

Manejo da Adubação Fosfatada em Solos de Cerrado

Roberto Ferreira Novais

(Prof. Emérito UFV)

Sarah Vieira Novais

(Doutorando ESALQ/USP)

Sinop (MT)

17-08-2017

The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics

Eric D. Roy^{1,2*}, Peter D. Richards^{1,3}, Luiz A. Martinelli⁴, Luciana Della Coletta⁴, Silvia Rafaela Machado Lins⁴, Felipe Ferraz Vazquez⁵, Edwin Willig⁶, Stephanie A. Spera^{1,6}, Leah K. VanWey^{1,7} and Stephen Porder^{1,8}

The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics

“Here we use farm-, state-, and national level data from Brazil to understand how much inorganic phosphorus fertilizer, derived from finite resources of phosphate rock, has been needed to intensify agriculture on Brazil’s phosphorus-fixing soils”(p.1). Mais adiante, na linha de pensamento que a produção agrícola nos trópicos pode ter um custo insustentável ao Planeta, os autores desse artigo acrescentam: “Relying on high-input, intensive tropical agriculture to support global food supply carries long-term risks. The Earth’s upper crust has limited stocks of high-quality phosphate rock and the possible fuels used along the fertilizer supply chain” (p.5).

Adsorção/Fixação de Fósforo no Solo

Tabela 1 - Fósforo-remanescente (P-rem) como variável da aplicação de doses crescentes de P, em amostras de duas camadas de um Latossolos submetidas a diferentes tempos de incubação.

Camada	Dose de P (mg dm ⁻³)											
	0				250				2250			
	Tempo de incubação (dia)											
	0	30	60	90	0	30	60	90	0	30	60	90
Cm	----- P-rem (mg L ⁻¹) -----											
0-20 ⁽¹⁾	11,2	10,9	11,0	11,1	12,8	12,0	12,3	11,3	44,0	37,4	34,2	32,2
20-40 ⁽²⁾	5,7	5,4	5,9	5,2	11,3	9,5	7,2	7,6	37,3	31,0	28,1	26,0

Fonte: Castro (dados não publicados): ⁽¹⁾69,1 g kg⁻¹ de MO e 0,558 kg kg⁻¹ de argila; ⁽²⁾ 4,22 dag kg⁻¹ de MO e 0,569 kg kg⁻¹ de argila.

Solos T₃ - 150 mg dm⁻³ de P

3,45 t/ha SS

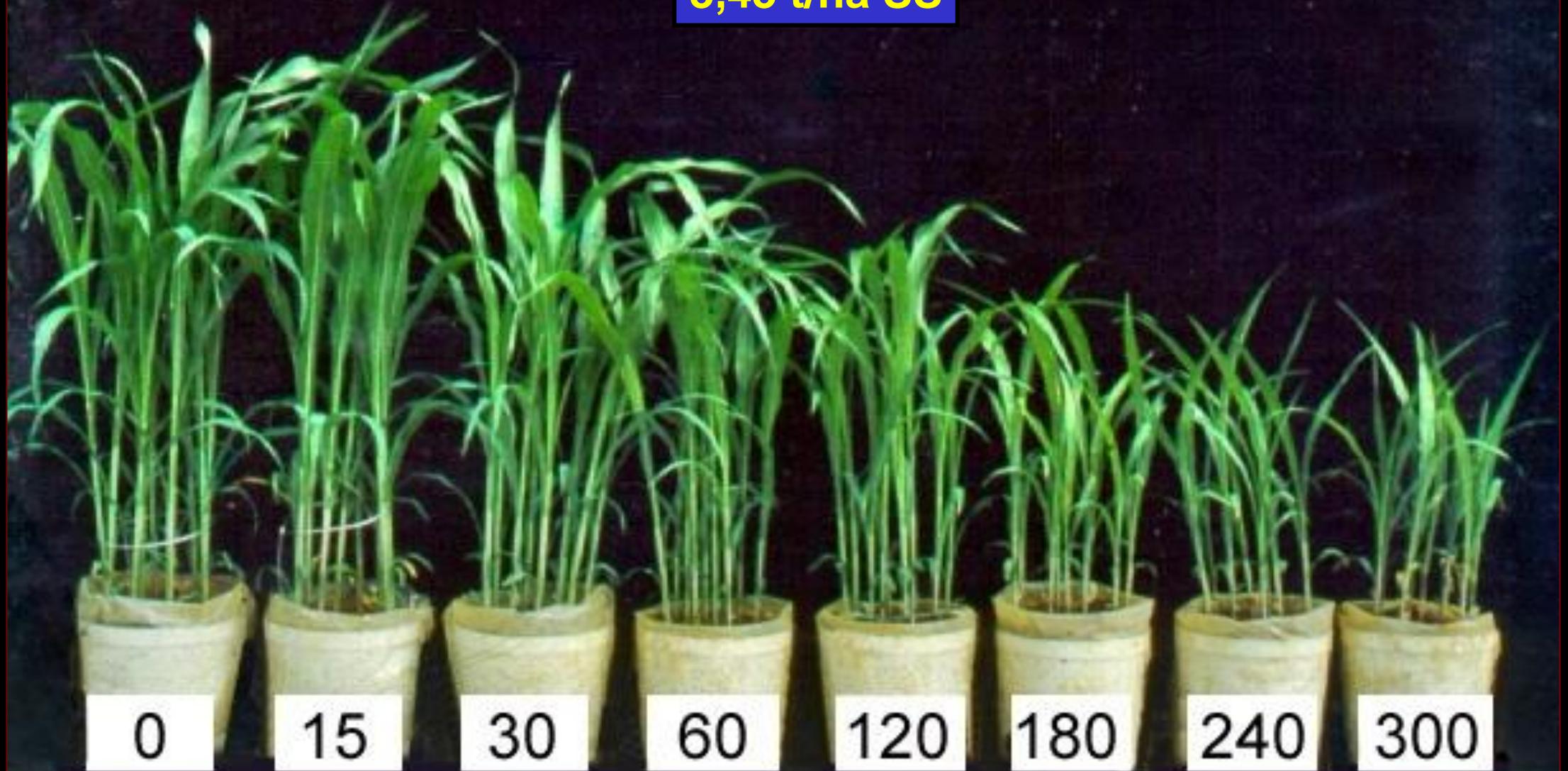


Tabela 2 – Fósforo recuperados pela Resina e produção matéria seca da parte aérea de plantas de sorgo, com diferentes tempos de incubação⁽¹⁾ de doses de fósforo aplicadas em um Latossolo Vermelho-Escuro.

Dose de P	Tempo de incubação (dia)			
	0	15	30	300
mg kg ⁻¹	Resina (mg kg ⁻¹)			
0	5,70	5,20	4,20	0,90
50	27,00	5,60	7,50	0,90
150	44,30	21,10	18,60	2,90
450	155,40	54,70	50,10	33,00
	Matéria seca (g/vaso)			
0	0,67	0,63	0,87	0,64
50	1,56	1,02	0,89	0,48
150	9,10	4,59	4,53	1,99
450	13,44	9,59	11,85	8,36

Fonte: Gonçalves et al. (1989).

⁽¹⁾Não são apresentados os resultados correspondentes aos tempos de 60, 120, 180 e 240 dias, constantes do trabalho original.

Reversibilidade do Fósforo Não-Lábil

Tabela 3 - Fósforo remanescente de amostras dos solos sem redução (N) e submetidas a redução microbiana com sacarose (RM), com oxalato de amônio (OX) e com citrato-ditionito-bicarbonato de sódio (CDB) em amostras de 11 solos de Cerrado.

Solo	N	RM	OX	CDB
	----- mg L ⁻¹ -----			
CV-Rqo	37,1	49,8	57,9	60,0
CV-LVd	21,1	41,0	54,4	59,4
TM-LVw	38,1	52,7	56,7	60,0
TM-LVd	29,9	45,8	49,8	58,4
ARA-Ladx	29,9	45,8	55,8	60,0
AÇA-Lad	46,1	51,2	60,0	60,0
UBE-LVAd1	3,4	33,0	24,2	47,0
UBE-LVAd2	4,8	33,9	26,4	44,5
PAR-LVd	4,6	34,9	18,9	47,0
SL-LVd	3,2	31,2	39,9	35,8
PAT-LVd	1,8	32,1	18,9	27,2
Média	20,0	41,0	42,1	50,8

Fonte: Fernández R. et al. (2008).

Atributos Químicos que Interferem na Disponibilidade de Fósforo

✓ Calagem

“Seu efeito sobre a fixação de P em solos altamente intemperizados não é consistente”.



Atributos Químicos que Interferem na Disponibilidade de Fósforo

✓ Calagem

Tabela 4 - Efeito da aplicação prévia de doses de P, de calagem e de silicato sobre capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e “energia de ligação” de um Latossolo Vermelho-Escuro de Cerrado

Tratamento ⁽¹⁾	Dose de fósforo (mg kg ⁻¹)							
	0	380	460	540	0	380	460	540
	CMAP				"Energia de ligação"			
	----- mg kg ⁻¹ -----				----- L mg ⁻¹ -----			
Testemunha	1,64	1,55	1,53	1,49	0,85	0,49	0,41	0,38
Calcário	1,64	1,51	1,50	1,48	0,67	0,39	0,31	0,28
Silicato	1,61	1,52	1,47	1,46	0,63	0,37	0,29	0,26
Calcário + Silicato	1,63	1,52	1,50	1,49	0,59	0,34	0,32	0,25

Fonte: Smyth (1976); Smyth & Sanches (1980).

⁽¹⁾As doses de calcário e de silicato corresponderam a 1,0 cmol_c Ca²⁺/1,0 cmol_c Al³⁺.

Atributos Químicos que Interferem na Disponibilidade de Fósforo

✓ Calagem

Tabela 5 - Quantidade de P adsorvido em amostras de solos que receberam, inicialmente, 50 mg kg⁻¹ de P_i na ausência ou presença de calcário, em diferentes tempos de equilíbrio.

Solo	Tempo de equilíbrio (hora)									MÉDIA
	0,5	1	2	4	8	12	24	48	192	
----- mg kg ⁻¹ de P no solo -----										
Sem calagem										
AQ	10,4	14,4	15,6	17,2	22,0	28,4	30,4	33,3	34,0	22,9
LE-1	44,6	46,9	48,0	49,5	49,4	49,5	49,5	49,4	49,8	48,5
LE-2	45,4	47,1	48,3	48,6	49,4	49,7	49,7	49,8	49,8	48,6
LVm-1	25,6	26,9	32,6	33,3	37,6	42,6	45,4	45,8	46,0	37,3
LVm-2	24,5	25,5	29,3	31,5	34,7	40,4	43,1	43,1	43,3	35,0
Com calagem										
AQ	12,9	15,9	16,3	19,2	26,4	29,2	32,1	35,2	36,0	24,8
LE-1	42,7	45,1	47,1	47,4	48,9	49,2	49,2	49,4	49,8	47,6
LE-2	43,1	45,8	47,1	47,9	49,0	49,4	49,6	49,7	49,8	47,9
LVm-1	23,9	26,0	30,2	30,7	35,8	40,9	43,0	44,7	44,7	35,5
LVm-2	22,5	22,5	27,9	27,9	33,2	38,9	40,6	41,7	42,4	33,1

Fonte: Gonçalves et al. (1985).

Atributos Químicos que Interferem na Disponibilidade de Fósforo

✓ Matéria Orgânica

“A presença de material orgânico lábil no solo, advindo da adição de resíduos ou da utilização de um manejo conservacionista do solo, que causam aumento do teor de MOS, diminui a fixação de P” ou “O aumento do teor de MOS faz com que a adsorção/fixação de P decresça, mas não do P anteriormente fixado (não-lábil)”

Atributos Físicos que Interferem na Disponibilidade de Fósforo

✓ Textura

“O aumento do teor de argila de um solo, com alto poder de fixação de P, causa aumento significativo da dose deste nutriente para o crescimento e desenvolvimento ótimo das plantas” ou “Em condições tropicais, solos arenosos ou texturas médias exigem menores doses de P para o crescimento e desenvolvimento ótimos das plantas”.

Atributos Físicos que Interferem na Disponibilidade de Fósforo

✓ Textura

Tabela 6 - Matéria seca da parte aérea de mudas de eucalipto, em resposta à aplicação de doses de fósforo, na forma de superfosfato triplo, em amostras de solos com diferentes teores de argila.

Dose	Solo ⁽¹⁾		
	AQ	LVAm	LVEar
mg dm ⁻³ de PP	-----	g/vaso	-----
0	0,26	0,02	0,04
100	15,21	15,98	2,34
200	18,87	15,65	5,23
400	18,68	17,49	12,84

Fonte: Novais et al. (1995).

⁽¹⁾AQ: Areia Quartzosa, com 14,1 % de argila, pH (H₂O) = 5,2; LVAm: Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, 17,6 % de argila, pH = 5,6; LVEar: Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, 74,7 % de argila, pH = 5,3.

Atributos Físicos que Interferem na Disponibilidade de Fósforo

✓ Textura

Tabela 6 - Matéria seca da parte aérea de mudas de eucalipto, em resposta à

aplicação	am	to triplo, em
Dose		LVEar
mg dm ⁻³ de		-----
0		0,04
100		2,34
200		5,23
400		12,84

Fonte: Nov

(1)AQ: Arei

Latossolo V

LVEar: Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, 74,7 % de argila, pH = 5,3.

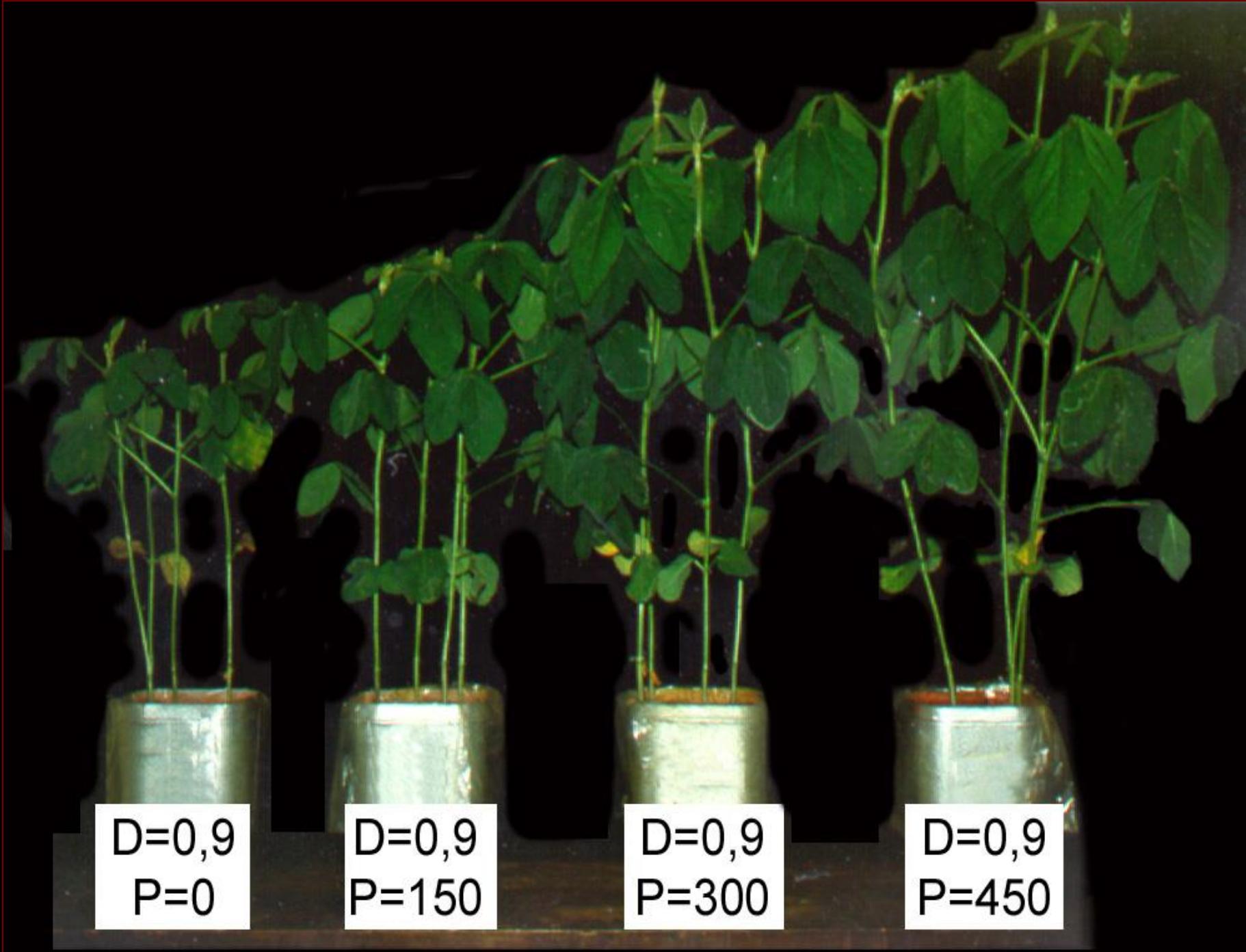
O maior PTF dos solos argilosos que resiste a perdas de nutrientes resiste, igualmente, a ganhos. Nos solos mais arenosos, a não-resistência (não-resiliência) a perdas provoca, igualmente, não-resistência a ganhos, mantendo os nutrientes mais disponíveis para as plantas (caso particular do P).

2; LVAm:
pH = 5,6;

✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

✓ Compactação do solo

“A compactação de solos altamente intemperizados, propriedade com alta resiliência, causa um requerimento crescente de P para a manutenção das produtividades anteriormente obtidas na condição de não-compactação”.



D=0,9
P=0

D=0,9
P=150

D=0,9
P=300

D=0,9
P=450



D=1,3
P=0

D=1,3
P=150

D=1,3
P=300

D=1,3
P=450

SETE LAGOAS

P 100



SETE LAGOAS

P 400



SETE LAGOAS

P 800



CIMETAL P 75



CIMETAL P 600



✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

✓ Compactação do solo

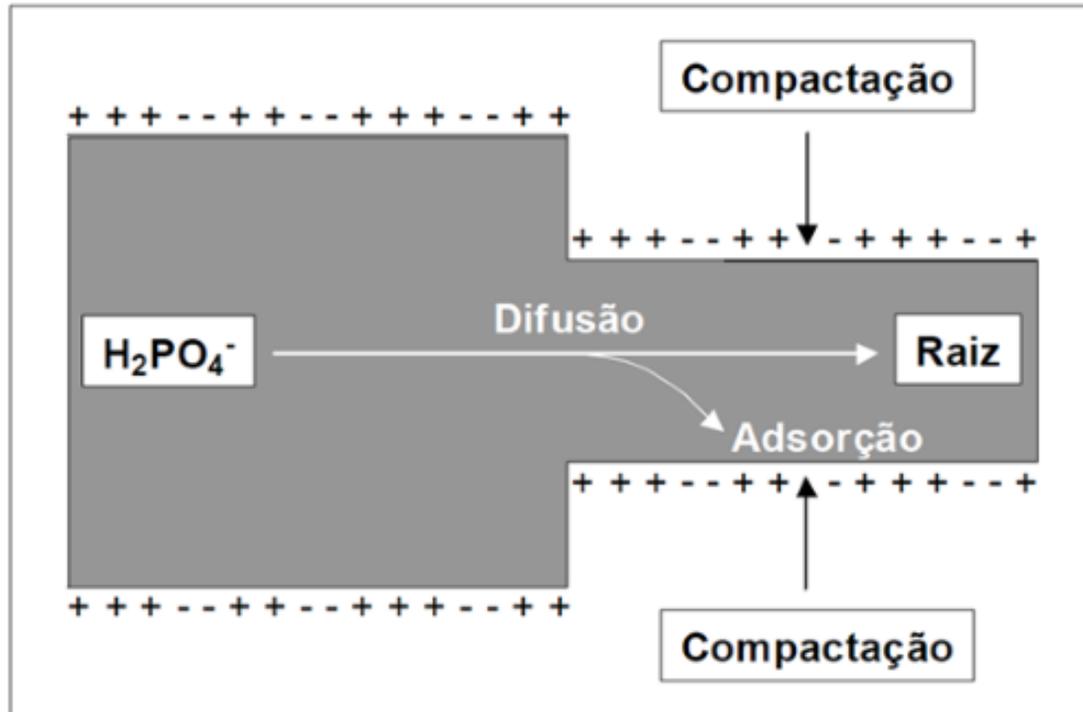


Figura 4 - Efeito da compactação de uma amostra de um solo altamente intemperizado (com predomínio de cargas positivas) sobre o fluxo difusivo de fósforo no solo.

Fonte: Novais e Smyth (1999).

✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

✓ Compactação do solo

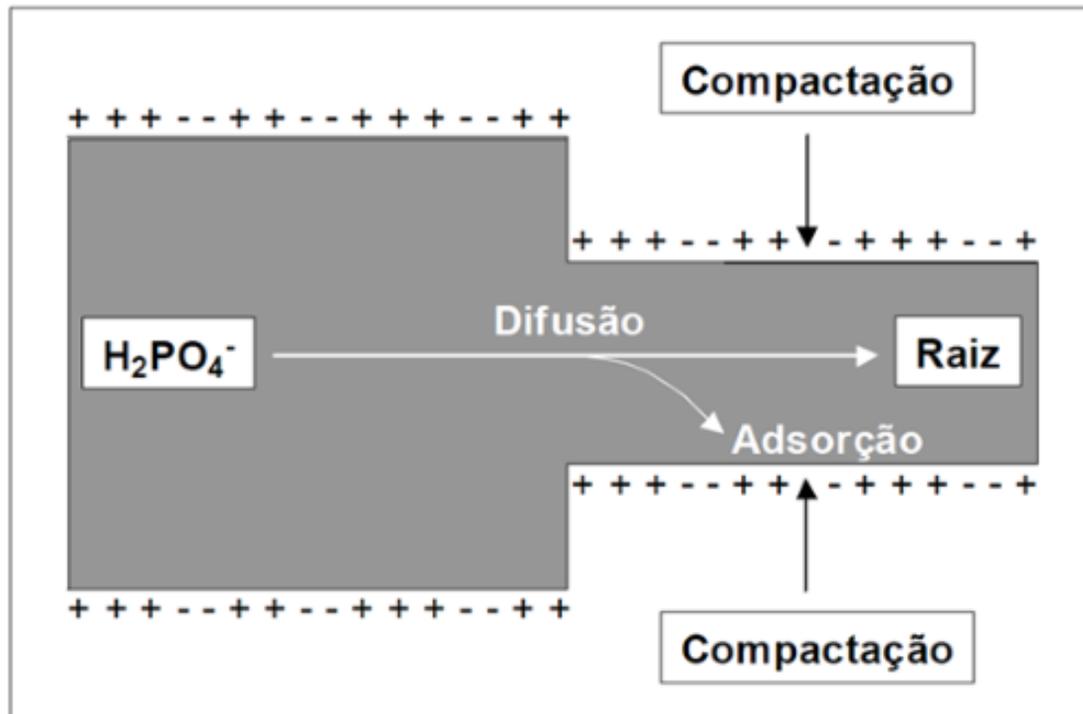


Figura 4 - Efeito da compactação de uma amostra de um solo altamente intemperizado (com predomínio de cargas positivas) sobre o fluxo difusivo de fósforo no solo.

Fonte: Novais e Smyth (1999).

Um solo “cansado”, como frequentemente denominado pelos fazendeiros, que se torna menos responsivo à aplicação de fertilizantes, particularmente de P, deve ter como característica principal a queda drástica do fluxo difusivo desse nutriente, que, embora presente em teores adequados no solo, não chega satisfatoriamente às raízes.

✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

✓ Teor de água (umidade) no solo

“A disponibilidade de água em solos altamente intemperizados é mais crítica à difusão de P do que em solos com baixa fixação de P” ou “Economiza-se com aplicação de fósforo em solos tropicais mantendo-se um suprimento de água elevado sem déficits hídricos”.

✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

✓ Teor de água (umidade) no solo

Tabela 7 - Efeito do conteúdo volumétrico de água do solo e de doses de fósforo sobre a translocação deste nutriente no exsudato xilemático e sobre o crescimento da área foliar de plantas de soja

Dose de P	Potencial matricial	Exsudato xilemático	Área foliar
mg kg ⁻¹	Mpa	µg h ⁻¹ P	cm ²
0	-0,01	0,059	165,8
	-0,04	0,033	150,3
	-0,3	0,012	109,5
240	-0,01	5,999	525,3
	-0,04	0,065	154,8
	-0,3	0,039	160,5

Fonte: Ruiz et al. (1988).

✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

✓ Teor de água (umidade) no solo

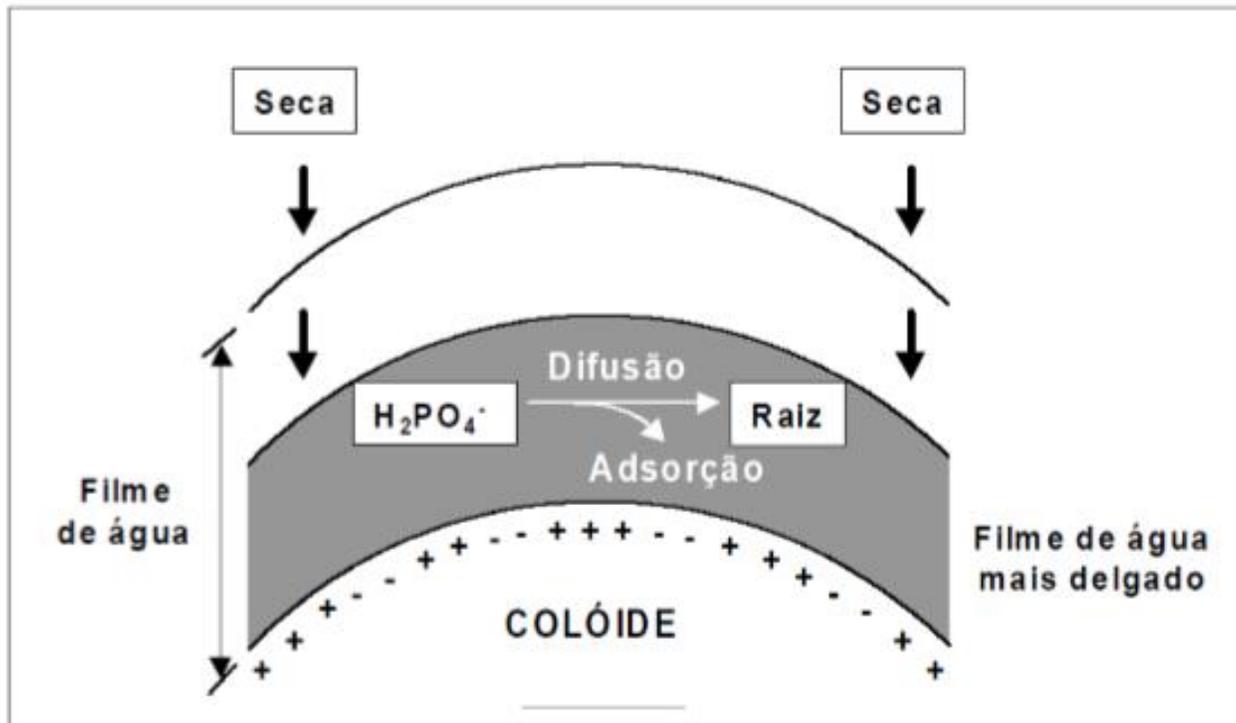


Figura 3 - Efeito do teor de água em solo altamente intemperizado (com predominância de cargas positivas) sobre o fluxo difusivo de fósforo no solo.

Fonte: Novais e Smyth (1999).

✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

✓ Teor de água (umidade) no solo

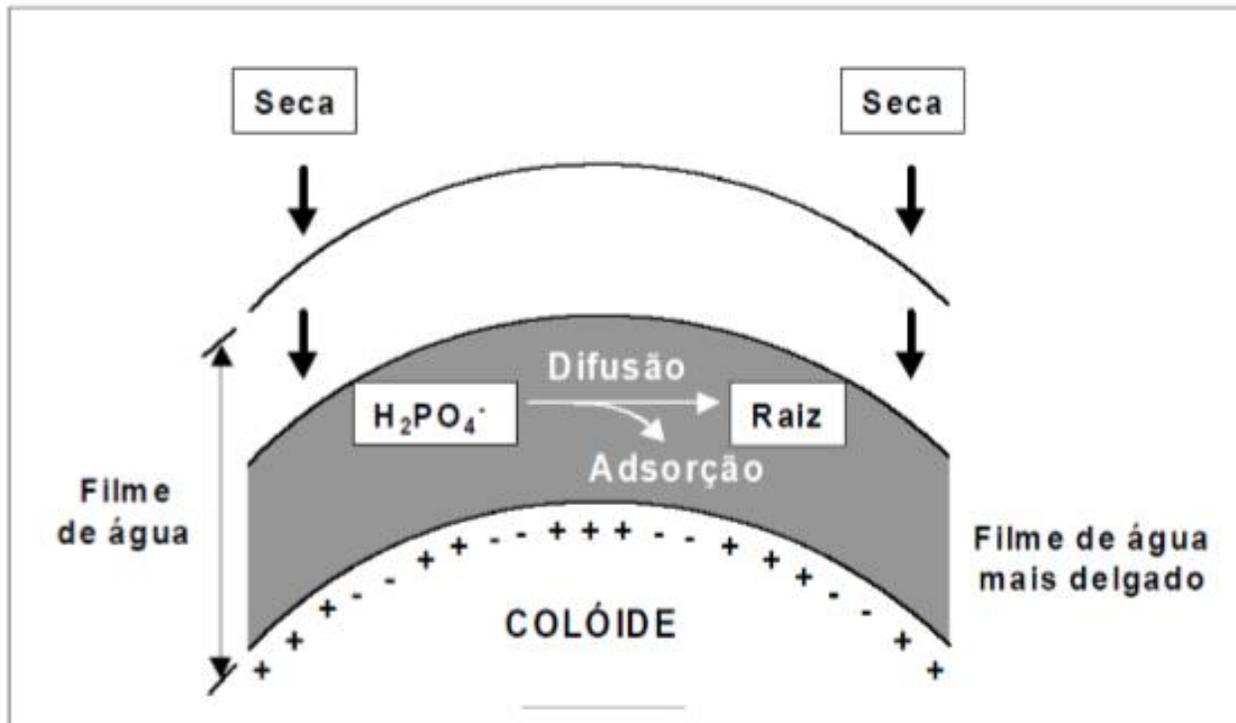


Figura 3 - Efeito do teor de água em solo altamente intemperizado (com predomínio de cargas positivas) sobre o fluxo difusivo de fósforo no solo.

Fonte: Novais e Smyth (1999).

Essa grande dependência do fluxo difusivo a um elevado conteúdo volumétrico de água nos solos altamente intemperizados de cerrado e a menor dependência de solos bem menos intemperizados do semi-árido do nordeste brasileiro, estimulam-nos a especular que a falta de água poderá ser mais crítica ao crescimento de plantas nos locais em que tradicionalmente é mais abundante (Cerrados) do que onde é mais escassa (semi-árido).

✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

✓ Fonte de Fósforo

“A difusão de P na forma de fosfato mono-amônico (MAP) num solo com alto poder de adsorção/fixação de P (alta CMAP) é bem maior que na forma de supersimples ou triplo, levando a uma economia na dose de P com sua aplicação na forma de MAP. Para solos pouco intemperizados ou arenosos mesmo em condições tropicais essa diferença tende a não existir”

✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

✓ Fonte de Fósforo

Tabela 8 - Efeito de fontes de fósforo sobre o fluxo difusivo desse elemento em amostras de solos com diferentes teores de argila⁽¹⁾

Fonte de P	Solo		
	LE	LA	LVm
	$\mu\text{mol cm}^{-2}/25 \text{ dias}$		
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O	0,04778	0,10019	0,67087
NH ₄ H ₂ PO ₄	0,1078	0,15108	0,80608
(NH ₄) ₂ HPO ₄	0,12742	0,38247	0,73017
Na ₂ HPO ₄ .2H ₂ O	0,1629	0,4491	0,75263
K ₂ HPO ₄	0,12692	0,37239	0,74177
Testemunha	0,0004	0,00024	0,00016

Fonte: Villani et al. (1993a).

⁽¹⁾Teores de argila: LE=68%, LA=74% e LVm=18%.

Localização da Fonte de Fósforo para o Cultivo de Plantas em Solos com Alto Poder de Fixação de Fósforo

“Para a mesma produtividade, a aplicação de uma dose localizada de P em um solo com alto poder de fixação de P é bem menor àquela requerida para a fosfatagem” ou “Em condições tropicais, economiza-se fertilizante fosfatado aplicando-o localizadamente em substituição à fosfatagem”.

Localização da Fonte de Fósforo para o Cultivo de Plantas em Solos com Alto Poder de Fixação de Fósforo

Tabela 9 - Produtividade de soja (três safras), em resposta ao modo de aplicação do fertilizante no sistema plantio direto, Sapezal, MT

Aplicação ⁽¹⁾		Média
A lanço	Sulco	
----- % -----		saca ha ⁻¹
0	100	60,5
25	75	59,2
50	50	57,8
75	25	54,8
100	0	50,5
Sem adubo		38,4

⁽¹⁾Adubação com 400 kg ha⁻¹ da formulação 4-23-23 + Ca = 4,5 %; S = 2,5 %; Zn = 0,3 %; B = 0,2 % e Cu = 0,15 %.

Fonte: Fundação MT (Resultados não publicados).

Localização da Fonte de Fósforo para o Cultivo de Plantas em Solos com Alto Poder de Fixação de Fósforo

Tabela 9 - Produtividade de soja (três safras), em resposta ao modo de aplicação do fertilizante no sistema plantio direto, Sapezal, MT

Aplicação ⁽¹⁾		Média
A lanço	Sulco	
----- % -----		saca ha ⁻¹
0	100	60,5
25	75	59,2
50	50	57,8
75	25	54,8
100	0	50,5
Sem adubo		38,4

⁽¹⁾Adubação com 400 kg ha⁻¹ da formulação 4-23-23 + Ca = 4,5 %; S = 2,5 %; Zn = 0,3 %; B = 0,2 % e Cu = 0,15 %.

Fonte: Fundação MT (Resultados não publicados).

Há uma esperada relação inversa entre a dose de P aplicada e o volume de solo que a recebe, como variáveis responsáveis pela quantidade de P absorvido e pelo crescimento de uma planta.

Localização da Fonte de Fósforo para o Cultivo de Plantas em Solos com Alto Poder de Fixação de Fósforo

Tabela 10 - Produtividade de soja (três safras), como variável de dose, da fonte de fósforo, da forma de aplicação (solo com 600 g kg⁻¹ de argila), em Sapezal, MT.

Fósforo na linha	Fosfato aplicado a lanço antes da semeadura e Incorporado apenas no primeiro plantio (kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅)						
	Super triplo				Fosfato natural reativo		
	0	80	160	240	80	160	240
kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	Produtividade de soja (sc ha ⁻¹)						
0	6,8	18,9	31,2	39,3	20,0	28,9	37,5
37	27,1	37,1	46,1	51,5	38,1	45,0	49,2
79	45,6	51,6	57,3	61,9	51,9	55,3	59,6
115	56,3	58,7	62,4	65,0	69,5	62,3	63,8
146	60,8	62,5	64,7	65,7	64,1	63,5	66,3

Fonte: Fundação MT (2005).

Localização da Fonte de Fósforo para o Cultivo de Plantas em Solos com Alto Poder de Fixação de Fósforo

Tabela 12 - Resposta da cultura da batata à aplicação de fósforo a lanço (L) e no sulco (S) de plantio em solo de Cerrado (2012/2013)

Tratamento	Produtividade (sc ha ⁻¹)
Sem P	230 b
1500 kg ha ⁻¹ de 08-30-08 (L)	322 b
1500 kg ha ⁻¹ de 08-30-08 (S)	490 a
2000 kg ha ⁻¹ de 08-30-08 (L)	334 b
2000 kg ha ⁻¹ de 08-30-08 (S)	554 a
1500 kg ha ⁻¹ de 08-30-08 (L) + 1200 kg ha ⁻¹ de SS (L)	349 b
1500 kg ha ⁻¹ de 08-30-08 (S) + 1200 kg ha ⁻¹ de SS (L)	502 a
1500 kg ha ⁻¹ de 08-30-08 (S) + 1200 kg ha ⁻¹ de SS (S)	565 a
1500 kg ha ⁻¹ de 08-30-08 (S) + 600 kg ha ⁻¹ de SS (S)	541 a
1500 kg ha ⁻¹ de 08-30-08 (S) + 300 kg ha ⁻¹ de SS (S)	523 a

Cultura anterior: Milho silagem. P-Melich-1 = 25 mg dm⁻³; P-rem = 17 mg L⁻¹

Fonte: Prof. Leonardo Aquino. UFV *Campus* Rio Paranaíba (dados não publicados).

Localização da Fonte de Fósforo para o Cultivo de Plantas em Solos com Alto Poder de Fixação de Fósforo

Tabela 13 - Produção de biomassa e recuperação de fósforo por *Eucalyptus camaldulensis* (9,7 anos) influenciados por fontes, doses e modo de aplicação do fertilizante fosfatado

Fosfato natural	Fonte solúvel	Modo de aplicação	Biomassa aérea	P recuperado
kg ha ⁻¹ de P			t ha ⁻¹	%
0	0		63	-
172	0	Faixa	81	8,0
172	0	Sulco	114	16,6
41	23	Faixa/Sulco	99	9,8
41	23	Sulco/cova	148	35,6

Fósforo na Planta Cultivada em Solos Altamente Intemperizados

“O nível crítico de P em plantas cultivadas em solos com alta fixação deste nutriente é significativamente menor que aquele encontrado em plantas cultivadas em solos com baixa fixação”.

Fósforo na Planta Cultivada em Solos Altamente Intemperizados

Tabela 14 - Coeficiente de correlação linear simples entre características do solo relacionadas com o poder tampão de fosfato e o nível crítico de P total na parte aérea de plantas de espécies olerícolas cultivadas em diferentes solos

Características do solo	Tomate	Batata-Baroa	Pepino	Alface
CMAP ⁽¹⁾	-0,80 *	-0,93 **	-0,97 **	-0,91 *
P-remanescente-50 ⁽²⁾	0,77 ^{ns}	0,87 *	0,97 **	0,96 **

Fonte: Novais et al. (1993).

⁽¹⁾Fabres et al. (1987). ⁽²⁾ Capacidade máxima de adsorção de P, pela equação de Langmuir, em mg g⁻¹ de P no solo. ⁽²⁾ P em equilíbrio depois de agitar 50 mg L⁻¹ de P em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, por uma hora, em uma relação solo:solução de 1:10, com as amostras de solo.

^{ns}, * e ** não-significativo e significativos a 5 e 1%, respectivamente.

Reuso (Reciclagem) de Fósforo

“O uso ou reciclagem do fósforo de águas eutrofizadas, residuárias ou mesmo do mar, deverá tornar-se uma fonte adicional de fósforo para cultivos no mundo agrícola.”

Reuso (Reciclagem) de Fósforo

- ✓ Hidróxidos duplos lamelares (HDL)
- ✓ Biochars

A landscape photograph featuring a prominent plateau in the background under a blue sky with scattered white clouds. The foreground is filled with lush green grass and several palm trees. The word "OBRIGADO" is overlaid in the center in a bold, black, serif font.

OBRIGADO

rfnovais@ufv.br
sarahnovais@usp.br