

**FATORES QUE INTERFEREM NA
EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO
FOSFATADA**

Ibanor Anghinoni

**Departamento de Solos
Faculdade de Agronomia - UFRGS**

Fatores \Rightarrow Eficiência Agronômica

Adubo { Tipo, composição, solubilidade, granulação, etc.

Solo { **Químicos:** acidez, disponibilidade, capacidade de retenção, precipitação, competição etc.
Físicos: textura, densidade, condutividade hidráulica, capacidade de retenção de água, compactação, etc.

Planta { **Morfológicos:** número, compr., pelos, densidade, etc.
Fisiológicos: relação raiz parte aérea, micorriza, estado de nutrição, absorção de água, influxo, efluxo, transporte, afinidade, etc.
Bioquímicos: produção de enzimas, quelatos, exudação de prótons, ácidos orgânicos, etc.

Ambientais { luminosidade, radiação, temp., umidade, etc.

Manejo { solo, culturas, etc.

Estrutura da apresentação

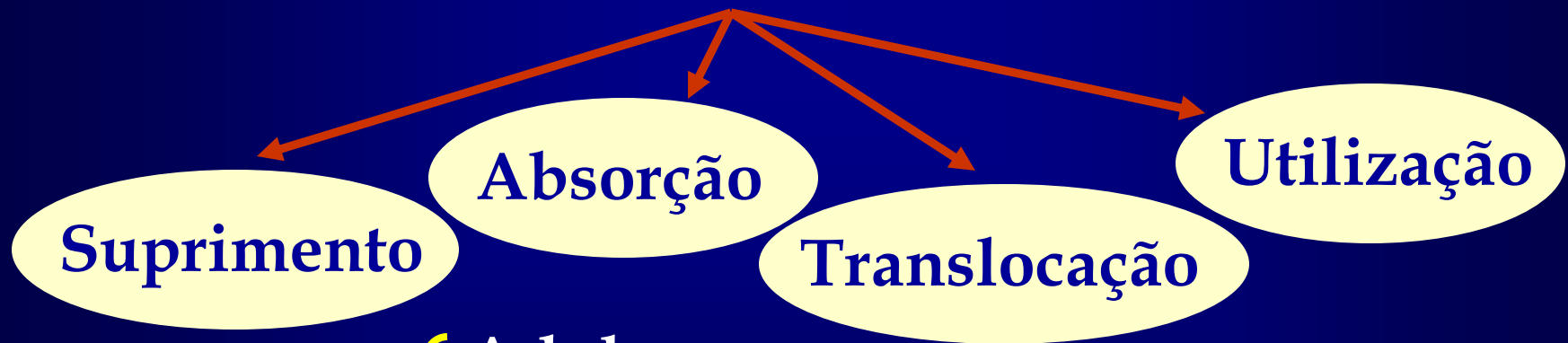
- ⇒ Eficiência agronômica
- ⇒ Reações de fósforo no sistema solo-planta
 - * Processos
 - * Mecanismos
- ⇒ Importância dos fatores/modelagem
- ⇒ Eficiência do modo de adubação

Eficiência Agronômica

Rendimento de biomassa pela aplicação de adubo:

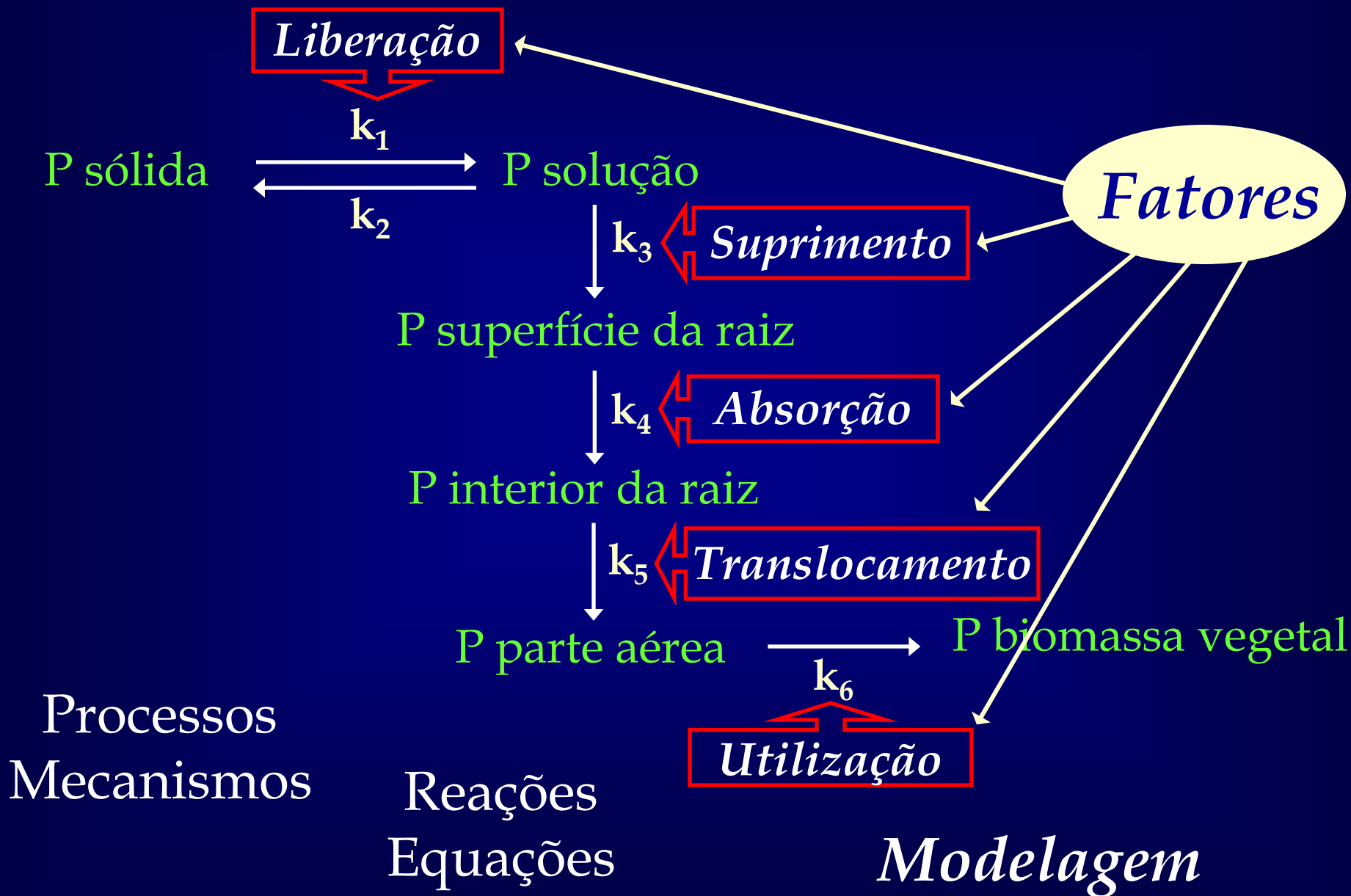
- Por unidade de nutriente (kg)
- Por unidade de área (kg ha⁻¹)

Processos / Mecanismos

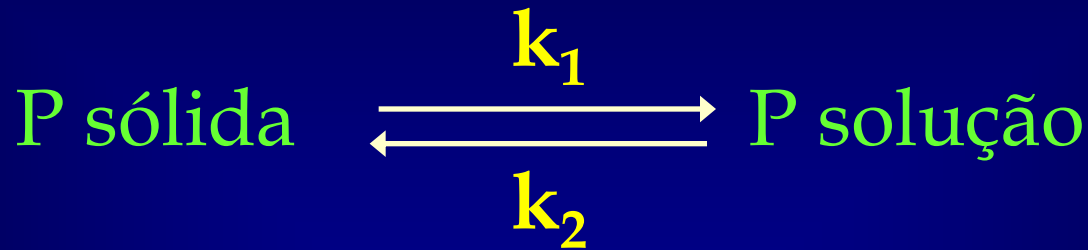


Fatores {
Adubo
Solo
Planta

Reações de fósforo no sistema solo-planta



Liberção



k_1 = reaq3es de dessorq3o e troca

Fator quantidade: **Q** = P troc3vel (l3bil)

Fator intensidade: **I** = P solu33o

Fator capacidade: **FC** = Q/I (poder tamp3o)

Fatores { pH, textura, mineralogia,
potencial redox, temperatura,
forq3a i3nica da solu33o.

Suprimento

P solução $\xrightarrow{k_3}$ P sup. raiz

Fluxo de massa : P sol. x V.água transp.

Difusão: > 90 %

$$dQ/dt = ADIa_v f/FC. dC/dx \text{ (moles m}^{-2} \text{ h}^{-1}\text{)}$$

$$De = DIa_v f/FC$$

FC = fator capacidade

A = área de raízes

a_v = água volumétrica

f = fator tortuosidade

Fatores

Acidez (Al)

Textura/mineralogia

Clima

Densidade/compactação

Manejo

Absorção



Quant. Absorvida = Influxo x Área de raízes

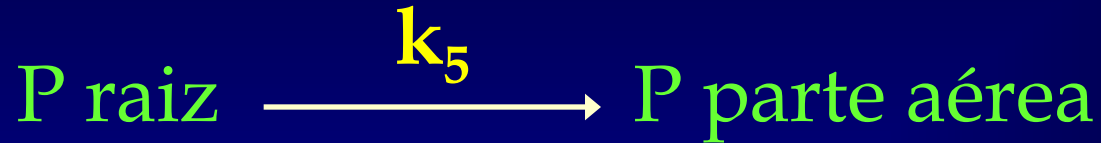
$$I_n = \frac{I_{\text{máx}} (P_{\text{sup}} - P_{\text{min}})}{K_m + (P_{\text{sup}} + P_{\text{min}})} \text{ moles m}^{-2} \text{ h}^{-1} \quad \underline{\text{parâmetros cinéticos}}$$

$$L = L_0 \cdot e^{kt}; \quad k = \text{taxa de crescimento (m h}^{-1}) \quad \underline{\text{parâmetros}}$$

$$A = 2\pi rL; \quad r = \text{raio de raiz} \quad \underline{\text{morfológicos}}$$

Fatores {
Hereditários
pH (Al), Ca
O₂
Densidade/compactação

Translocamento



Transporte

- Através da membrana e da raiz (taxa)
- Liberação para o xilema (taxa)
- Partição

Acúmulo e remobilização

- Demanda celular e armazenamento nos vacúolos
- Transporte de folhas velhas para folhas novas
- Transporte de parte vegetativa para reprodutiva
- Formação de quelatos no xilema

Fatores: Bioquímicos/fisiológicos

Utilização

P parte aérea $\xrightarrow{k_6}$ P matéria vegetal,
grãos ou frutos

- Metabolismo em baixos teores de P
- Teores mínimos para suportar estruturas
- **Substituições:** (Na vs K)
- **Atuação de enzimas:** nitrato redutase e glutamato desidrogenase (N); peroxidase (Fe), piruvato quinase (K), metaloproteínas (metais pesados)

Fatores: Bioquímicos/fisiológicos

Modelos mecanísticos

VS

Absorção de nutrientes

Combinam e integram equações que descrevem:

- Transporte de nutrientes até a raiz
- Influxo para o interior da raiz
- Crescimento do sistema radicular

Validação do modelo (Barber & Cushmam, 1981)



Parâmetro	Ideal	Observado
a	0	≈ 0
b	1,0	0,79-1,19 (0,99)
r	1,0	0,95-0,99 (0,97)

Análises de sensibilidade

- Estimam o efeito relativo de cada parâmetro, mantendo os demais constantes**
- A verificação utiliza valores múltiplos de cada parâmetro**
- A sensibilidade da análise depende da condição inicial do teste**

Análises de sensibilidade de fósforo

Soja: solo franco siltoso

Parâmetros de solo:

$$C_{li} = 13,6 \mu\text{mol L}^{-1}; FC = 163; D_e = 2,3 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

Parâmetros de planta:

Morfológicos:

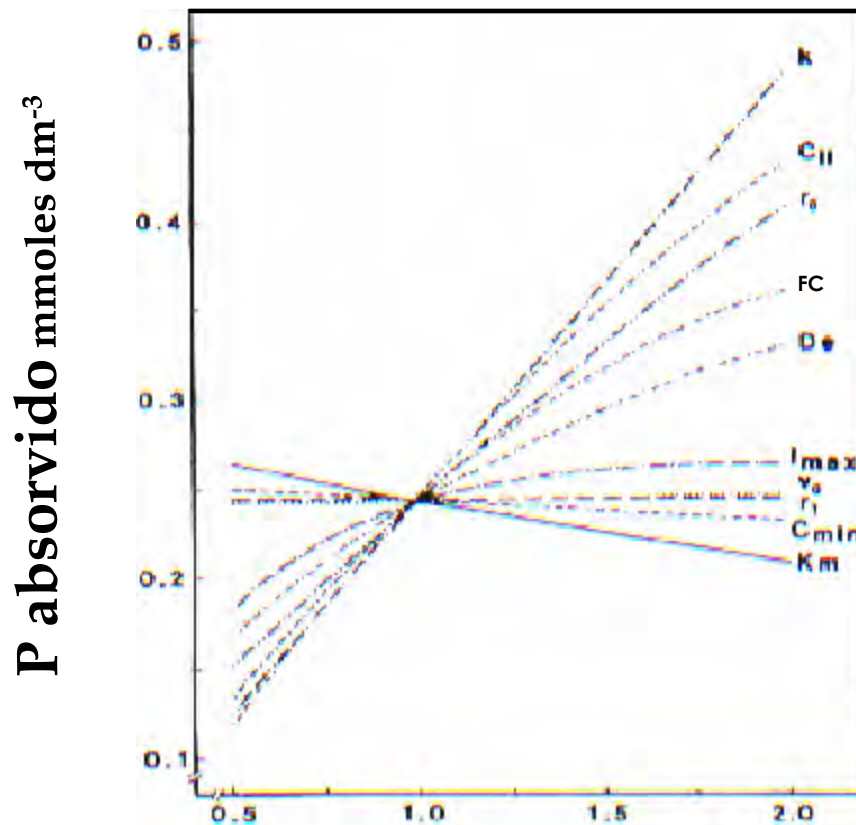
$$L_0 = 250 \text{ cm}; r_0 = 0,15 \text{ mm}; r_1 = 0,20 \text{ cm}; k = 0,02 \text{ cm s}^{-1}$$

Cinéticos: $I_{max} = 6,43 \eta\text{moles m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $K_m = 5,45 \mu\text{mol L}^{-1}$;

$$C_{min} = 0.2 \mu \text{ mol L}^{-1}; v_0 = 5,0 \times 10^{-7} \text{ c s}^{-1}$$

Silberbrush & Barber (1983)

Análise de sensibilidade de fosforo



Alteração na relação

Silberbrush & Barber (1983)

Estudos de casos

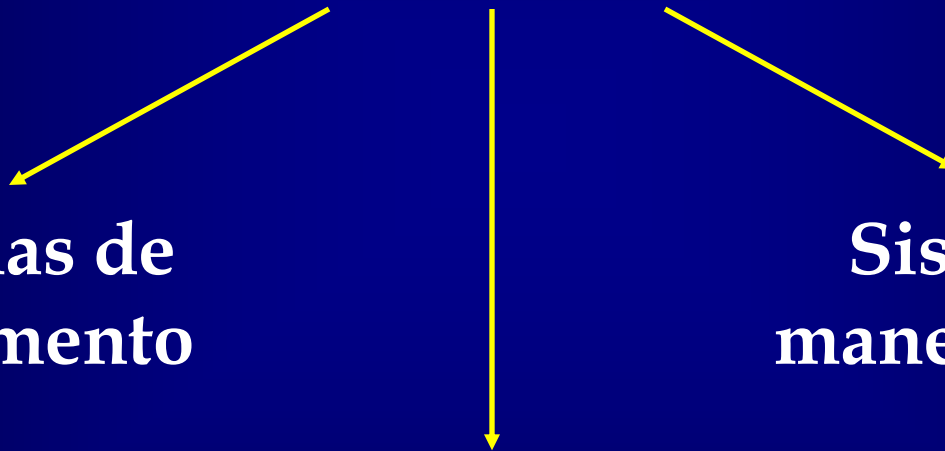
(Modelo de Barber & Cushmam, 1981)

Variação conjunta dos parâmetros

Programas de
melhoramento

Sistema de
manejo do solo

Manejo da adubação
e da calagem



1º caso:

Absorção de fósforo pela soja vs parâmetros cinéticos de absorção afetados por alumínio⁽¹⁾

Al na solução	Parâmetros				Solo	Absorção de P predita
	Cinéticos			Morfo- lógicos		
	I max	Km	Cmin			
mg L ⁻¹	µmoles cm ⁻² s ⁻¹	µmoles L ⁻¹			µmoles	
0	3,0	3,3	0,8	fixos	955	
2,0	3,0	6,6	1,9		fixos	817

⁽¹⁾Determinados por Vilela e Anghinoni (1984).

2º caso:

Absorção de fósforo pela soja vs parâmetros morfológicos de soja afetados por alumínio⁽¹⁾

Al na solução	Parâmetros			Solo	Absorção de P predita
	morfológicos		Cinéticos		
	Raio	Taxa de cresc. (k)			
mg L ⁻¹	mm	10 ⁻⁶ cm s ⁻¹			µmoles
0	0,11	4,45	fixos	fixos	828
2,0	0,18	3,53			345

¹Determinados por Vilela e Anghinoni (1984).

3º caso:

Absorção de fósforo pelo trigo vs parâmetros de solo afetados pelo sistema de preparo

Preparo	Parâmetros						Absorção de P predita
	Planta ⁽¹⁾		Solo ⁽²⁾				
	Ciné- ticos	Morfo- lógicos	P Bray-1	P Sol	Água volum	Coef difus.	
			mg L ⁻¹	µmolesL ⁻¹	%	x10 ⁻¹⁰ cm ² s ⁻¹	µmoles L ⁻¹
Conven- cional			16	2,9	15	4,85	124
Plantio direto	fixos	fixos	20	4,8	18	1,33	335

¹Anghinoni et al. (1989); ² Adaptado de Anghinoni et al. (1979).

Eficiência do modo de adubação

Pesquisa no campo:

À lanço: incorporado – convencional
superfície – direto

No sulco: convencional e direto

⇒ Situações extremas!!

⇒ Situações intermediárias??

Pesquisa básica: vasos

Em solução nutritiva

Suprimento de P = frações do sistema radicular

In = aumenta

A = aumenta

$I_{max} \uparrow$ $K_m \downarrow$ $C_{min} \downarrow$ $k \uparrow$ $r_o \downarrow$ Rel. raiz/parte aérea \uparrow

Controle interno [P]

Eficiência de absorção P \uparrow

Pesquisa básica: solo

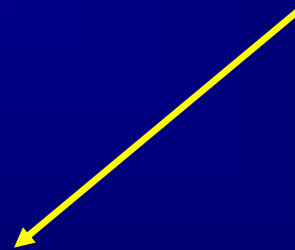
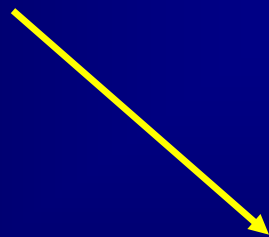
Adução em diferentes frações do solo

A = aumenta

$k \uparrow$ $L_v \uparrow$ $r_1 \downarrow$

$dQ/dt = \text{aumenta}$

$P_{sol} \uparrow$ $De \uparrow$ $FC \downarrow$



Eficiência do aproveitamento da planta \uparrow

Modelo de Barber & Cushman (1981)

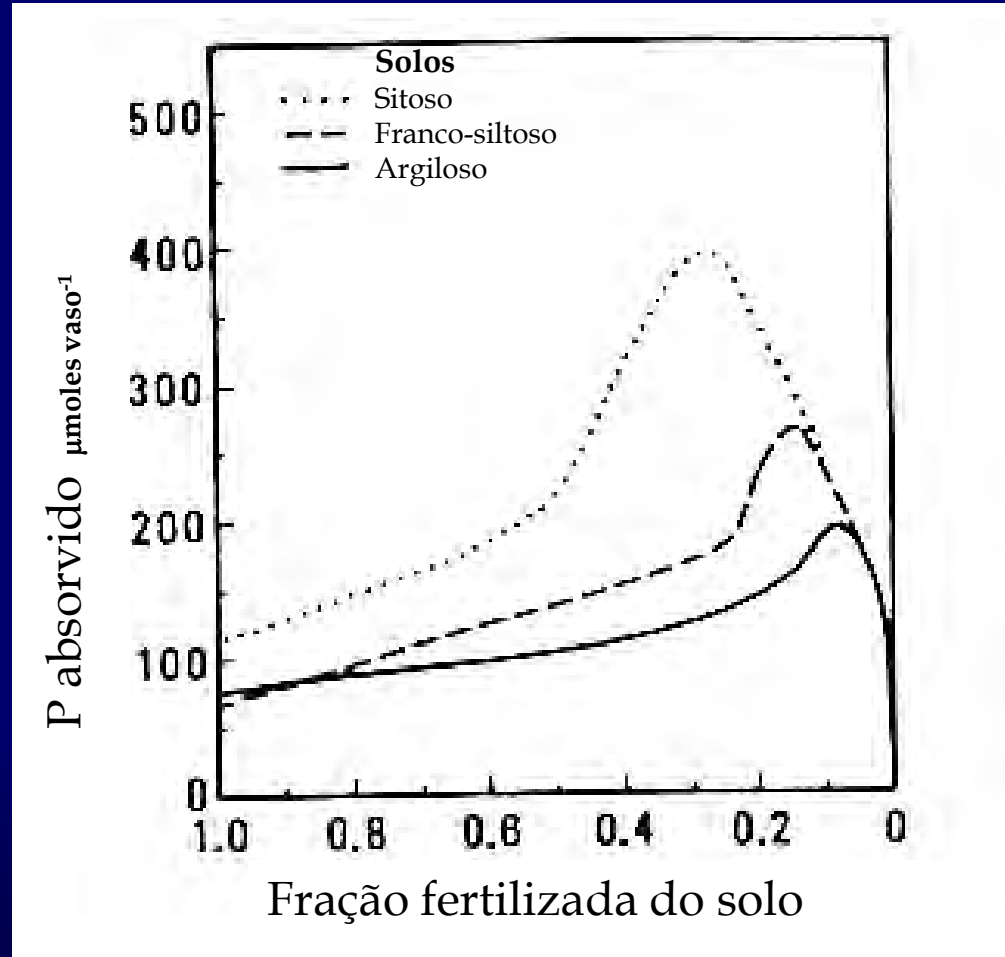
Testado e validado: Efic. modo adubação

- Anghinoni & Barber (1980)
 - Borkert & Barber (1985)
 - Yao & Barber (1986)
 - Zhang & Barber (1992)
- Milho
Soja
Trigo

Usado para simulações

Eficiência de absorção

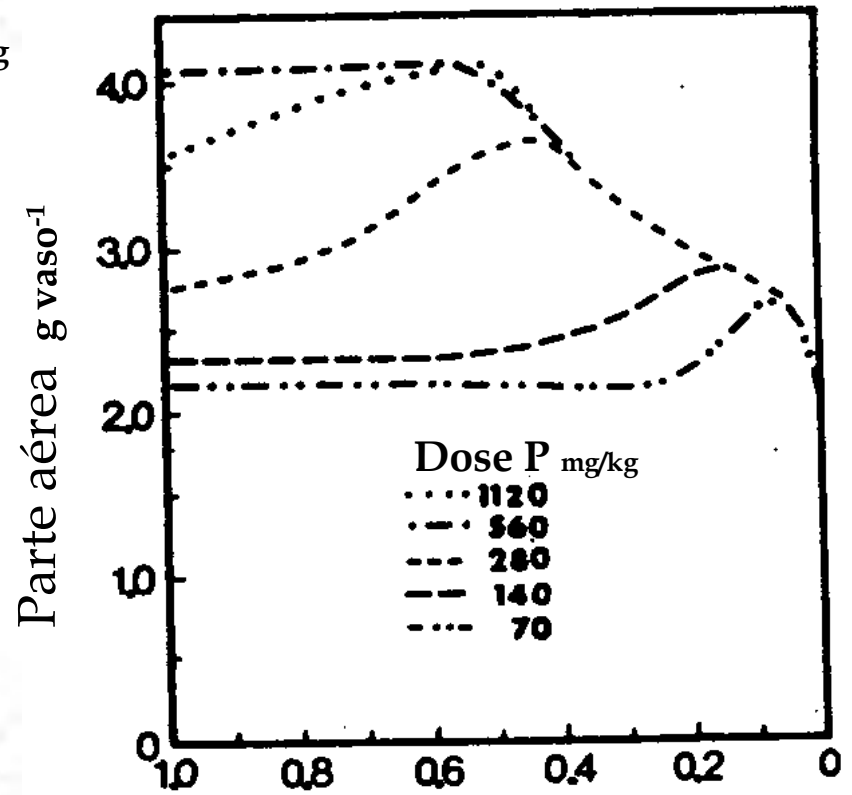
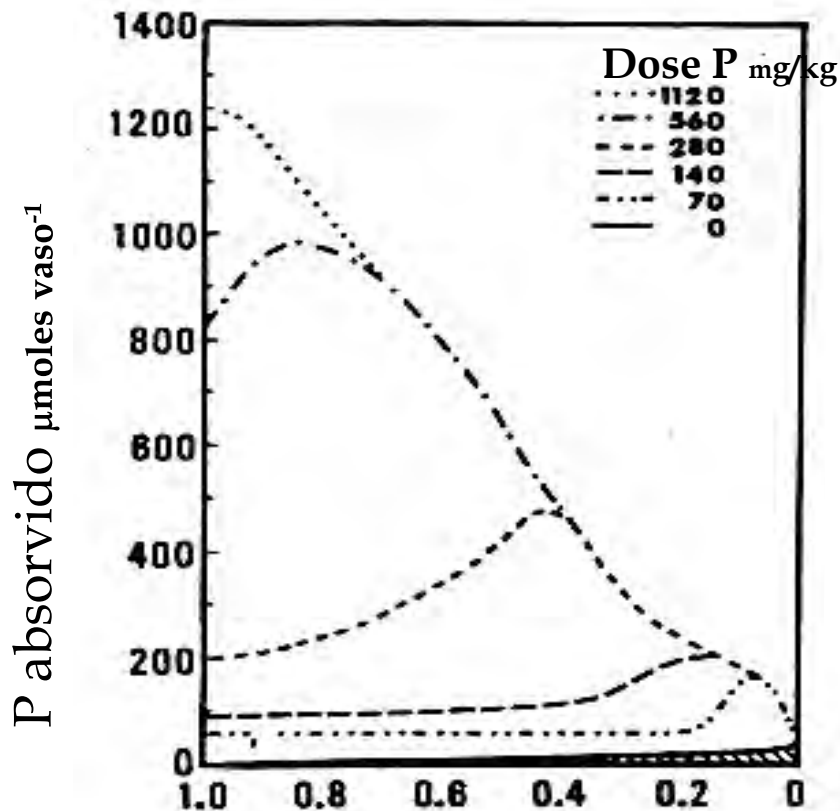
Fração fertilizada vs tipos de solo
adição de 100 mg P vaso



Anghinoni & Barber (1980)

Eficiência de absorção e utilização

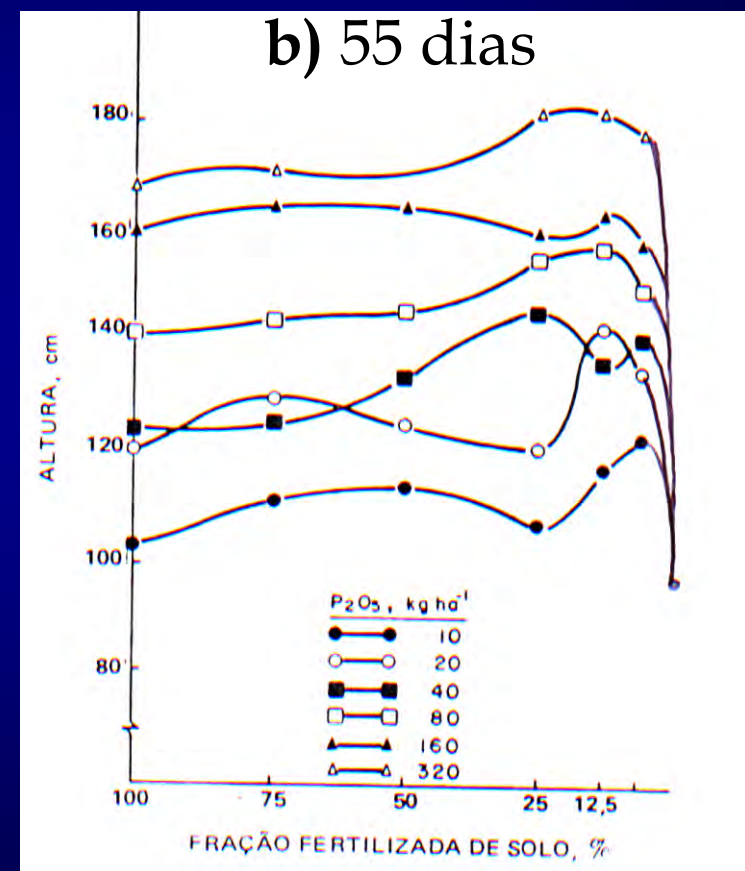
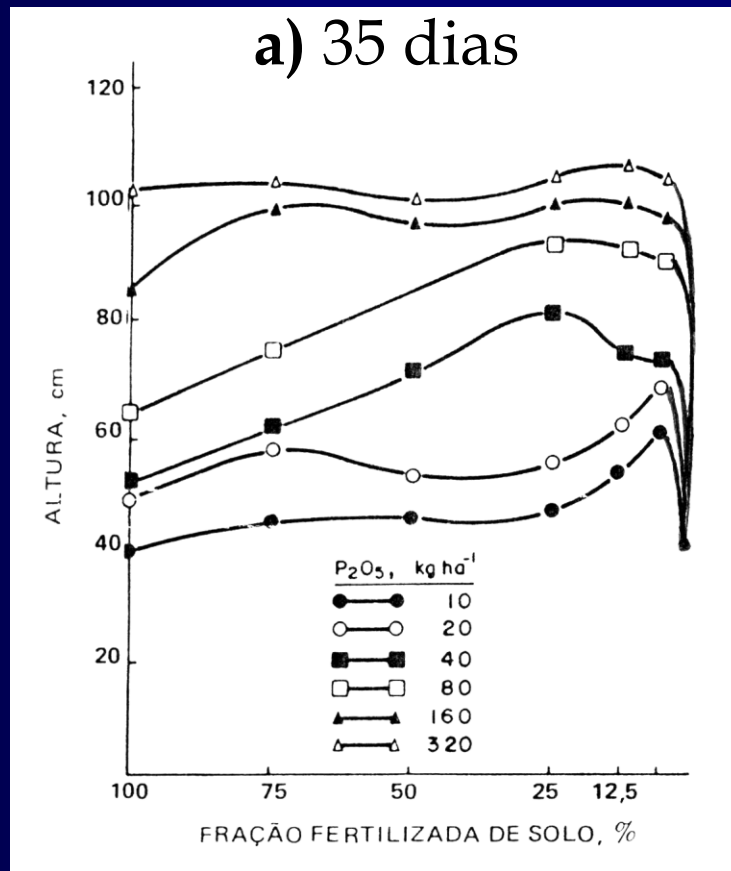
Fração fertilizada vs doses de P
milho em vasos



Fração fertilizada do solo

Eficiência de uso

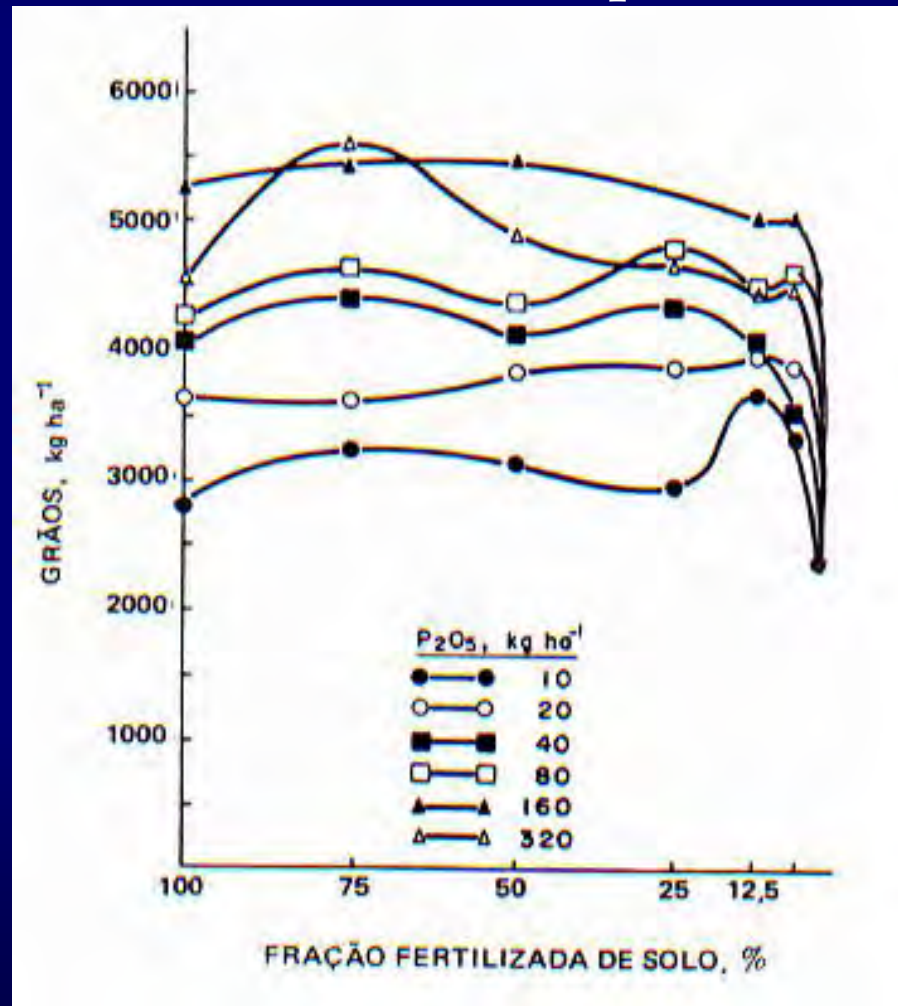
Fração fertilizada vs doses
milho no campo



Anghinoni (1992)

Eficiência de uso

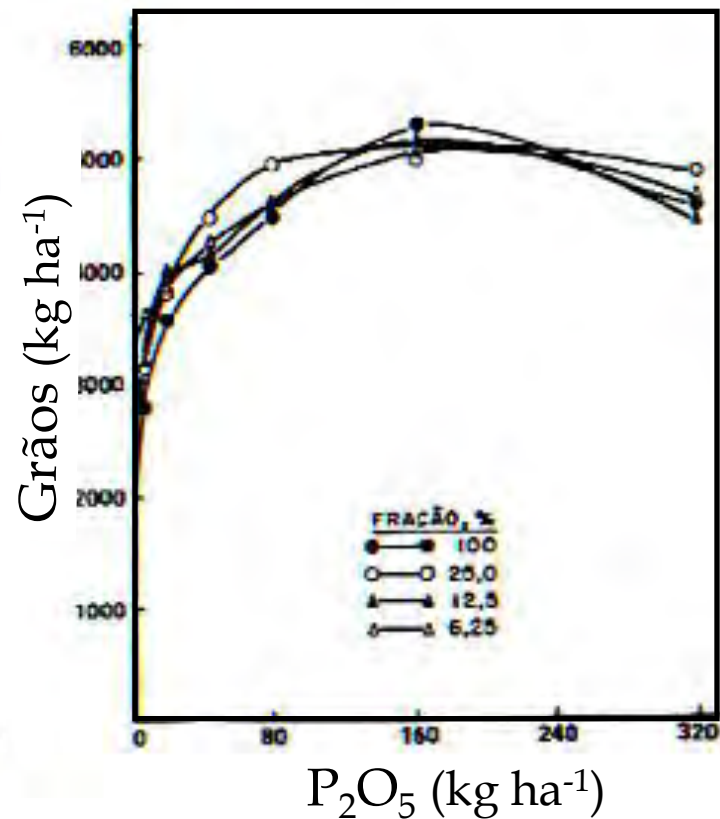
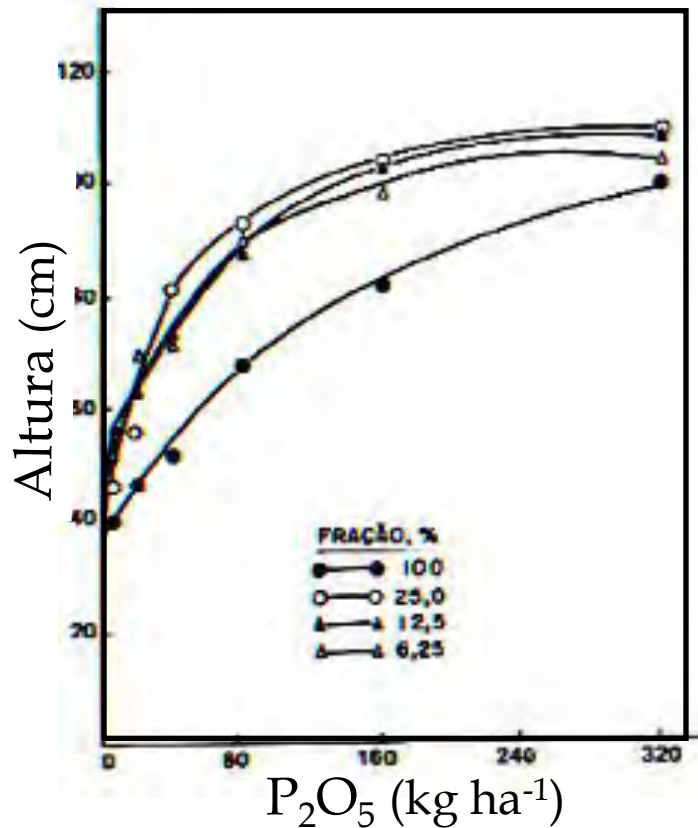
Fração fertilizada vs doses
milho no campo



Anghinoni (1992)

Eficiência de uso

Fração fertilizada vs doses
milho no campo (1988/89)



Anghinoni (1992)

Eficiência de uso

Modo de adubação vs preparo de solo

Argissolo Vermelho distrófico (P Mehlich = 2,1(MB)⇒12(M) mg

Preparo do solo	Modo de adubação	Safras				Média
		1988/89	(1) 1989/90	(2) 1990/91	1991/92	
				t ha ⁻¹		
Convencional	Lanço	5,98b	7,70	4,43	7,62	6,43
	Faixa	6,51b	7,50	3,91	6,70	6,16
	Sulco	6,62a	8,00	4,38	7,64	6,66
	Média	6,15B	7,73	4,24	7,32	6,32
Faixa	Lanço	6,51a	7,90	4,43	6,70	6,60
	Faixa	6,56a	8,40	4,33	7,60	6,72
	Sulco	6,27a	7,90	4,08	7,14	6,35
	Média	6,45AB	8,07	4,28	7,15	6,56
Plantio direto	Lanço	7,08a	8,00	4,01	7,64	6,68
	Faixa	6,89b	7,60	4,28	7,14	6,35
	Sulco	7,15a	8,00	4,65	7,55	6,84
	Média	6,99A	7,87	4,31	7,44	6,57

(1)Model & Anghinoni (1992); (2)Klepker & Anghinoni (1996)

Eficiência de uso

Absorção de P vs crescimento de raízes milho

Modo de adubação vs preparo de solo
Argissolo Vermelho Distrófico (1989/90)

Preparo do solo	Modo de adubação	Comprimento de raízes m monólito ⁻¹	Parte aérea	
			P absorvido mg planta ⁻¹	Mat. Seca g planta ⁻¹
Convencional	Lanço	401	489	365
	Sulco	398	318	284
	Faixa	427	367	353
Plantio direto	Lanço	336	265	265
	Sulco	497	258	241
Faixa	Faixa	783	345	292

Adaptado de Klepker & Anghinoni (1993)

Conclusões e considerações

- ✎ Fatores que afetam a eficiência da adubação fosfatada:
 - ⇒ são muito numerosos
 - ⇒ são relacionados ao adubo, ao solo e à planta
 - ⇒ consideram as reações do fósforo no sistema adubo-solo-planta
 - ⇒ devem ser classificados em ordem de importância
- ✎ A modelagem pode ser útil na diferenciação da importância de cada fator
- ✎ Os fatores de solo que afetam as plantas podem ser mais importantes do que a própria adubação fosfatada

O efeito do modo de adubação:

- ⇒ ocorre em parâmetros de solo e planta (cinéticos e morfológicos)
- ⇒ se manifesta mais intensamente no período de crescimento (milho)
- ⇒ depende da dose de adubo, do tipo e do nível de P do solo e do grau de sua mistura com o adubo
- ⇒ é pouco provável em solos com nível Médio ou acima (Alto e Muito Alto) de P

