

FÓSFORO EM DOIS LATOSSOLOS DO ESTADO DE MATO GROSSO: III -

RELAÇÕES ENTRE PLANTA, SOLO E FÓSFORO*

Carlos Alberto Vasconcelos
José Mário Braga
Roberto Ferreira Novais
Onofre C.B. Pinto**

1. INTRODUÇÃO

O fósforo solúvel adicionado ao solo pode tomar diversas formas, tais como: fósforo solúvel em água, fósforo ligado a alumínio, a ferro e a cálcio, fósforo solúvel em redutor e fósforo sob formas orgânicas. Essas formas existem na dependência do pH, do produto de solubilidade dos diversos fosfatos, dos cátions presentes e do grau de intemperização do solo (10).

Desde que exista equilíbrio entre a fase sólida do solo e a fase líquida, torna-se importante o conhecimento das formas predominantes, após adubação fosfatada, e das influências no desenvolvimento vegetal. Tal importância se acentua, considerando a baixa mobilidade do fosfato no solo, conforme tem sido demonstrado por vários pesquisadores. Dyer, citado por WILD (23), após contínuos cultivos com trigo, constatou que a maior parte do fosfato não consumido pela cultura concentrou-se no solo a uma profundidade de 22,5cm.

Sob o aspecto de extratores químicos de fósforo aplicados para a nutrição vegetal, FASSBENDER (5) mostra as dificuldades na informação dos resultados obtidos. A variação da relação solo/solução, da concentração e do pH da solução, do tempo de extração etc., apresenta resultados diferentes ao autor em diferentes formas de fósforo no solo, apresentando ainda limitações quanto ao número de repetições, quanto à produtividade e às espécies (ou variedades) de planta.

Estas dificuldades, aliadas à necessidade de especificar melhor o sistema solo/planta acarreta, naturalmente, o desenvol-

* Parte da Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, pelo primeiro autor, como um dos requisitos para obtenção do grau de "Magister Scientiae".

Aceito para publicação em 28/02/1975.

** Respectivamente, Engenheiro-Agrônomo do Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Oeste, Mato Grosso, (Bolsista do Conselho Nacional de Pesquisas); Professor Adjunto e Professores Assistentes da Universidade Federal de Viçosa.

vimento de novas metodologias.

O presente trabalho mostra o emprego da adubação fosfatada na cultura do sorgo, baseada em níveis da sorção máxima de fósforo, calculada através da isoterma de Langmuir, em presença da calagem. Estudou-se, também, a variação das formas de fósforo (solúvel em NH_4Cl , NH_4F , NaOH e H_2SO_4), em função da concentração desse elemento no solo e em função do pH do meio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dois Latossolos, um vermelho escuro e outro roxo, com características químicas e físicas descritas anteriormente (19, 20), nos quais foi cultivado sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.).

2.1. Adubação, Calagem e Plantio

Baseando-se na curva de neutralização dos solos, foram determinadas as quantidades de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e $\text{Mg}(\text{OH})_2$, na proporção de 5:1, necessárias para se elevar o pH a 5,5, 6,0 e 6,5 no Latossolo Vermelho Escuro e a 6,0 e 6,5, no Latossolo Roxo.

Dentro de cada nível de pH, foram efetuadas adubações fosfatadas de tal forma a fornecer 0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,0 vezes a sorção máxima calculada pela isoterma de Langmuir com a solução de contacto ao pH natural de cada solo (19). O adubo KH_2PO_4 , passado em tamiz, com abertura de malha menor do que 1mm, foi adicionado a cada 4 quilos de solo, previamente incubado, misturado cuidadosamente e distribuído em vasos de plástico com capacidade de 1Kg.

Quanto aos demais nutrientes, (N, K e micronutrientes) foram constantes para todos os tratamentos e baseados na metodologia proposta por WAUGH e FITTS (22).

O sorgo (*Sorghum vulgare*, Pers.) foi semeado utilizando-se 20 sementes (85% de poder germinativo) por vaso. Posteriormente, foi feita uma irrigação, de tal forma a atingir 80% da capacidade de campo de cada solo.

Periodicamente, os vasos foram redistribuídos inteiramente ao acaso.

Através do controle do peso inicial e final, fez-se a reposição da água evaporada. Quinze dias após a germinação, levou-se a irrigação a 100% da capacidade de campo de cada solo, tendo-se o cuidado de efetuar um desbaste de 7 plantas por vaso, 20 dias após o plantio.

Decorridos 40 dias após a germinação, colheram-se as plantas, cujas partes aéreas e radicular foram pesadas, depois da secagem em estufa a 60-70°C.

Todas as análises estatísticas foram efetuadas através de computador IBM 1130, da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, (11).

2.2. Análises Químicas

2.2.1. Análise de Tecido Vegetal

A parte aérea e o sistema radicular das plantas foram analisadas, tendo em vista o fósforo, de acordo com a metodologia proposta por LOTT *et alii* (14), no laboratório do IPEACO. Os resultados foram expressos em percentagem de peso seco.

2.2.2. Análises de Solo

Por ocasião do plantio, amostras de solo de cada tratamento foram analisadas para determinação das formas de fósforo solúveis em NH_4Cl , em NH_4F , em NaOH e em H_2SO_4 , conforme metodologia apresentada por CHANG e JACKSON (3), adaptada por BRAGA (2); e alumínio trocável, conforme metodologia proposta por VETTORI (21).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de formas de fósforo nos dois solos estudados (Quadros 1 e 2) mostraram que, tanto no LR como no LVE, houve variação das formas de fósforo no solo em relação ao aumento da concentração de fósforo apenas. Ressalta-se, todavia, o fato da análise de variância ter apresentado um coeficiente de variação bastante elevado, dificultando uma conclusão satisfatória. Entretanto, resultados obtidos por Ensminger, citado por PEARSON (16), permitem inferir a necessidade de maior tempo de reação do fósforo no solo para se alcançar um equilíbrio entre as diversas formas. Conforme explicado pelo autor, após aplicar superfosfato por um período de 12 anos em vários solos, com e sem calagem, verificou-se que o fosfato extraído com NH_4F foi de 30 a 60% mais elevado nos solos sem calagem, indicando a existência de maior teor de P-A1 .

Nos Quadros 1 e 2, observa-se também a predominância das formas solúveis em NH_4F , 0,5N, $\text{pH}=8,2$, tanto para LVE como para o LR. No LVE, o aumento de P obtido, sob a forma solúvel em NH_4F , com aplicação de 102,47 mg de P/1000 gramas de solo, foi cerca de 7 a 9 vezes maior do que no tratamento sem adubação; para o LR, a mesma forma apresenta um aumento de 40 a 50 vezes com 747,67 mg de P/1000 gramas de solo.

As demais formas (NH_4Cl , NaOH e H_2SO_4) pouco variaram com o aumento do fósforo (cerca de duas vezes para NH_4Cl e 0,5 para NaOH e H_2SO_4) no LVE.

Quanto ao LR, as formas de fósforo solúveis em NH_4Cl (P-Sol) aumentaram cerca de 6 a 9 vezes, quando adubado com 747,67 mg de P/1000 g de solo. No mesmo nível de adubação, as formas solúveis em NaOH (P-Fe) aumentaram cerca de 4 a 6 vezes e, em H_2SO_4 (P-Ca), cerca de 3 vezes.

Esta maior efetividade de alumínio em reter o fósforo tem sido citada por diversos autores (1, 8, 9, 12, 13, 15, 18).

3.2. Produção Vegetal

3.2.1. Latossolo Vermelho Escuro, Textura Média

Obtidos os resultados relativos às produções da parte aérea e do sistema radicular, assim como a absorção total de fósforo (Quadro 3), fez-se a análise de variância. Pelos resultados dessa análise (Quadro 4), verifica-se um efeito altamente significativo para níveis de adubação fosfatada, de calagem e para interação entre ambos, sendo esses os fatores importantes nas variações de produções.

Este efeito, provavelmente esteja ligado ao alumínio trocável (6, 7).

QUADRO 1 - Formas de fósforo em quatro níveis de calagem e cinco de adubação fosfatada no LVE - média de quatro repetições

Calagem mg/1000 g	Fósforo mg/1000 g	Formas de fósforo solúvel em:			
		NHCl	NH ₄ F	NaOH	H ₂ SO ₄
0,0	0,00	3,55	7,54	6,39	3,37
	25,62	3,72	19,26	7,10	4,39
	51,24	4,52	40,38	7,00	6,30
	76,86	6,21	54,58	8,25	5,70
	102,47	8,07	65,94	8,52	5,86
386,0	0,00	2,48	6,39	3,90	5,15
	25,62	3,72	21,12	5,32	4,39
	51,24	4,26	35,94	6,39	9,78
	102,47	8,07	64,59	7,80	7,34
637,0	0,00	2,92	8,69	3,81	5,45
	25,62	2,39	21,56	3,99	6,74
	51,24	3,90	33,27	4,88	6,83
	76,86	4,17	49,12	5,94	7,89
	102,47	5,76	62,57	8,07	9,99
889,0	0,00	2,13	8,87	3,73	5,05
	25,62	3,99	23,25	4,88	8,78
	51,24	4,43	37,80	5,85	9,14
	76,86	5,39	48,54	6,92	8,16
	102,47	5,94	60,26	7,36	8,78

QUADRO 2 - Formas de fósforo em quatro níveis de calagem e cinco de adubação fosfatada no solo LR. Média de 4 repetições

Calagem mg/1000g	Fósforo mg/1000g	Formas de fósforo solúvel em:			
		NHCL	NH ₄ F	NaOH	H ₂ SO ₄
0,0	0,00	2,39	12,16	14,90	12,06
	186,92	3,55	124,69	37,80	21,56
	373,84	6,74	234,74	56,36	26,36
	560,76	11,09	398,49	69,67	31,59
	747,67	15,97	504,10	73,22	37,98
1.135,0	0,00	2,04	11,18	15,61	10,82
	186,92	4,17	108,89	39,07	20,59
	373,84	7,01	245,83	55,82	25,91
	560,76	10,89	380,29	77,39	32,75
	747,67	18,99	554,24	82,71	37,71
2.425,0	0,00	2,13	10,73	11,80	12,78
	186,92	3,10	100,64	37,09	23,51
	373,84	6,38	239,62	55,47	31,41
	560,76	11,09	349,23	66,56	32,39
	747,67	18,81	498,33	79,26	39,85

Esse elemento pode reduzir a solubilidade do fósforo no solo com conseqüente diminuição na absorção e transporte deste elemento pelas plantas. A adição de fósforo, em quantidades suficientes, pode precipitar o alumínio e eliminar o efeito nocivo, favorecendo a absorção e transporte de fósforo restante. Assim, a análise das Figuras 1 e 2 mostra o efeito da calagem no aumento da produção da parte aérea e do sistema radicular, no mesmo nível de adubação fosfatada.

QUADRO 3 - Produção da parte aérea e dos sistema radicular do sorgo (*sorghum vulgare* Pers.) em quatro níveis de adubação fosfatada no Latossolo Vermelho Escuro

Calagem mg/1000 g	Fósforo mg/1000 g	Produção da parte aérea mg/1000 g	Produção do sistema ra- dicular mg/1000 g
0,00	0,00	27,50	17,50
	25,62	90,00	45,00
	51,24	137,50	67,50
	76,86	242,50	70,00
	102,47	387,50	110,00
386,00	0,00	232,50	162,50
	25,62	842,50	450,00
	51,24	1.070,00	727,50
	76,86	1.182,50	862,50
	102,47	1.190,00	757,50
637,00	0,00	214,00	167,50
	25,62	1.237,50	707,50
	51,24	1.570,00	1.085,00
	76,86	1.775,00	1.205,00
	102,47	1.775,00	1.260,00
889,00	0,00	237,50	195,00
	25,62	1.670,00	982,50
	51,24	1.752,50	1.045,00
	76,86	1.890,00	1.302,50
	102,47	2.090,00	1.692,50

QUADRO 4 - Análise de variância para os dados obtidos na produção da parte aérea e do sistema radicular em quatro níveis de calagem e cinco de adubação fosfatada no LVE

Fonte de variação	GL	Sistema radicular 1/		Parte aérea 2/	
		Q.M.	F.	Q.M.	F
Níveis de P	4	1.675.900	50.12 ⁺⁺	3.588.350	137.50 ⁺⁺
Níveis de Ca1	3	3.727.320	111.47 ⁺⁺	7.085.680	271.51 ⁺⁺
P x Ca1	12	231.203	6.94 ⁺⁺	340.134	
Erro	60	33.438,7		26,438,7	

1/ - C.V. 28,32%

2/ - C.V. 16,47%

OBS.: ++ - significativo ao nível de 1%.

$$Y = -89,9696 + 8,66155P - 0,075005P^2 + 0,952934C - 0,0006193C^2 + 0,0138418PC$$

$$R^2 = 0,967632$$

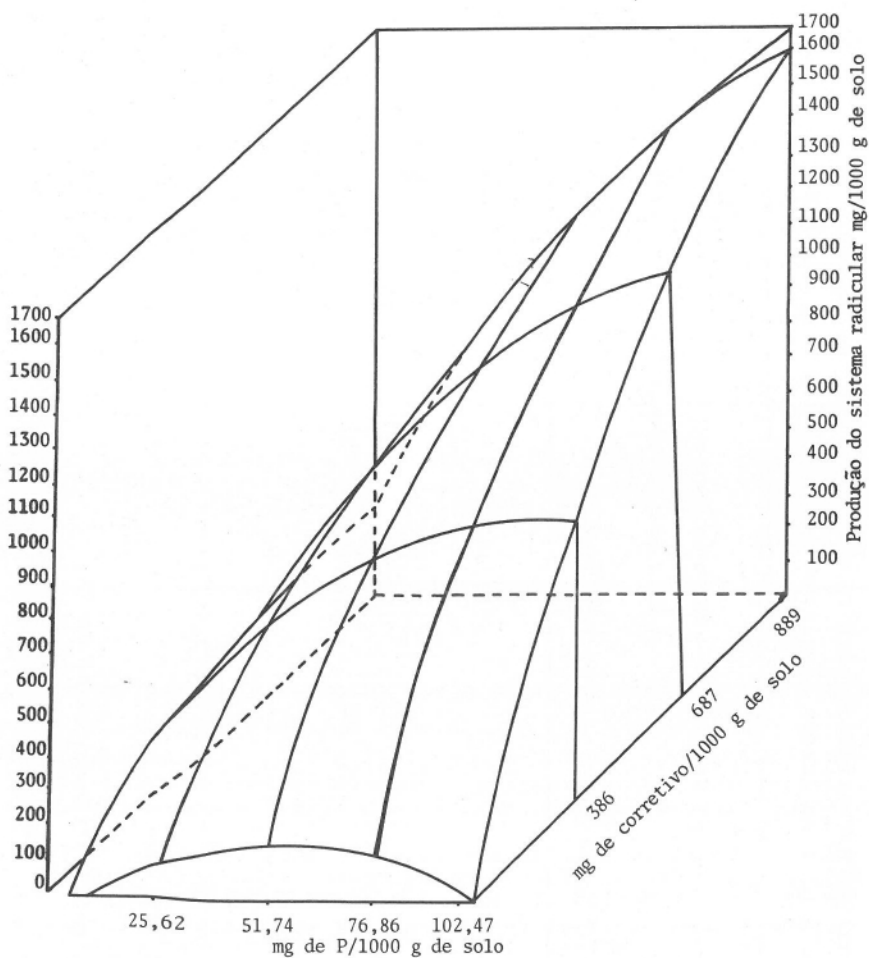


FIGURA 1 - Produção de raízes em quatro níveis de calagem e cinco de adubação fosfatada LVE.

$$Y = -218,578 + 19,4956P - 0,154584P^2 + 1,55316C - 0,000837C^2 + 0,014218PC$$

$$R^2 = 0,939445$$

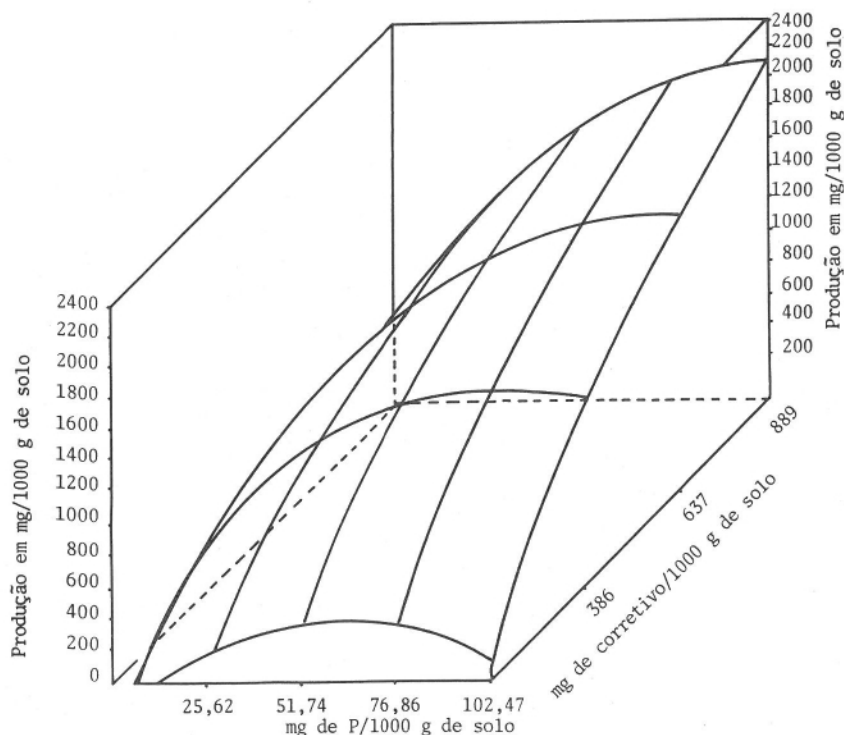


FIGURA 2 - Produção da parte aérea em cinco níveis de adubação fosfatada e quatro de calagem no solo LVE.

Ao se aumentar, portanto, o nível de Ca e Mg no solo, as produções aumentaram consideravelmente em todos os níveis de fósforo, partindo de uma produção praticamente nula, sem adição de Ca e Mg.

Estes resultados poderiam ser explicados tanto pela eliminação do teor de alumínio trocável como pelo fornecimento de Ca e Mg, que poderiam limitar a produção. Será difícil, no presente trabalho, distinguir a verdadeira interferência. O alumínio trocável, entretanto, diminuiu sensivelmente com o aumento da calagem e com a adubação fosfatada (Quadro 5).

Através do Quadro 5, observa-se a existência de teores elevados de alumínio trocável ao pH natural do solo. Estas evidências, aliadas às produções praticamente nulas ao pH natural do solo em todos os níveis de adubação fosfatada, levam a atribuir, como efeito principal da calagem, a eliminação da toxidez produzida pela presença do alumínio trocável.

QUADRO 5 - Variação do teor de alumínio trocável em função do nível de calagem e da adubação fosfatada nos solos LVE e LR

Latossolo Vermelho Escuro				Latossolo Roxo	
Calagem mg /1000 g	Fósforo mg /1000 g	Al trocável eq.mg/100 g	Calagem mg /1000 g	Fósforo mg /1000 g	Al trocável eq.mg/100 g
0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	1,23
	25,62	0,84		186,92	1,02
	1,24	0,77		373,84	0,98
	76,86	0,78		560,76	0,79
	102,47	0,78		747,67	0,72
386,00	0,00	0,38	1.135,00	180,00	0,62
	25,62	0,44		186,92	0,39
	51,24	0,40		373,84	0,41
	76,86	0,38		560,76	0,32
	102,47	0,33		747,67	0,28
637,00	0,00	0,30	2.425,00	0,00	0,20
	25,00	0,40		186,92	0,20
	51,24	0,35		373,84	0,19
	76,86	0,30		560,84	0,19
	102,47	0,34		747,67	0,19
	0,00	0,23			
	25,62	0,30			
	51,24	0,19			
	76,86	0,13			
	102,47	0,15			

A ausência dessa toxidez, favorecendo a absorção de Ca, Mg e P, forneceu o aumento das produções do sistema radicular, da parte aérea e da absorção de fósforo.

Diversos trabalhos têm evidenciado que a indução dos sintomas de deficiência de fósforo não está, muitas vezes, relacionado com o aumento do fornecimento desse elemento ao meio em que se estuda (8).

O fósforo somente reduz a toxidez do alumínio quando há condições para sua precipitação na solução do solo. Essa observação é válida, inclusive para os resultados obtidos por COLEMAN *et alii* (4), quando afirmam que o alumínio trocável é bem mais ativo na sorção, quando hidrolisado.

A análise de regressão obtida entre a relação de fósforo total, encontrado na parte aérea e no sistema radicular, e os níveis de P aplicados (Figura 3), permite observar maior valor do fósforo encontrado na parte aérea ao nível do pH do solo. Essa relação diminui, com a adição de $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Mg(OH)}_2$, até um valor constante próximo de 1,8 em todos os níveis de fósforo, quando é aplicado o nível máximo de calagem.

A regressão encontrada (Figura 3) está em perfeito acordo com os resultados obtidos por FOY e BROWN (6), onde se verifica que o excesso de alumínio trocável limita a absorção e a translocação de fósforo. RAGLAND e COLEMAN (17), evidenciaram também uma redução de produção nas raízes de sorgo, até que 80% do alumínio trocável fosse neutralizado.

É interessante observar o valor constante ao redor de 1,8 na relação P parte aérea / P sistema radicular, em todos os níveis de adubação fosfatada. A tendência desse valor no LR, Figura 4, é aumentar com a adubação fosfatada. Possivelmente, nesse caso, algum outro elemento tenha se tornado limitante para o pleno desenvolvimento do vegetal. Tal hipótese pode ser reafirmada ao analisar as representações gráficas das equações, entre as produções da parte aérea e das raízes com seus respectivos teores de fósforo, Figuras 5 e 6.

Por intermédio dessas equações, verifica-se o perfeito ajustamento na equação do 2º grau aos dados da parte aérea, em todos os níveis de calagem. Ao analisar os teores máximos de fósforo absorvido, verifica-se que o nível de 0,0 de calagem correspondeu a uma absorção de 1,75 mg de P, equivalente a 102,47 mg de P/1000 gramas de solo. Ao nível de 386,0 mg de corretivo/1000 gramas de solo, o máximo de absorção de P foi de 4,021 mg, correspondendo a 76,86 mg de P/1000 gramas de solo. Ao nível de 637,0 mg de corretivo/1000 gramas de solo, houve um máximo de absorção de 5,50 mg de P, equivalente a 7686 mg de P/100g de solo e, ao nível de 889,0 de corretivo por 1000 gramas de solo. Houve um máximo de 5,57 mg de P, correspondendo a 76,86 mg de p/1000 g de solo. Desta forma, ao se aumentar o nível de Ca + Mg no solo, obtêm-se respostas positivas na produção com conseqüente aumento no teor de fósforo absorvido.

Quanto ao sistema radicular, apenas ao nível de 386,0 mg de corretivo/1000 de solo, obteve-se uma absorção máxima de fósforo (1,914 mg) equivalente a 76,88 mg de P/1000 g de solo. As demais equações, tendendo à linearidade, tiveram o máximo extrapolado.

Confrontando estes resultados com os obtidos para as produções da parte aérea e do sistema radicular e da absorção de P

como variáveis dependentes dos níveis de adubação e calagem, Figuras 1, 2, 7, 8, verifica-se haver um consumo de luxo na absorção de fósforo.

Tomando-se como exemplo o nível de 889,0 mg de corretivo/1000g de solo, na dependência dos níveis de fósforo em adubação, verifica-se efeito praticamente linear na produção da parte aérea e do sistema radicular, com máximo extrapolado, Figuras 1 e 2.

$$Y = 1,31011 + 0,03619 P - 0,00223 C + 0,000003 C^2 - 0,000039 PC$$

$$R^2 = 0,890503$$

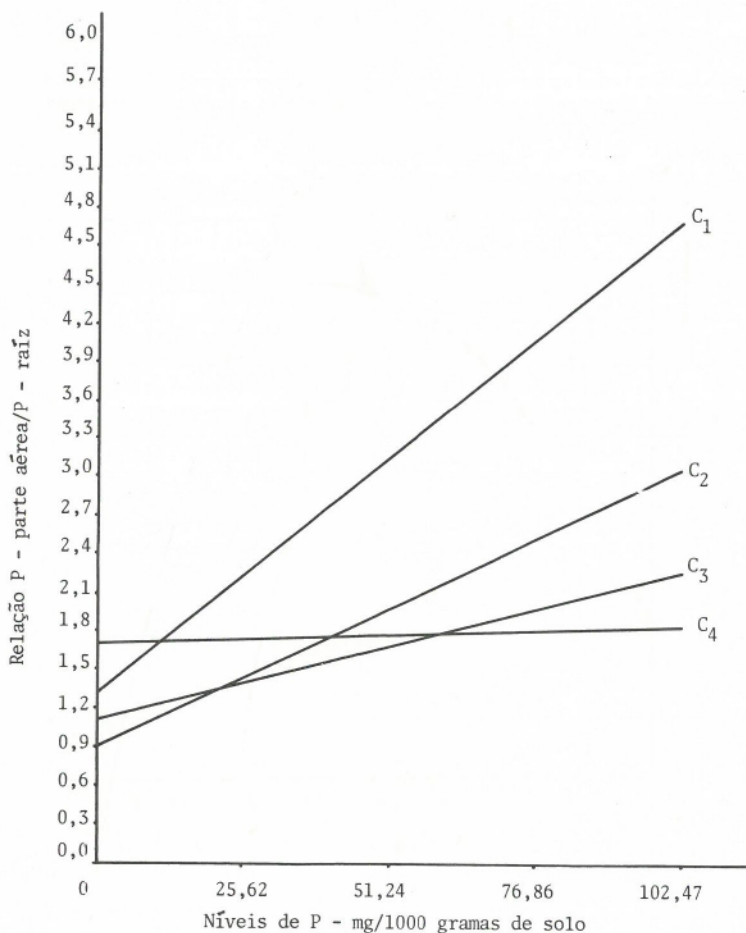


FIGURA 3 - Valores obtidos na relação entre o P da parte aérea e o P do sistema radicular no solo LVE. C1 = 0,00; C2 = 386,0; C3 = 637,0 e C4 = 889,0 mg de corretivo/1000 gramas de solo.

Nas mesmas condições, a quantidade de fósforo absorvido, Figuras 7 e 8, apresenta efeito linear. Todavia, a relação das produções com a quantidade de fósforo absorvido apresenta um teor máximo de fósforo na parte aérea, correspondente a 76,86 mg de P/1000 gramas de solo. No sistema radicular, o efeito é linear. Desta forma, pode-se verificar um consumo na absorção de fósforo, reafirmando a deficiência de outro nutritivo, como indica a Figura 3.

$$Y = 1,4067 + 0,0119 P - 0,0000116 P^2$$

$$R^2 = 0,8192$$

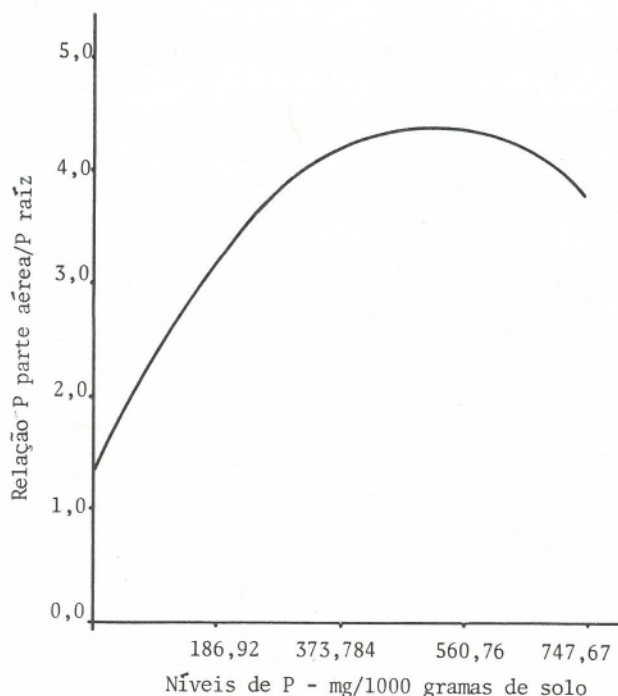


FIGURA 4 - Relação entre o teor de fósforo na parte aérea e no sistema radicular no Latossolo Roxo.

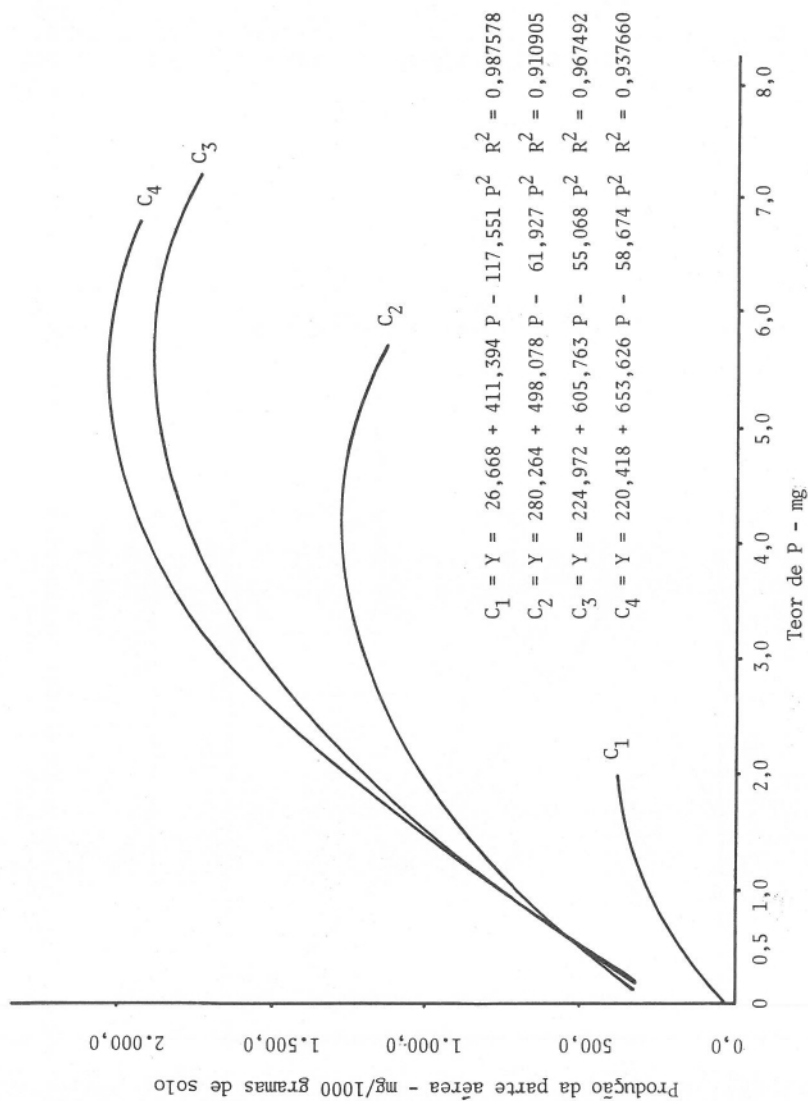


FIGURA 5 - Produção da parte aérea e do teor de P absorvido no LVE. $C_1 = 0,00$; $C_2 = 386,0$; $C_3 = 637,0$ e $C_4 = 889,0$ mg de P/1000 gramas de solo.

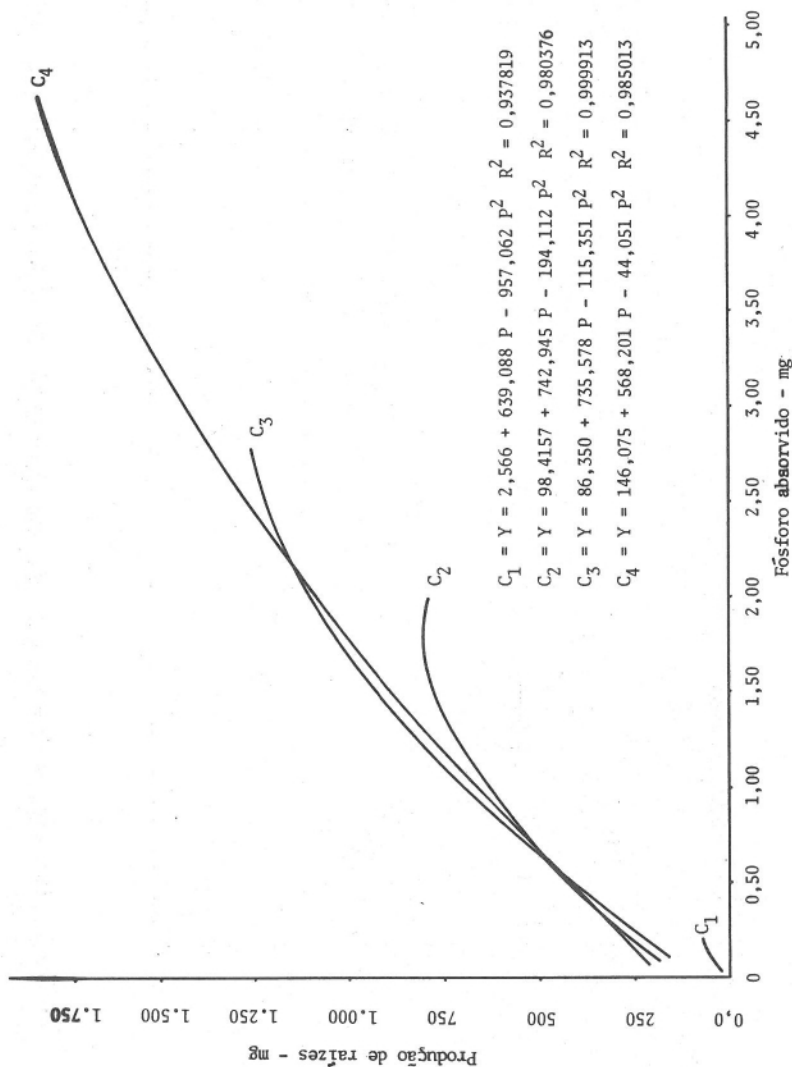


FIGURA 6 - Produção de raízes e do fósforo absorvido em quatro níveis de calagem e cinco de fósforo - LVE - $C_1 = 0,00$; $C_2 = 386,0$; $C_3 = 637,0$ e $C_4 = 889,0$ mg de corretivo no solo.

$$Y = - 0,359775 + 0,0234469 P + 0,0007292 C + 0,00005655 PC$$

$$R^2 = 0,950534$$

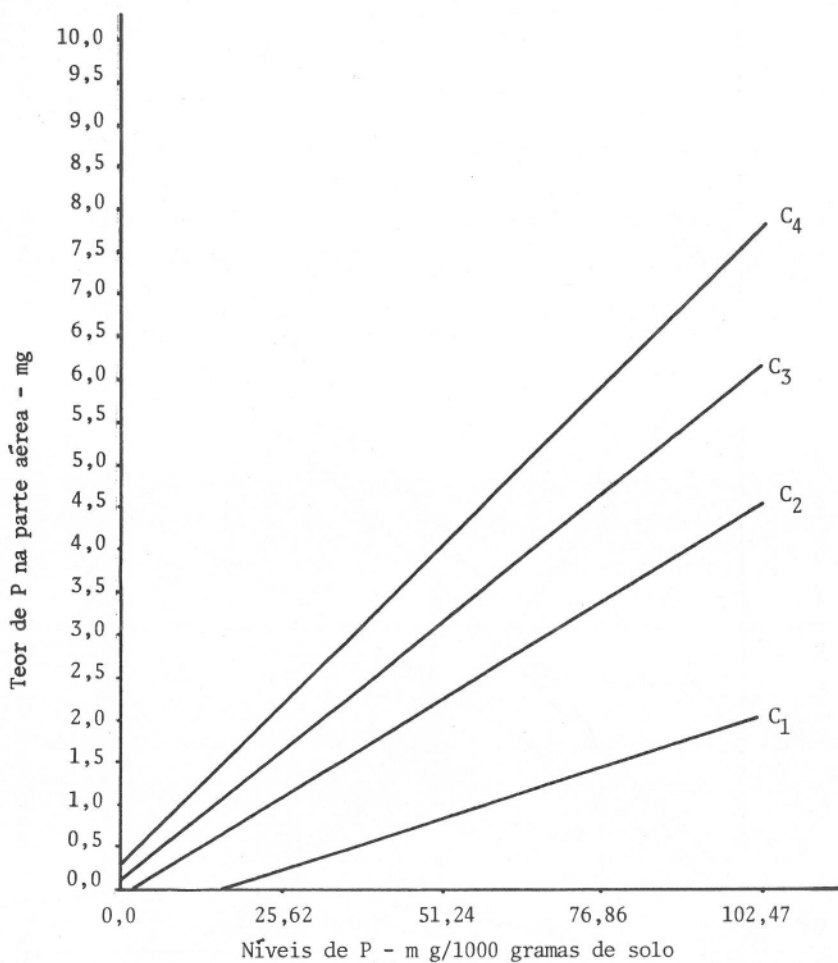


FIGURA 7 - Teor de fósforo na parte aérea em quatro níveis de calagem e cinco de adubação fosfatada no solo Latossolo Vermelho Escuro. C₁ = 0,00; C₂ = 386,0; C₃ = 637,0 e C₄ = 889,0 mg de corretivos/1000 gramas de solo.

$$Y = -0,17887 + 0,0100849 P - 0,0000529 P^2 + 0,001587 C - 0,0000014 C^2 + 0,0000353 PC.$$

$$R^2 = 0,980909$$

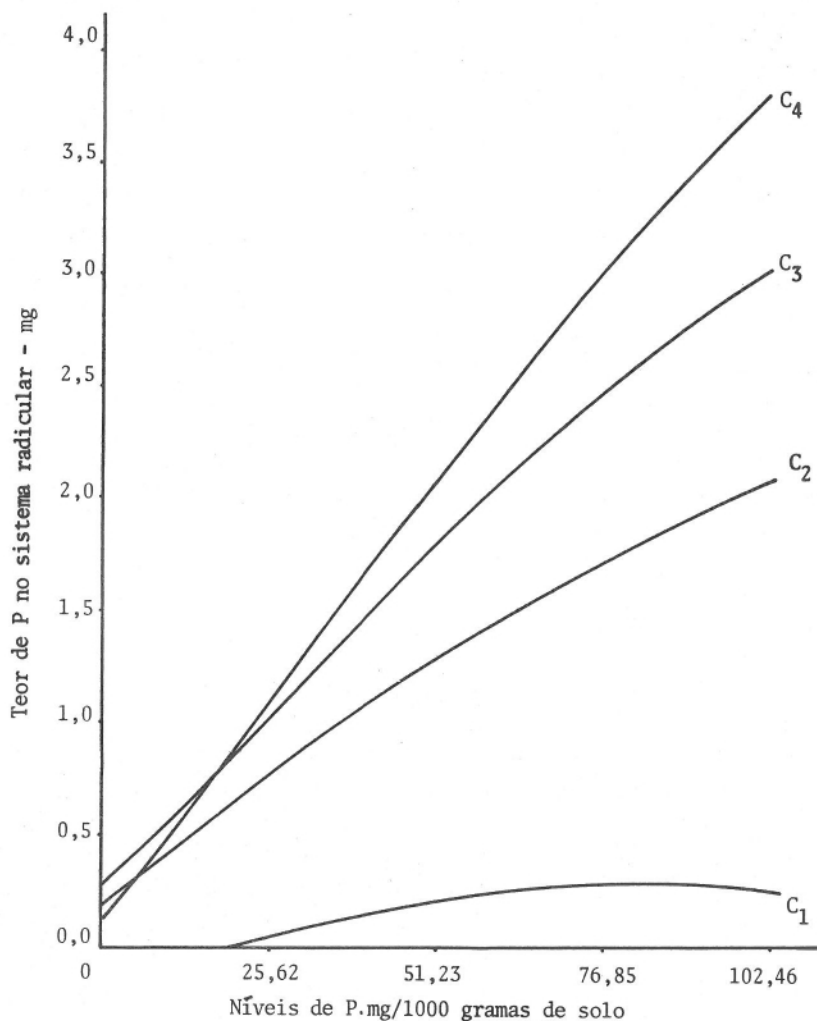


FIGURA 8 - Sistema radicular e o teor de fósforo absorvido em quatro níveis de calagem e cinco de adubação fosfatada. C₁ = 0,00; C₂ = 386,0; C₃ = 637,0 e C₄ = 889,0 mg de corretivos/1000 gramas de solo.

3.2. Latossolo Roxo Distrófico

Baseando nos dados relativos às produções da parte aérea e do sistema radicular do sorgo, obtidos no solo LR(Quadro 6), fez-se a análise de variância (Quadro 7), segundo a qual pode-se constatar efeitos altamente significativos para os componentes estudados: níveis de adubação fosfatada, níveis de calagem e para a interação entre fósforo e calagem.

No ajustamento das regressões múltiplas foram tomadas as produções do sistema radicular e da parte aérea e os teores de fósforo analisados em ambas as partes do vegetal, como variáveis dependentes dos níveis de calagem e de fósforo.

QUADRO 6 - Produção da parte aérea e do sistema radicular do sorgo (*Sorghum vulgare*, Pers) em três níveis de calagem e cinco de adubação fosfatada no Latossolo Roxo

Calagem mg/1000 g	Fósforo mg de P/1000g	Produção da parte aérea mg/1000 g	Produção do sis- tema radicular mg/1000 g
0,00	0,00	110,00	142,50
	186,92	1.062,50	582,50
	373,84	1.737,50	977,50
	560,76	2.102,50	1.400,00
	747,67	2.450,00	1.597,50
1.135,00	0,00	232,50	232,50
	186,92	1.777,50	1.425,00
	373,84	2.197,50	1.715,00
	560,76	2.540,00	1.947,50
	747,67	2.615,00	2.040,00
2.425,00	0,00	262,50	250,00
	186,92	3.125,00	2.190,00
	373,84	3.687,50	2.380,00
	560,76	4.627,50	2.307,50
	747,67	4.357,50	2.547,50

Pelos resultados e representações gráficas dos dados de produção da parte aérea e do sistema radicular (Figuras 9 e 10 verifica-se aumentos consideráveis de produção em função do aumento da calagem. Desta forma, quando se aumenta a calagem, para o mesmo nível de adubação fosfatada, obtêm-se expressivos aumentos na produção. Por outro lado, com o aumento da adubação fosfatada, dentro de um mesmo nível de calagem, as produções tendem a atingir um máximo (variável com o nível de calagem) próximo a 560,76 e 747,64 mg de P/1000 gramas de solo. Quanto maior for o nível de corretivo usado, maior será a eficiência da adubação fosfatada.

QUADRO 7 - Análise de variância para os dados obtidos na produção da parte aérea e sistema radicular em quatro níveis de calagem e cinco de adubação fosfatada no Latossolo Roxo

Fonte de variação	Sistema radicular			Parte aérea 2/	
		Q.M.	F.	Q.M.	F.
Nível de P	4	6.497.030	423,84 ⁺⁺	17.493.800	302,88 ⁺⁺
Nível de Cal	2	4.958.060	323,45 ⁺⁺	16.317.800	282,52 ⁺⁺
P x Cal	8	337.311	22,00 ⁺⁺	1.000.720	17,33 ⁺⁺

1/ C.V. = 8,54 %

2/ C.V. = 10,96%

++ - Significativo ao nível de 1%.

Muito embora os teores de alumínio trocável no LR sejam equivalentes aos do LVE, as produções, no LR, foram significativamente aumentadas com a elevação da adubação fosfatada em nível de pH natural. Sendo assim, os teores de fósforo adicionados apresentaram-se mais efetivos na eliminação da toxidez de alumínio trocável do que no LVE. Sendo os teores de fósforo solúveis em NH_4Cl , NH_4F , NaOH , e H_2SO_4 , bem mais expressivos no LR do que no LVE, Quadros 1 e 2, fica esse fato quantitativamente explicado.

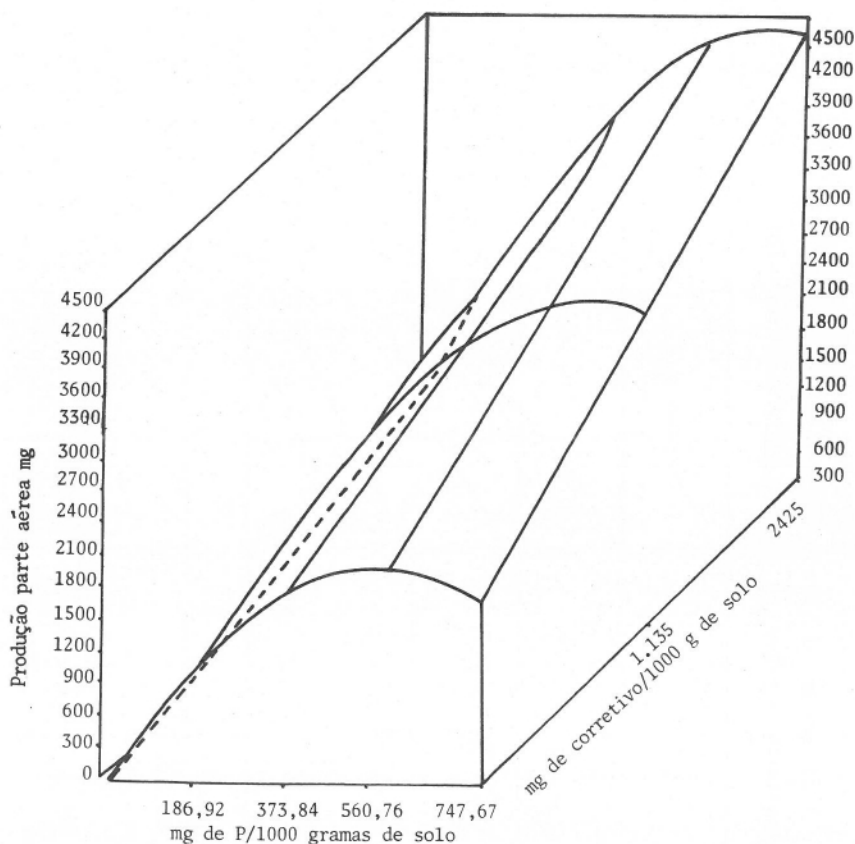


FIGURA 9 - Produção de parte aérea em três níveis de calagem e cinco de adubação fosfatada no Latossolo Roxo.

Analisando os teores de fósforo na parte aérea e no sistema radicular, (Figuras 11, 12, verifica-se a presença de maiores quantidades de fósforo para os níveis mais elevados de cálcio e magnésio. Tais fatos podem ser explicados tanto pela eliminação da toxidez de alumínio, indispensável ao melhor aproveitamento da adubação fosfatada, como também pelo fornecimento de algum outro elemento nutritivo em caráter limitante.

$$Y = -105,565 + 5,23379P - 0,0043458P^2 + 0,438695C - 0,00004528C^2 + 0,00021778PC$$

$$R^2 = 0,908671$$

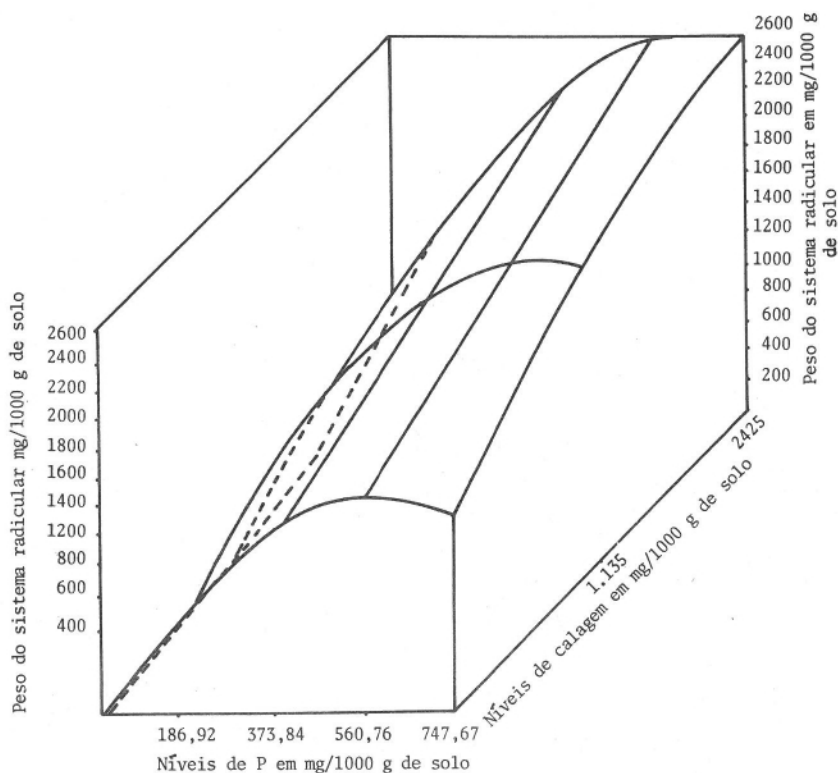


FIGURA 10 - Peso de raízes em três níveis e calagem e cinco de adubação fosfatada no Latossolo Roxo.

O efeito linear, observado na Figura 13, entre a produção da parte aérea e os teores de fósforo analisados nessa parte do vegetal, desenvolvido no solo em pH natural e ao nível de 1.135,00 mg de corretivo/1000 gramas de solo, só pode indicar o baixo aproveitamento da adubação fosfatadas, principalmente quando se observa que, ao nível de Ca + Mg no solo (2.425,00mg/1000 gramas de solo), o máximo de absorção de fósforo (28,53 mg de P) é obtido ao nível de 4/5 da sorção máxima do LR (560,76 mg de P/1000 de solo).

$$Y = -1,51989 + 0,048769 P - 0,0000341 P^2 + 0,0008039 C + 0,00000777 PC$$

$$R^2 = 0,942162$$

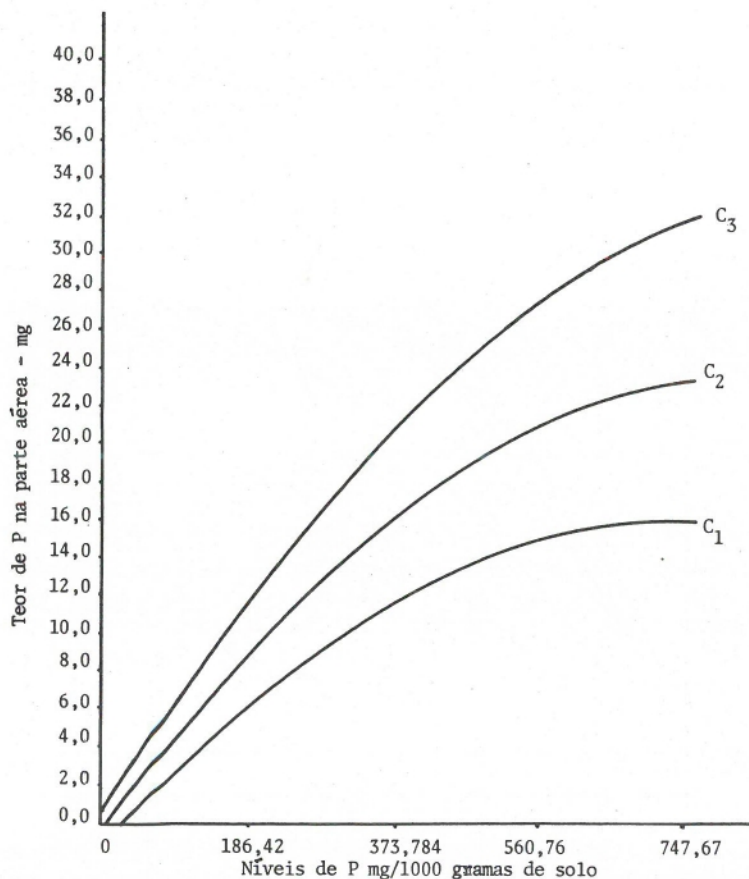


FIGURA 11 - Teor de fósforo encontrado na parte aérea em três níveis de calagem e cinco de adubação fosfatada no Latossolo Roxo. C₁ = 0,00; C₂ = 1.135,0 e C₃ = 2.425,0 mg de corretivo/1000 gramas de solo.

Quanto à produção de raízes e ao seu teor de fósforo, Figura 14, verifica-se às maiores absorções de fósforo correspondem às maiores produções. O efeito linear é obtido somente ao pH natural do solo. Ao nível de 1.135 mg de corretivo/1000 gramas de solo, apesar de se ter encontrado melhor ajustamento para a equação do 2º grau, o máximo de absorção torna-se extrapolado. Por outro lado, ao nível de 2.425 de corretivo/1000 g, o máximo de fósforo analisado, 6,876 mg de P, corresponde aproximadamente à adubação de 560,76 mg de P/1000 gramas de solo (4/5 da sorção máxima).

$$Y = -0,33377 + 0,010804 P - 0,0000065 P^2 + 0,000506 C + 0,00000141 PC$$

$$R^2 = 0,965810$$

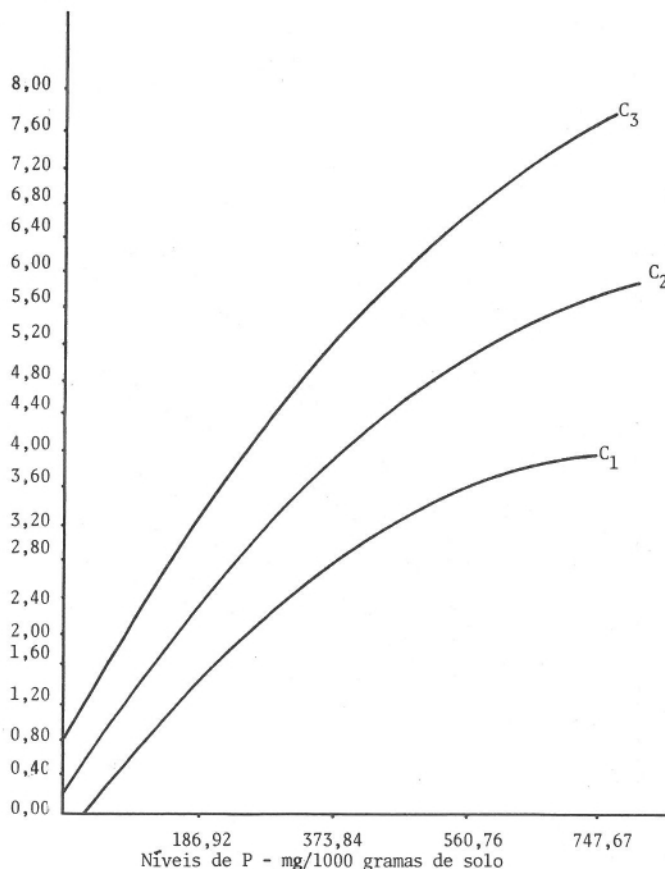


FIGURA 12 - Teor de fósforo encontrado no sistema radicular desenvolvido no Latossolo Roxo. C1 = 0,00; C2 = 1.135,00 e C3 = 2.425,00 mg de corretivo/1.000 gramas de solo.

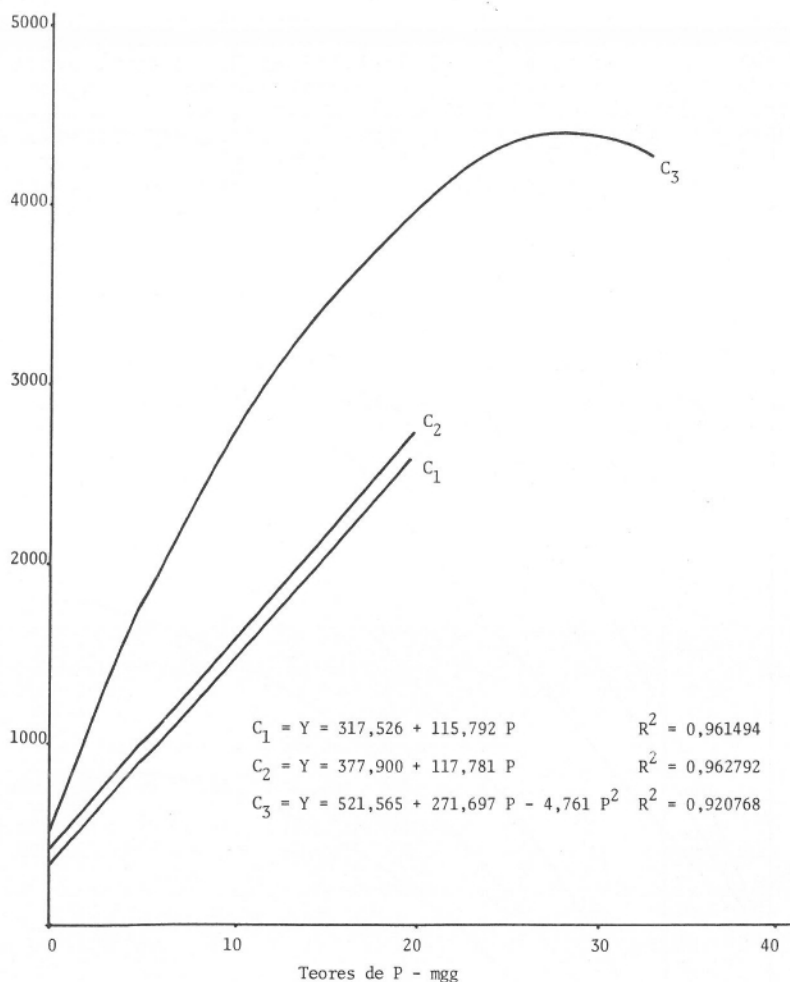


FIGURA 13 - Produção da parte aérea e dos teores de fósforo analisados no Latossolo Roxo. $C_1 = 0,00$; $C_2 = 1.135,0$ e $C_3 = 2.425,0$ mg de corretivo/1000 gramas de solo.

Verifica-se, portanto, aumentos consideráveis, tanto das produções como da absorção de fósforo com o fornecimento de cálcio e magnésio até um máximo de 560,76 mg de P/1000 g de solo.

Diversos pesquisadores, citados nos trabalhos apresentados por FOY e BROWN (8), têm encontrado sintomas evidentes da toxidez de alumínio, reduzindo a absorção de P e Ca, tanto na

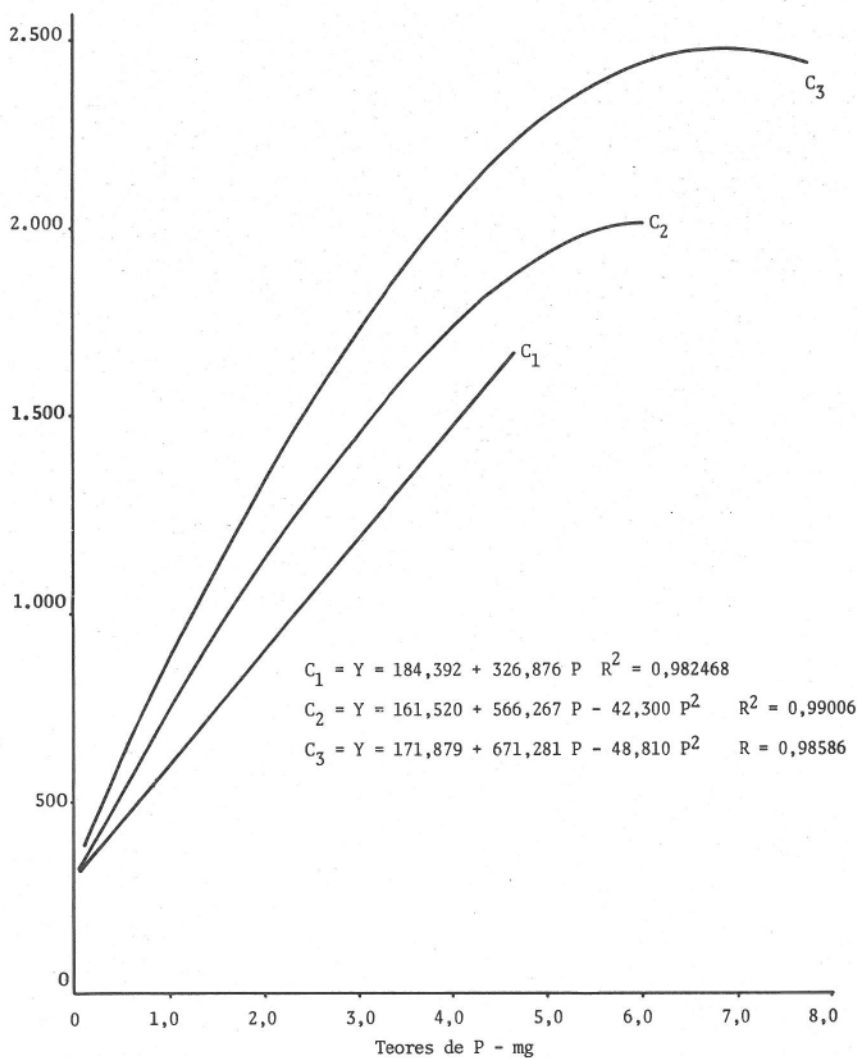


FIGURA 14 - Produção de raízes e seus teores de P em três níveis de calagem e cinco de fósforo no Latossolo Roxo. C₁ = 0,00; C₂ = 1.135,0 e C₃ = 2.425,0 mg de corretivo/1000 gramas de solo.

parte aérea como no sistema radicular, sendo tal redução maior na parte aérea. Analisando-se a figura 14, relação entre fósforo analisado na parte aérea e no sistema radicular, verifica-se a concordância com as observações apresentadas pelos autores. A níveis mais baixos de adubação fosfatada, essa relação decresce, indicando maiores teores no sistema radicular. Por meio dessa relação, verifica-se também que apenas a adubação fosfatada é suficiente para induzir o aumento das absorções de fósforo. A calagem, manifestando seu efeito de maneira análoga, tanto no sistema radicular como na parte aérea, não apresenta significância na relação entre o P analisado na parte aérea e no sistema radicular. Dessa forma, a presença de cálcio e magnésio no sistema solo LR x planta tem como efeito principal o fornecimento de cálcio e magnésio como elementos limitantes, favorecendo o desenvolvimento vegetal e a eficiência da adubação fosfatada.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo avaliar e discutir algumas implicações da adubação fosfatada baseada na capacidade máxima de sorção de fosfato pelo solo, em presença de níveis de calagem, na cultura do sorgo (*Sorghum vulgare*, Pres), em dois Latossolos do Estado de Mato Grosso - Latossolo Vermelho Escuro textura média e Latossolos Roxo distrófico. Quantificaram-se as produções da parte aérea, do sistema radicular e os seus respectivos teores de fósforo, e avaliaram-se, dentro de cada tratamento, as transformações das formas de fósforo solúveis em NH_4Cl , NH_4F , NaOH e H_2SO_4 .

Os resultados permitiram observar não haver efeito da calagem sobre as formas de fósforo solúvel em NH_4Cl , NH_4F , NaOH e H_2SO_4 . Sugere-se, entretanto, a necessidade de maior tempo de reação do fósforo no solo para se alcançar um equilíbrio entre as diversas formas.

Na análise das produções de sorgo, verificaram-se que as produções e os teores de fósforo absorvidos pelas plantas, (nos dois solos), tiveram um máximo quando se utilizou o nível de 0,75 vezes a sorção máxima, (76,86 e 560,70 mg de P/1000 gramas de solos, LVE e LR, respectivamente), ao nível máximo de calagem, (889,0 mg e 2.425,0 mg de corretivo, LVE e LR, respectivamente).

Estas observações sugerem que a adubação fosfatada deve ser feita em níveis de capacidade de saturação máxima de fósforo pelo solo e/ou fosfatagem imediata, alicerçadas em estudos de equilíbrio nutricional.

O fósforo, adicionado em concentrações elevadas, foi efetivo na eliminação da toxidez de alumínio trocável no LR; no LVE não se constatou este efeito. Assim, pode-se inferir que cada solo necessita de estudos que caracterizem suas reações, favorecendo quantificar e qualificar o equilíbrio entre os diversos nutrientes envolvidos na produção máxima.

5. SUMMARY

The objective of this work was to evaluate some implications of phosphorus Fertilization based on the maximum phosphorus absorption capacity of the soil in the presence of varying

calcium levels on sorghum in the greenhouse.

Results showed that lime did not significantly affect the soluble phosphorus forms. Sorghum production (aerial and root parts) was maximum when the amount of added phosphorus was 0,75 maximum absorption. There result suggested that phosphorus fertilization showed be made at levels that will saturate the absorption capacity of the soil and for shoved be based on nutritional balance studies.

6. LITERATURA CITADA

1. BLACK, C.A. Soil Acidity. In BLACK, C.A. *Soil plant relationships*, 2. ed. New York, John Wiley Sons, 1968. cap. 5 273-355.
2. BRAGA, J.M. Adaptação do método de fracionamento a trabalhos de rotina. In: 8ª REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO. Itabuna, 1972. Comunicações Técnicas... Itabuna. 1972. p. 48.
3. CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*, Baltimore, 84(2):133-44, 1957.
4. COLEMAN, N.T.; THORUP, J.T. JACKSON, W.A. Phosphate adsorption reactions that involve exchangeable Al. *Soil Science*, Baltimore, 90(1):1-7. 1960.
5. FASSBENDER, HW. Descripción físico-química del sistema fertilizante fosfatado-suelo-planta. *Turrialba*, Costa Rica, 16(3):237-46. 1966.
6. FOY, C.D. & BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. 1. Characterization of aluminum toxicity in cotton. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* Madison, 27:403-7. 1963.
7. —. Toxic factors in acid soils. 2. Differential aluminum tolerance of plant species. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* Madison, 28: 27-32. 1964:
8. FRANKLIN, W.T. & REISENAUER, H.M. Chemical characteristics of soils related to phosphorus fixation and availability *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* Madison, 90:192-200. 1960.
9. HEMWALL, J.B. The fixation of phosphorus by soils. *Adv. in Agronomy*, New York, 9:95-112. 1957.
10. HSU, P.H. Adsorption of phosphate by aluminium and iron in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* Madison, 28(4):474-8, 1964.
11. IBM - International Business Machines Corporation, 1130, Statistical System (1130 - CA - 06X). User's Manual 2ª ed. New York, 1967. 118 p.
12. LARSEN, S. Soil phosphorus. *Adv. in Agronomy*, New York, 19 151-211. 1967.

13. LEAL, J.R. *Adsorção de fosfato em latossolos sob cerrado*. Rio de Janeiro, 1971. 96 p. (Tese M.S.).
14. LOTT, W.L. GALLO, J.R. & MEDCALF, J.C. *A técnica de análise foliar aplicada ao cafeeiro*. Instituto Agrônômico de Campinas, 1956. 29p. (Bol. Téc. 9).
15. MULJADI, D. POSNER, A.M. QUIRK, J.P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudo-boehmite, 1. The isotherms and the effect of pH on adsorption. *J. Soil Sci.* Oxford, 17(2):212-29. 1966.
16. PEARSON, R. Liming and fertilizer efficiency. *Agron. J.* Madison, 50:366-72, 1958.
17. RAGLAND, J.L. & SEAY, W.A. The effect of exchangeable calcium on the retention and fixation of phosphorus by clay fraction of soil *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* Madison; 18: 184-6. 1954.
18. SYERS, J.L. EVANS, T.D. WILLIAMS, J.D.H. MURDOCK, J. T. Phosphate sorption parameters of representative soils from Rio Grande do Sul, Brazil, *Soil Science*, Baltimore, 112(4):267-75. 1971.
19. VASCONCELLOS, C.A. BRAGA, J.M. NOVAIS, R.F. PINTO, O.C.B. Fósforo em dois latossolos do Estado de Mato Grosso. I. Sorção de fosfato. *Experientiae*, Viçosa, 18(12):267-85. dez, 1974.
20. VASCONCELLOS, C.A. BRAGA, J.M. NOVAIS, R.F. & BRUMANO PINTO O.C. Fósforo em dois Latossolos do Estado de Mato Grosso 2. Dessorção de fosfato. *Experientiae*, Viçosa, (em publicação).
21. VETTORI, L. *Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro. 1969. 24p. (Bol. Tec. 7).
22. WAUCH, D.L. FITTS, J.W. *Estudos para interpretação de Testes de Solo: de laboratório e em vasos*. International Soil Testing. Madison. 1966. 33p. (Bol. Téc. 7).
23. WILD, A. The retention of phosphate by soil. *J. Soil Sci.* Oxford, 1(2):221-380. 1950.