, a forma mais eficiente para estimação seria a utilização de métodos de estimação não linear. Neste estudo optou-se pela forma simplificada, com seleção de valores possíveis de α para o cálculo de F_t compondo as variáveis do modelo em análise. Numa primeira fase utilizaram-se 21 valores de α , de -100 a 200 , em intervalos de 10 , sem a inclusão da variável W_t , precipitação pluviométrica. Já na inclusão dessa, tomaram-se valores de -20 a 160 , com estimação de dez funções.

(1)

Quadro II

$Y_t = f(F_t, W_t)$ onde

Y_t = produção em kg/ha de milho ou caupi no cultivo t ;

$F_t = A_t + R_t$ = fósforo disponível para a planta no cultivo t ;

A_t = kg de fósforo aplicado no cultivo t ;

R_t = fósforo residual, em kg/ha, das adubações em cultivos anteriores;

W_t = precipitação pluvial durante o cultivo t .

$$R_t = \alpha(A_{t-1} + R_{t-1})T_{t-1} \quad t = 1, 2, \dots, r \quad (2) \quad \text{Quadro III}$$

onde: α = Um parâmetro desconhecido a ser estimado;

T^* = o período (em número de dias) entre adubações.

* Particularmente no caso do fósforo nos trópicos úmidos por não ser elemento altamente solúvel e não sujeito à lixiviação por precipitação pluvial, optou-se por esse dado, como alternativa à pluviosidade, utilizada no modelo original, para nitrogênio.

$$\begin{aligned} R_1 &= \alpha A_0/T_0 \\ R_2 &= \alpha(A_1 + R_1)/T_1 = \alpha A_1/T_1 + \alpha^2 A_0/T_0 T_1 \\ R_3 &= \alpha(A_2 + R_2)/T_2 = \alpha A_2/T_2 + \alpha^2 A_1/T_0 T_1 + \alpha^3 A_0/T_0 T_1 T_2 \\ R_4 &= \alpha(A_3 + R_3)/T_3 = \alpha A_3/T_3 + \alpha A_2/T_0 T_1 + \alpha^3 A_0/T_0 T_1 T_2 + \alpha^4 A_0/T_0 T_1 T_2 T_3 \end{aligned} \quad \text{Quadro IV}$$

$$F_t = A_t + R_t \quad (3) \quad \text{Quadro V}$$

$$= A_t + \alpha A_{t-1}/T_{t-1} + \alpha^2 A_{t-2}/T_{t-1} T_{t-2} + \alpha^3 A_{t-3}/T_{t-1} T_{t-2} T_{t-3} +$$

$$* \dots \alpha^t A_0/T_{t-1} T_{t-2} \dots T_0$$

$$\alpha^n/T_{t-1} T_{t-2} \dots T_{t-n}$$

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 F_t + \beta_2 F_t^2 + \beta_3 D + \beta_4 F_t D + \beta_5 F_t^2 D + \beta_6 W_t + \epsilon_t \quad (4) \quad \text{Quadro VI}$$

Onde: F_t e W_t são definidos nos quadros II e V respectivamente, e D = variável "dummy" para separar efeitos sobre produções de milho e caupi (1 = milho, 0 = feijão);

β_i = coeficientes a estimar, representando o efeito de cada elemento na função;

ϵ_t = erro aleatório.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de milho e caupi em dois anos de cultivo

Os resultados obtidos no experimento estão relacionados no Anexo 01. O nível médio de adubação de fósforo a lanço foi calculado em 150 kg de P_2O_5 /ha e para as adubações por cultivo no sulco 43,75 kg de P_2O_5 /ha. A produção média de milho no primeiro ano foi de 1.496,7 kg/ha; para o caupi obteve-se a média de 1.344,1 kg/ha no primeiro ano; no segundo ano do experimento foram obtidas as produções de 2.791,85 e 962,55 kg/ha de milho e caupi, respectivamente, em médias dos diversos

tratamentos. Os níveis de correlação entre a quantidade usada no nutriente e a produção de caupi apresentaram-se bem mais altos que para o milho, sendo esses níveis decrescentes de um ano ao outro, indicando uma possível atenuação do efeito do fertilizante no tempo.

Para a combinação de cultivos com o aproveitamento da área adubada a lanço para a produção de milho, sucedida pelo feijão, com as adubações de manutenção, no sulco, para cada cultivo, os resultados da quantidade do nutriente e produção acumulados revelam aumentos expressivos em produção (Tabela 1).

TABELA 1. Produção e uso de fertilizantes em volumes acumulados nos anos 1982/83.

Ano	Produto	Adubação utilizada	Média utilização (kg P ₂ O ₅)	Média de produção*	Receita (RT) (em cruzeiros)
1982	Milho	L + S	193,75	1496,7	3512,85
1982	Milho + caupi	L + 2S	237,5	2840,8	4235,67
1983	Milho + caupi + milho	L + 3S	281,25	5621,65	6304,7
1983	Milho + caupi + milho + caupi	L + 4S	325,0	6595,2	7748,52

L — adubação a lanço no início do experimento
S — adubação no sulco, constante nos anos

(*) — total em grãos

Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 2. Função estimada para os efeitos de uso de fósforo na produção de milho e caupi em dois anos, em sucessão.

Variável dependente	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	X(*)	Y(*)
Adubação a lanço (zero no sulco)						
Milho — 1982	590,34	8,56 (1,69)	-0,0139 (-1,17)	0,75	307,9	1908,2
Milho — 1983	577,82	17,38 (14,7)	-0,0278 (-10,07)	0,99	312,6	3274,2
Caupi — 1982	288,7	9,84 (10,23)	-0,0172 (-7,6)	0,98	285,9	1696,3
Caupi — 1983	-66,88	3,39 (2,03)	-0,0011 (-0,272)	0,95	1595,1	2635,34
Adubação no sulco (zero a lanço)						
Milho — 1982	258,32	51,95 (11,03)	-0,35 (-8,04)	0,99	74	2180,5
Milho — 1983	631,39	78,92 (62,7)	-0,527 (-45,14)	0,99	74,9	3587,7
Caupi — 1982	16,79	38,26 (16,35)	-0,224 (-8,81)	0,98	85,4	1650,4
Caupi — 1983	-0,39	25,367 (41,35)	-0,112 (-16,81)	0,99	113,13	1435,96

(*) níveis de adubação e produção no ponto de máximo da função.

() valores de t para os coeficientes

Todas as funções estão na forma quadrática

Fonte: Dados experimentais

As funções estimadas revelam que os níveis ótimos técnica e economicamente necessários de fertilizantes são sucessivamente mais altos, se os cultivos são tomados isoladamente (Tabela 2).

Considerando-se o aproveitamento da área para cultivos sucessivos, observa-se a tendência da produção acumulada ser bem superior para o adubo total utilizado (Tabela 3). Tomando-se, por exemplo, o milho total produzido em função da adubação (lanço + 3 sulco) acumulada no solo no período, a produção total ultrapassa a soma das duas isoladas, para uma quantidade bastante menor de fertilizante, o mesmo ocorrendo

para o caupi. Este fato evidencia a presença do efeito residual do fertilizante no solo.

Avaliação do Efeito Residual

Estimativas sucessivas do modelo na equação (4), para os diversos valores de α apresentaram níveis crescentes de R², quando valores crescentes e positivos do parâmetro eram considerados. O maior R² (82,7%) foi obtido para $\alpha = 120$, confirmando a presença do efeito residual nos cultivos sucessivos. Esses efeitos podem ser quantificados segundo a equação (2), para todos os níveis de adubação e valores de T (192' 191' 268' 152) Tabela 4.

TABELA 3. Funções estimadas para a produção total de milho e caupi em quatro cultivos em dois anos.

Variável dependente	b_0	b_1	b_2	R^2	X^*	Y^*
Milho total (YMT) (raiz quadrada)	831,4	- 11,904 (- 4,91)	440,4 (6,62)	0,80	342,17	4904,6
Milho total (YMT) (quadrática)	2282,68	16,02 (4,86)	- 0,022 (3,96)	0,63	364,56	5202,9
Caupi total (YFT) (raiz quadrada)	- 71,47	- 5,23 (- 3,03)	253,65 (5,36)	0,83	588,72	6077,7
Caupi total (YFT)	606,93	12,533	- 0,0156	0,83	401,82	3124,9
receita numerária da combinação milho x caupi ($P_F = 1,5 P_M$)						
RT ₁ (Milho, caupi 82)	596,83	- 11,05 (- 7,84)	383,3 (10,05)	0,89	308,65	4007
RT ₂ (milho, caupi, milho)	127,39	- 8,69 (- 2,39)	432,6 (4,33)	0,92	618,9	5508,7
RT ₃ todas)	622,32	- 12,87 (- 5,31)	674,4 (9,0)	0,93	686,08	9454,9

* níveis ótimos de X e Y

() t calculados para os coeficientes

Fonte: Dados do experimento.

TABELA 4. Efeitos residuais estimados para cultivos sucessivos de milho e caupi.

Cultivo ¹	Adubação sulco	Adubação a lanço ²				
		0	50	100	200	400
Caupi	0	0,00	31,25	62,50	125,00	250,00
(Segundo cultivo)	25	15,62	46,87	78,12	140,62	265,62
	50	31,25	62,50	93,45	150,25	281,25
	100	62,50	93,75	125,00	187,50	312,50
Milho	0	0,00	26,59	53,19	106,38	212,76
(Terceiro cultivo)	25	34,57	61,16	87,76	140,95	247,34
	50	69,15	95,74	122,34	175,53	281,91
	100	138,30	164,89	191,50	244,68	351,06
Caupi	0	0,00	11,90	23,82	47,63	95,26
(Quarto cultivo)	25	26,68	38,58	50,49	74,31	121,94
	50	53,35	65,26	77,17	100,98	148,62*
	100	106,70*	118,61*	130,52*	154,33*	201,97*
Milho	0	0,00	9,39	18,80	37,60	75,20
(Quinto cultivo)	25	40,80	50,19	59,60	78,40	116,00
	50	81,59	90,99	100,40*	119,19*	156,80*
	100	163,18*	172,58*	181,99*	200,79*	238,39*

¹ No primeiro cultivo (milho), o efeito residual é nulo ($R_1 = 0$)² Na equação (2), A_1 representa o total do nutriente sob forma de lanço e sulco, sendo A_2 a A_4 níveis de manutenção, apenas no sulco.

* Disponibilidade superior do nível ótimo estimado

Fonte: Dados do estudo.

A não ser pelo quarto cultivo (caupi 2), cujo período entre adubações (268 dias) apresentou-se irregularmente extenso, devido ao ciclo prolongado do milho cultivado anteriormente, os efeitos residuais apresentam tendências a crescer, no período em aná-

lise. Com efeitos residuais crescentes de cultivo a cultivo, também a disponibilidade total do nutrientes ($F_t = A_t + R_t$) cresce, uma vez que são constantes os níveis de adubação no sulco (A_t), promovendo o aumento gradativo da fertilidade do solo. Nesse sentido,

o experimento será continuado, mantendo os níveis de adubação no sulco, a confirmar as tendências até então observadas e definir em que ponto se deve diminuir a adubação de manutenção, com maior margem de segurança.

Para os cinco cultivos desenvolvidos no atual estágio da pesquisa, é possível avaliar, com base no modelo estimado, os níveis ótimos alcançados em ambas culturas e inferir sobre eficiência de utilização do fertilizante disponível e, conseqüentemente da quantidade adicional do elemento em manutenção, para cultivos posteriores. Nesse sentido a análise descrita na primeira parte deste estudo é utilizada para estimar o nível ótimo econômico de fósforo, no cultivo de milho e caupi em sucessão. A forma estimada da equação (4) é utilizada para tal avaliação.

O Modelo Estimado

O poder de explicação das variáveis foi sensivelmente melhorado com a inclusão da precipitação pluviométrica na segunda fase da estimação. Quando valores de α (-100 a 200, step 10) foram considerados, os níveis de R^2 apresentaram-se sem tendência definida para $\alpha < 0$. A partir de valores positivos de α , esses níveis foram consistentemente crescentes, alcançando para $\alpha = 120$, na forma estimada da função (Quadro VII).

$$Y = 925,15 + 10,70F - 0,021F^2 + 3,834D + 1,74FD - 0,002F^2 - 3,01W$$

(5,24)** (-3,79)** (10,0)** (0,72) (-0,33) (-9,23)**

$$R^2 = 82,7\%$$

() valores de t: ** significativos ($\alpha = 0,01$); * significativo ($\alpha = 0,05$)

Quadro VII

$$Y = 902,19 + 11,61F - 0,222F^2 + 3,936,48D - 3,385W + 0,388DW$$

(10,57)** (-8,57)** (7,40)** (-2,26)* (0,05)

$$R^2 = 82,3\%$$

() valores de t: **significativos (= 0,01); *significativo (= 0,05)

Quadro VIII

$$Y_{\text{milho}} = 4.838,66 + 11,61F - 0,022F^2 - 2,997W$$

$$Y_{\text{caupi}} = 902,19 + 11,61F - 0,022F^2 - 3,385W$$

Quadro IX

Uma forma alternativa, excluindo as variáveis não significativas do modelo e que permita identificar o efeito de clima (W) de forma diferenciada para o milho e feijão, seria (Quadro VIII).

Neste contexto, a forma estimada resulta nas seguintes produções de milho e caupi, para a disponibilidade total de fósforo (F) e níveis constatados de pluviosidade (W) (Quadro IX).

Para o milho, o nível ótimo econômico $F^* = 144,42$ kg de P, calculado segundo a fórmula (i) resultaria em $Y_m^* = 2473,91$ kg, se a média de precipitação pluviométrica ($\bar{W} = 1195,4$) do período foi mantida. No caso do caupi, a disponibilidade necessária do elemento para produção econômica máxima é de $F^* = 185,56$ kg de P, com produção $Y_f^* = 1522,36$ kg e precipitação pluviométrica $\bar{W} = 229,45$.

Para o período em análise, três produções de milho e duas de caupi, é possível inferir que, mantendo-se a tendência observada, os níveis de 100 kg de fósforo (P), em sulco, para os próximos cultivos, fornecem níveis de disponibilidade do elemento superiores ao volume necessário para produções ótimas. Esse excesso de fertilizante disponível ocorre em todos os níveis de adubação a lanço, para ambas as culturas.

$$Y = 1410,76 + 6,81F - 0,013F^2 + 4175,41D - 3,16W - 333,08S - 547,79L + \text{Quadro X}$$

$$(4,13)^{**}(-4,1)^{**}(13,54)^{**}(-10,15)^{**}(-1,98)^{*}(-3,34)^{**};$$

$$3,03FS + 1,99FL;$$

$$(2,42)^{*}(2,02)^{*}$$

$$R^2 = 85,06\%$$

() valores de t: ** significativos ($\alpha = 0,01$); * significativo ($\alpha = 0,05$)

Onde S = {1 (níveis no sulco, zero a lanço) e 0 outros}

L = {1 (lanço com zero no sulco) e 0 outros}

Uma forma mais elaborada no modelo, com a inclusão de variáveis mudas para separar os efeitos da adubação a lanço e no sulco foi estimada. Foram incluídas as interações dessas novas variáveis com as demais e, numa versão final aquelas com nível de significância (α) não inferior a 5%, resultando (Quadro X).

Para a adubação a lanço (L), o ponto ótimo foi calculado por:

$$\frac{\partial Y}{\partial L} = 547,79 + 1,99F = 0 \Rightarrow F_L^* = 276,28$$

Para níveis de sulco foi calculado pela equação:

$$\frac{\partial Y}{\partial S} = -333,085 + 0,03F = 0 \Rightarrow F_S^* = 109,93$$

que na formulação onde a variável S em interação com D, que separa os efeitos sobre milho e caupi, resulta em níveis ótimos de $F_{FS} = 59,9$ (fósforo no sulco para feijão) e $F_{MS} = 50,4$ (fósforo no sulco para milho).

Embora se reconheça ser prematuro recomendar tais níveis de adubação, a análise permite visualizar que há uma tendência ao incremento da fertilidade do solo, em relação a fósforo disponível, assim como, níveis muito altos de adubações sucessivas, no experimento, ultrapassam os níveis técnica e economicamente necessários.

CONCLUSÕES

A questão da viabilidade econômica do uso de fertilizantes em solos de terra firme

da Amazônia é muito polêmica, tendo sido objeto de estudos pela equipe da EMBRAPA que trabalha na região há vários anos. Muitas vezes estudos de adubação foram iniciados e sofreram solução de continuidade em consequência do aviltamento dos preços de fertilizantes, agravados pelas grandes distâncias da região às áreas de exploração desses fatores de produção.

A necessidade imperiosa de produzir alimentos para uma população que se expande suscita a condição de estudos mais rigorosos que viabilizem maiores níveis de produção e produtividade dos diversos fatores envolvidos na atividade de produção.

Estudos de longa duração para quantificar efeitos de adubação em cultivos sucessivos, numa mesma área, são necessários, não apenas para verificar a economicidade da prática, como também promover o melhor aproveitamento da área, em contrapartida ao procedimento itinerante verificado na agricultura da região.

Este estudo veio confirmar a presença do efeito residual de fósforo em cultivos sucessivos de milho e caupi. Foi possível estimar esse efeito para cinco cultivos e constatar que a disponibilidade total do elemento tem tendência ascendente, assim como as produções obtidas. Esse fato leva a concluir que o experimento deva ser continuado, até que seja possível inferir sobre o número de cultivos e em que ponto a adubação de manutenção deva ser descontinuada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DA UNIDADE DE EXECUÇÃO DE PESQUISA DE ÂMBITO ESTADUAL DE MANAUS. Manaus, 1979.

RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DA UNIDADE DE EXECUÇÃO DE PESQUISA DE ÂMBITO ESTADUAL DE MANAUS. Manaus, 1981.

RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DA UNIDADE DE EXECUÇÃO DE PESQUISA DE ÂMBITO ESTADUAL DE MANAUS. Manaus, 1982-3.

SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Po-

tássio na agricultura brasileira; anais . . . Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1982. 55p.

SMYTH, T.J. & BASTOS, J.B. Adubação fosfatada para milho e caupi em latossolo amarelo álico do Trópico Úmido. s.l., s.ed., 1984. no prelo.

STAUBER, M.S. & BURT, O.R. Implicit estimate of residual nitrogen under fertilizer range conditions in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 65:897-901, 1973.

VIEIRA, R.C.M.T. "Análise econômica do uso de fertilizantes em milho, com referência às políticas do POLOCENTRO". Viçosa, s.ed. 1977. Tese Mestrado.

ANEXO 01. Produções individuais e acumuladas das culturas nos anos de 1982/83.

Cultura	Níveis de sulco	Níveis de adubação a lanço (P ₂ O ₅)					
		0	50	100	200	400	Média
Milho 1982	0	286	1.452	1.299	1.547	1.831	1.283
	25	1.264	1.570	1.266	1.264	1.512	1.375
	50	2.034	1.552	1.846	1.791	1.266	1.698
	100	1.935	1.854	1.476	1.454	1.435	1.631
	Média	1.380	1.607	1.472	1.514	1.511	
Feijão 1982 Caupi	0	236	832	1.077	1.546	1.478	1.034
	25	965	1.223	1.444	1.509	1.518	1.332
	50	1.270	1.305	1.561	1.643	1.523	1.460
	100	1.616	1.524	1.564	1.582	1.466	1.550
	Média	1.022	1.221	1.412	1.570	1.496	
Milho 1983	0	624	1.243	2.042	2.955	3.057	1.984
	25	2.295	2.419	2.747	2.810	3.186	2.691
	50	3.246	2.920	3.042	3.419	3.101	3.146
	100	3.259	3.435	3.356	3.359	3.322	3.346
	Média	2.356	2.504	2.797	3.136	3.167	
Feijão 1983 Caupi	0	15	45	139	684	1.098	396
	25	206	522	690	1.082	1.294	750
	50	1.031	1.029	1.127	1.426	1.260	1.175
	100	1.408	1.508	1.369	1.542	1.476	1.461
	Média	665	776	831	1.184	1.282	
Milho 1984	0	173	544	1.357	2.537	2.648	1.452
	25	2.825	2.808	2.660	2.493	3.100	2.777
	50	3.067	2.880	2.786	3.029	2.922	2.937
	100	3.215	3.028	3.014	3.134	2.803	3.041
	Média	2.320	2.318	2.454	2.798	2.868	

Fonte: Dados da pesquisa.

ANEXO 02. Matriz de correlações das variáveis do modelo.

	Y	F	F ²	D	W
Y	1,0	0,402	0,259	0,600	0,363
F		1,0	0,947	0,119	0,139
F ²			1,0	0,145	0,173
D				1,0	0,946
W					1,0