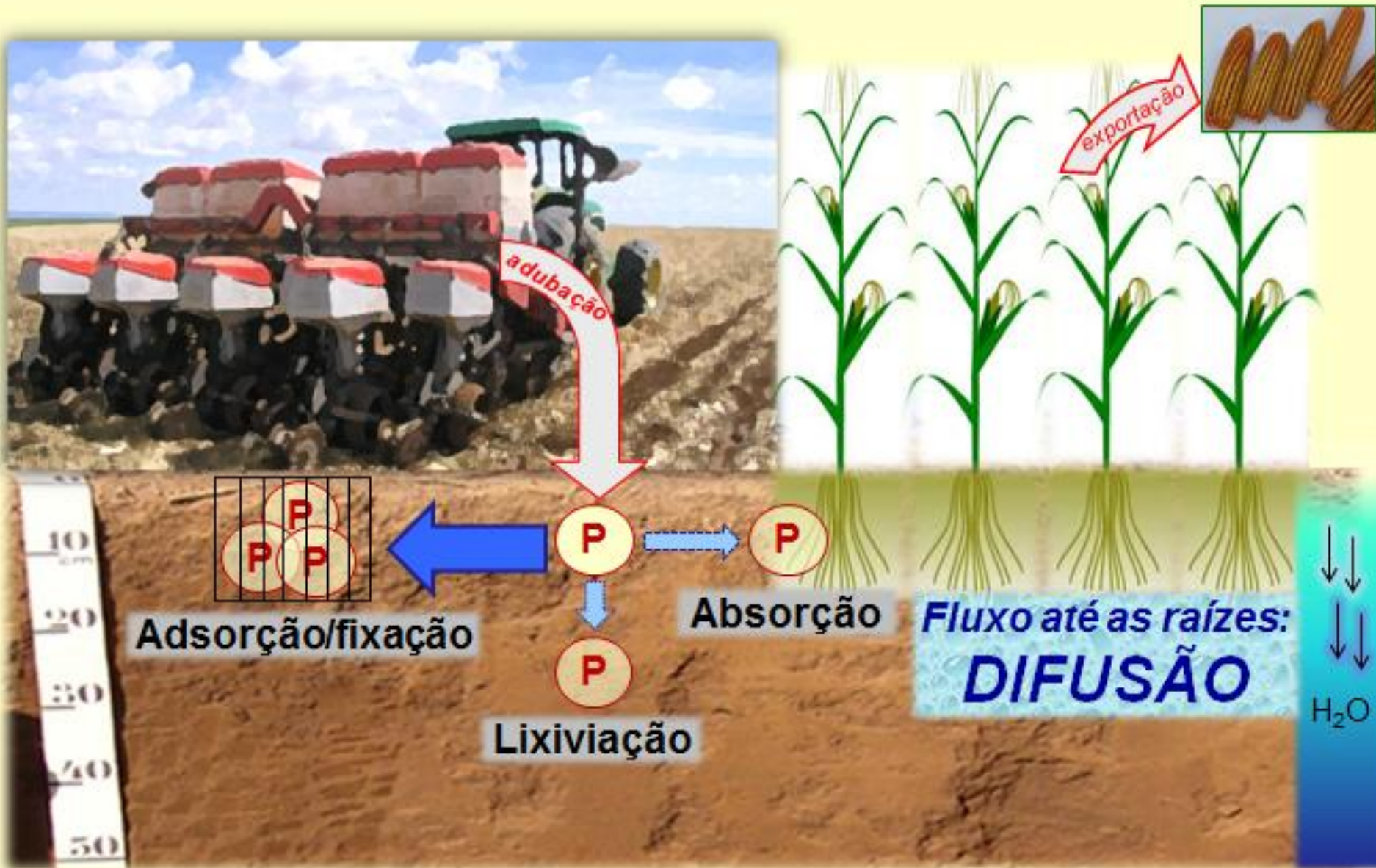
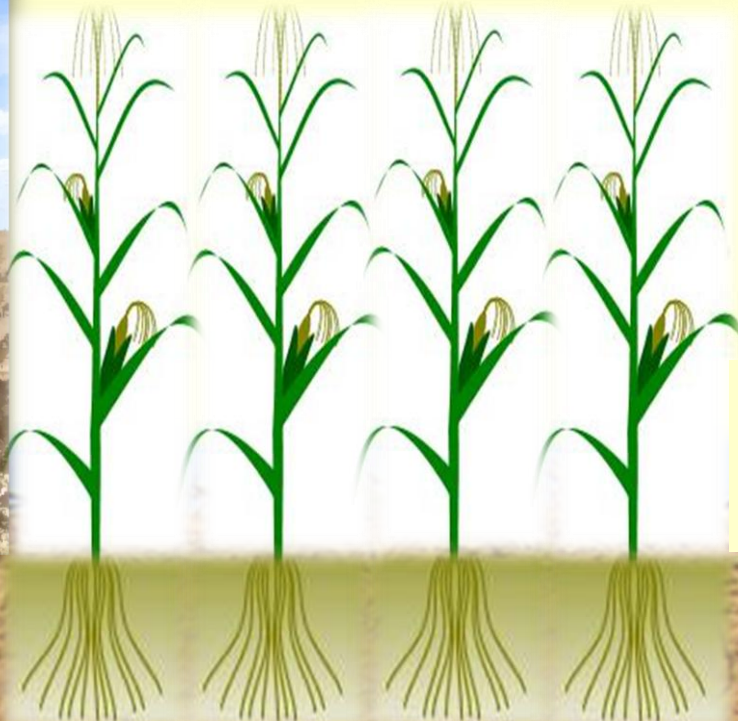


CRITÉRIOS PARA O MANEJO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Álvaro V. Resende

- »»»» Dinâmica do P no sistema solo-planta
- »»»» Fundamentos da adubação fosfatada
- »»»» Contexto da adubação a lanço em superfície
- »»»» Ambiente propício à adubação a lanço
- »»»» Adubação a lanço com N e K
- »»»» Impactos da aplicação de P a lanço (sem incorporação)
- »»»» Impactos da aplicação de P a lanço, em taxa variada
- »»»» Alternativas de manejo de P visando rendimento operacional
- »»»» Síntese





P

- . Adubação deve “saturar” o solo (menor dreno-solo)
- . Baixa mobilidade (dependente do teor de argila)
- . Forte efeito residual (zona adubada, grânulos)
- . Alta variabilidade espacial (cuidado na amostragem)
- . Difusão depende de umidade (movimento até a raiz)

Coeficientes de difusão de nutrientes no solo

(coeficiente na água como comparação)

Nutriente (íon)	$D_{\text{água}}^i$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	D_{solo}^i ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
K^+	$2,0 \cdot 10^{-9}$	10^{-11} a 10^{-12}
NO_3^-	$1,9 \cdot 10^{-9}$	10^{-10} a 10^{-11}
H_2PO_4^-	$0,9 \cdot 10^{-9}$	10^{-12} a 10^{-15}

• Nitrogênio: $D_{\text{solo}} \text{NO}_3^- \Rightarrow$ distância linear por difusão = **3 mm . dia⁻¹**

• Potássio: $D_{\text{solo}} \text{K}^+ \Rightarrow$ distância linear por difusão = **0,9 mm . dia⁻¹**

• Fósforo: $D_{\text{solo}} \text{H}_2\text{PO}_4^- \Rightarrow$ distância linear por difusão = **0,13 mm . dia⁻¹**

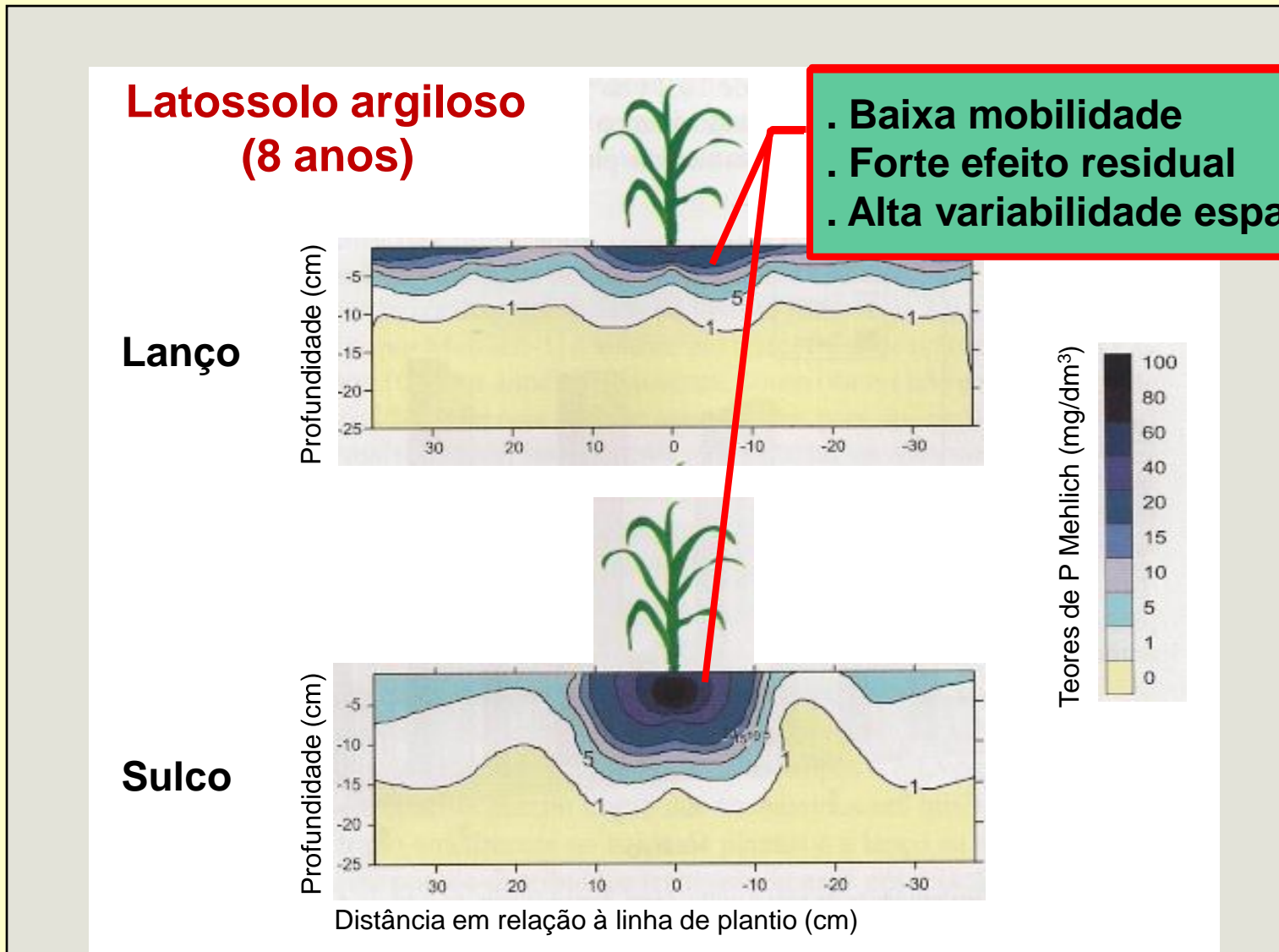
Distribuição de $P_{\text{Mehlich 1}}$ (mg dm⁻³) no perfil em função do tempo de cultivo e do modo de aplicação do fertilizante em SPD no RS

(Argissolo 22% argila – 18 anos)

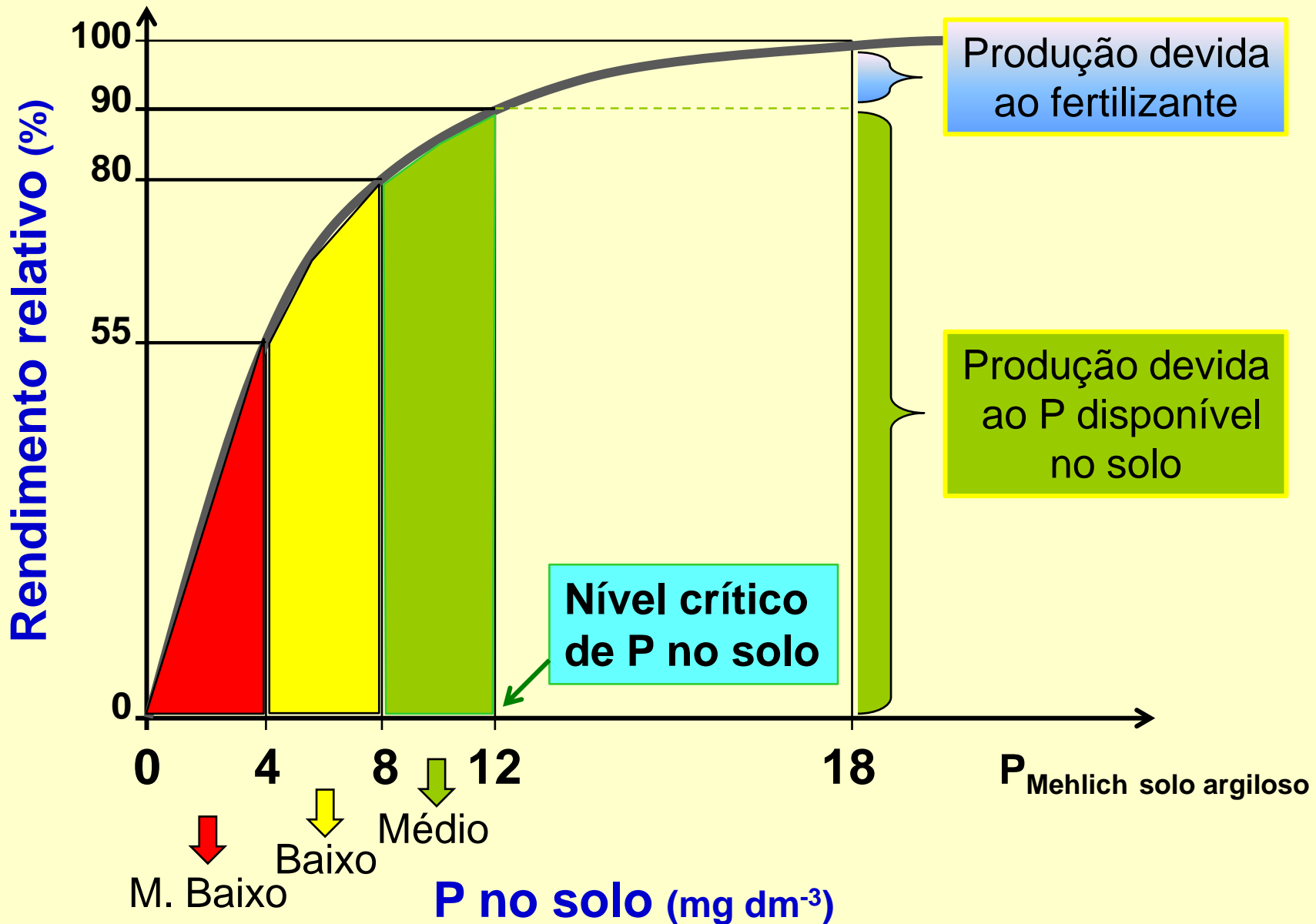
Tempo de cultivo	Modo de aplicação	Profundidade (cm)				
		0-5	5-10	10-15	15-25	25-35
Safr 1989/90	Lanço	17	6	3	1	1
	Sulco	36	16	4	2	1
Safr 1999/00	Lanço	18	6	3	1	1
	Sulco	28	13	11	11	3
Safr 2006/07	Lanço	48	18	8	4	2
	Sulco	45	42	18	12	6

Fonte: Adaptado de Anghinoni (2009)

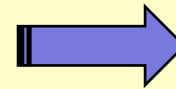
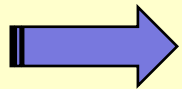
Distribuição de P no perfil conforme o modo de aplicação no Cerrado



Fonte: Santos (2009) adaptado por Sousa et al. (2010)





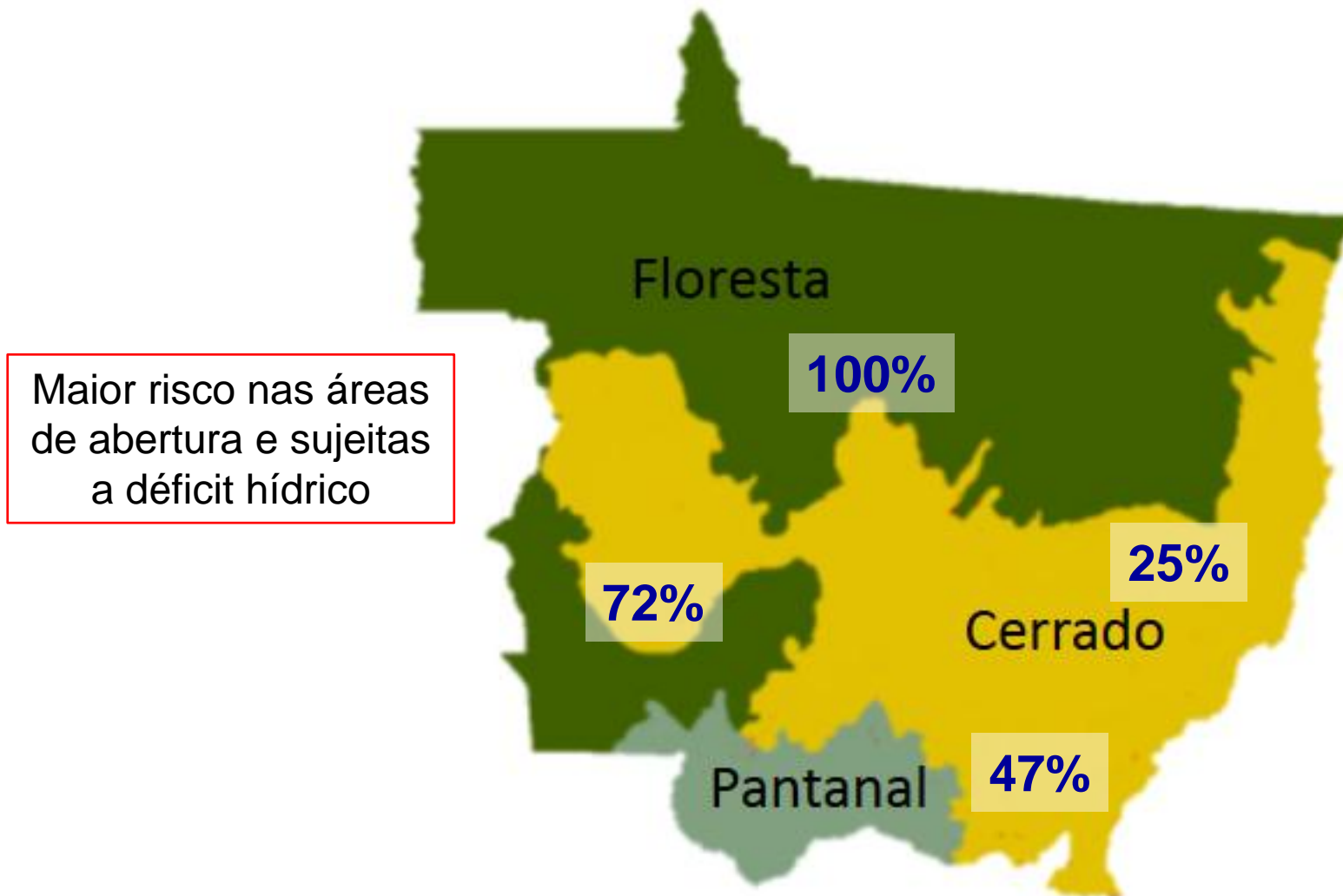


(?)

(?)

Adubações no sulco substituídas por aplicações superficiais a lanço (sem incorporação) para maior rendimento operacional nas janelas de semeadura. Larga adoção pelos agricultores, em especial no Cerrado.

Adoção da adubação total a lanço no Mato Grosso (n=121)



**Adubação a lanço não é sinônimo de agricultura de precisão:
necessidade de melhoria prévia do manejo básico**



Valores adequados para atributos do solo visando à manutenção de ambientes favoráveis à adubação a lanço no Cerrado (0-20 cm)



Teor de argila

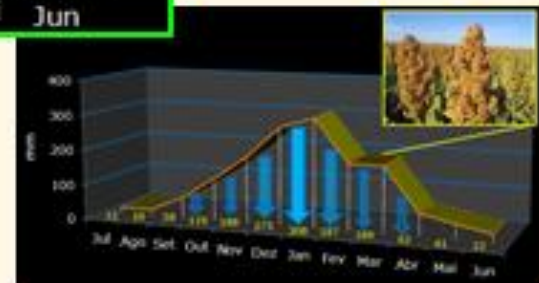
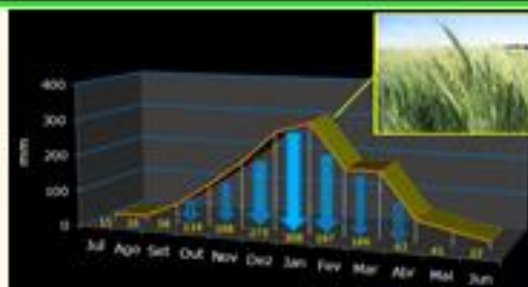
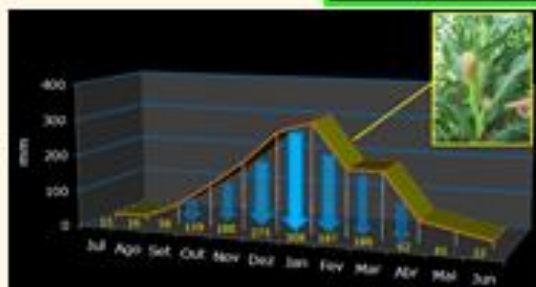
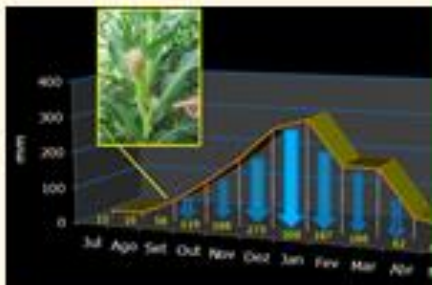
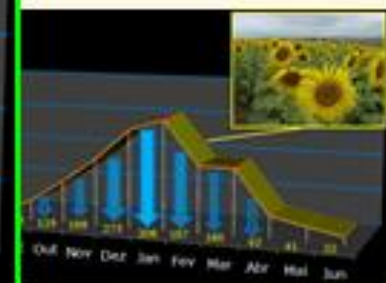
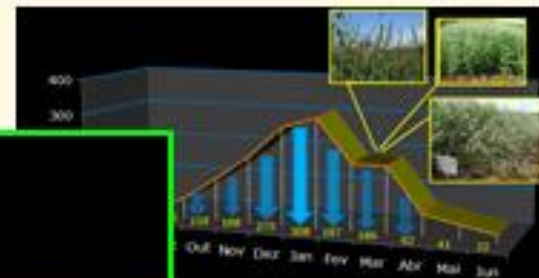
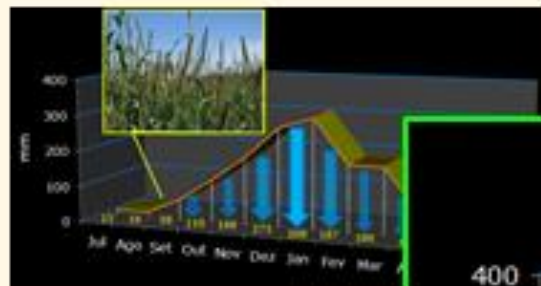
Atributos associados à fertilidade do solo

Mat. orgânica	P _{Mehlich}	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	V
g/kg ¹	g/kg ¹	mg/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	%
≤ 150	11 a 15	25 a 40	40							
160 a 350	21 a 30	20 a 30			*					
360 a 600	31 a 45	12 a 18	80	2,5 a 7,0	0,5 a 2,0	9	0,5	0,8	5	3
> 600	36 a 52	6 a 9								

1º critério: Perfil construído assegura ação das raízes na absorção de água aproveitamento de nutrientes

* Média dos teores de 0-20 e 20-40 cm profundidade.

Tamponamento do sistema e diversidade de espécies: controle dos fluxos de nutrientes pelo componente vegetal



SPD: maior eficiência da adubação fosfatada

Teores de P disponível e em solução num Latossolo Bruno sob preparo convencional ou plantio direto por 20 anos. Guarapuava - PR

Profundidade (cm)	P Mehlich		P solução	
	PC	PD	PC	PD
 mg kg ⁻¹ µg dm ⁻³	
0-2	4,2	14,5	6	27
2-4	3,9	14,5	8	25
4-6	3,8	16,6	5	23
6-8	4,0	19,1	7	24
8-10	4,0	14,6	15	28
10-15	4,4	7,3	8	16
15-20	3,8	4,4	7	24
20-30	4,4	1,2	11	17

Explicado pela saturação dos sítios de adsorção com P quando não há revolvimento do solo e pela competição de ânions de ácidos orgânicos (ex: citrato e oxalato) por esses sítios

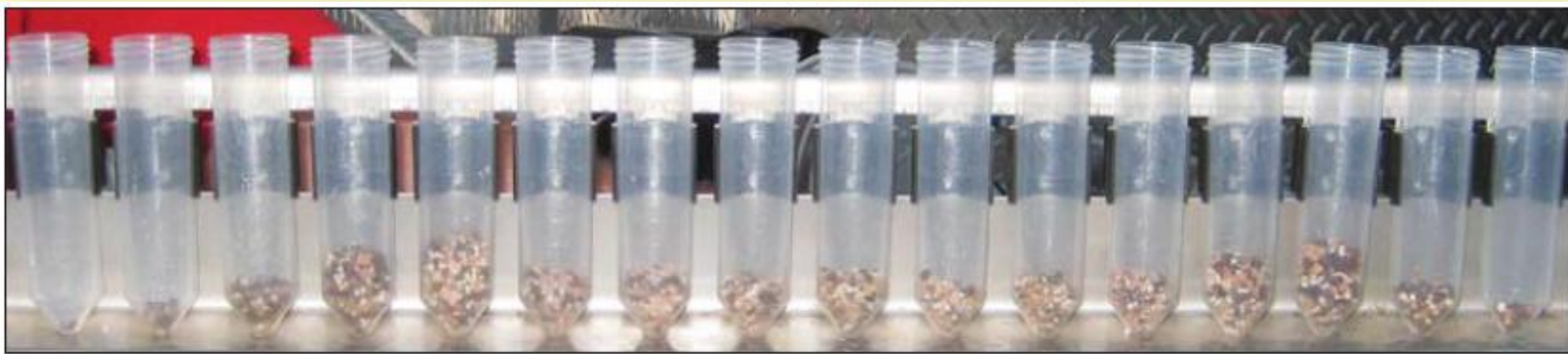
Em geral, não há maiores inconvenientes para aplicações a lanço de N e K, podendo inclusive conferir vantagens em relação à adubação localizada:

- ✓ **Boa mobilidade desses nutrientes no perfil (> homogeneização);**
- ✓ **Mais flexibilidade quanto à época de aplicação (pré-plantio e cobertura);**
- ✓ **Menor risco de lixiviação de N e K (> disponibilidade de cargas na CTC);**
- ✓ **Ureia: menores perdas por volatilização de NH_3 ;**
- ✓ **Cloreto de potássio: elimina risco de efeito salino (sementes/plântulas).**



A distribuição de fertilizantes a lanço é uma operação eficiente?

Perfil de distribuição transversal (mistura de grânulos 17-17-17): **segregação de N, P e K**



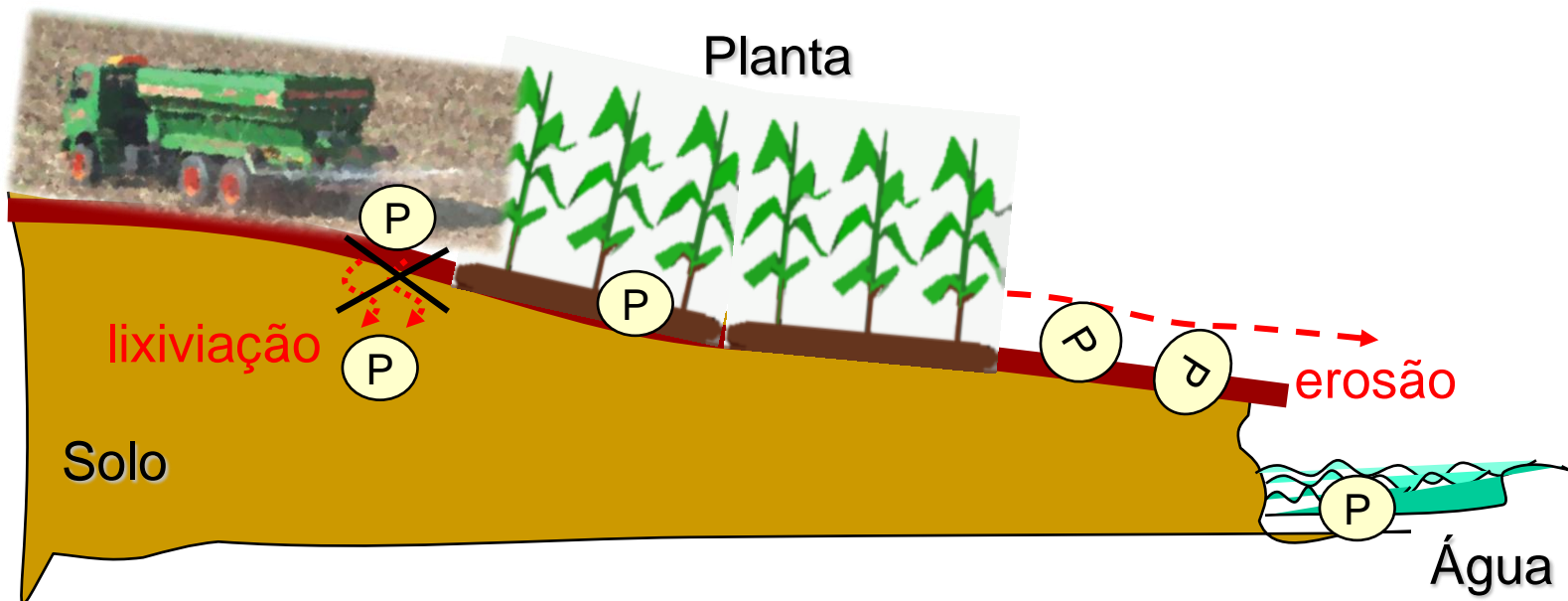
Fonte: Fulton et al. (2013)

Crítérios gerais da adubação a lanço:

- ✓ Evitar misturas de fontes.
- ✓ Observar uniformidade de partículas (tamanho e densidade).
- ✓ Calibração e checagem do equipamento conforme a operação (largura de aplicação, rotação...)
- ✓ Manutenção frequente do equipamento.

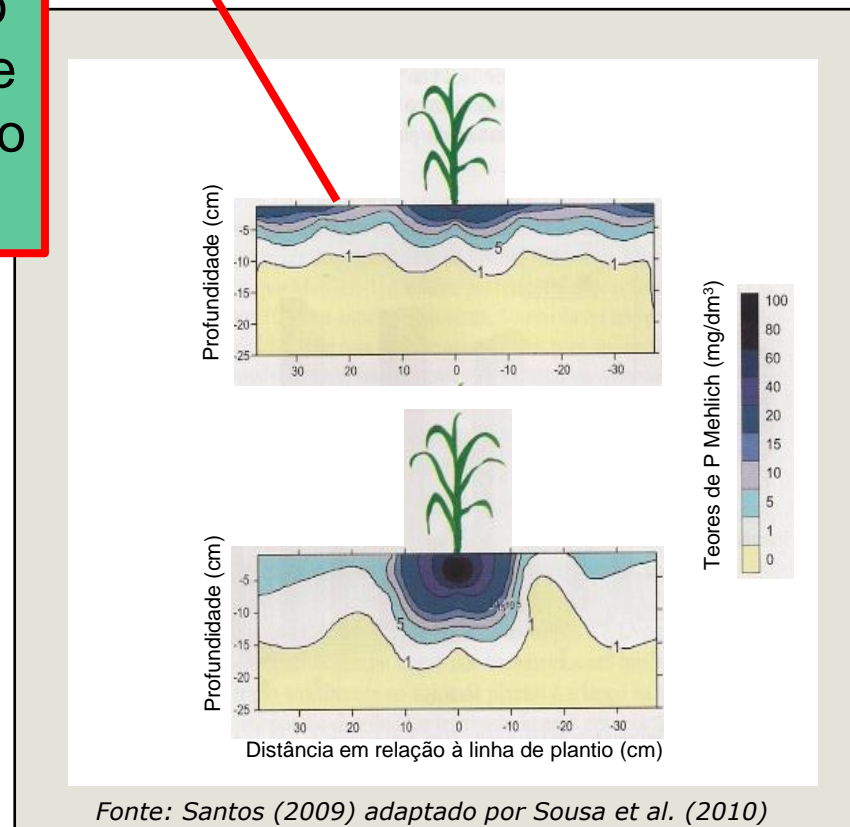
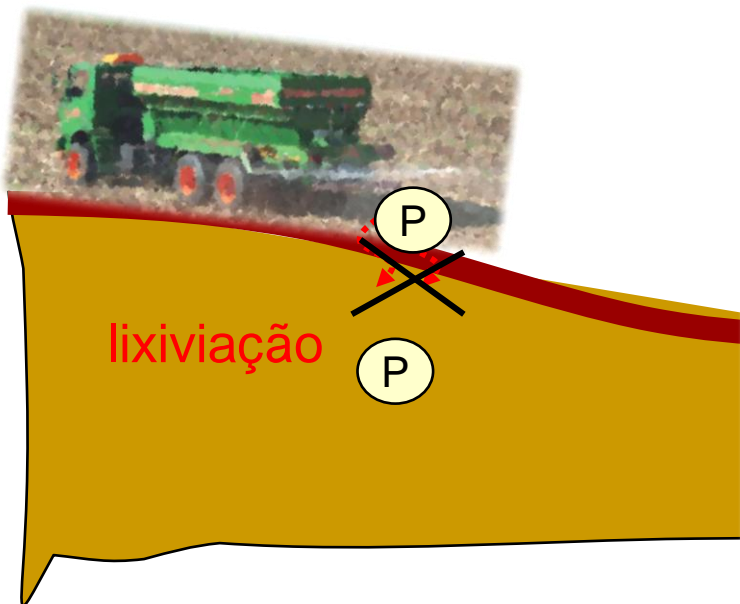


Implicações da adubação fosfatada sem incorporação



No solo

- . Adubação à lanço = acúmulo de P na superfície do perfil
- . Maior potencial de reação com calcário
- . Difusão dificultada pela menor umidade
- . Mineração das reservas e retorno do efeito dreno-solo em profundidade (?)

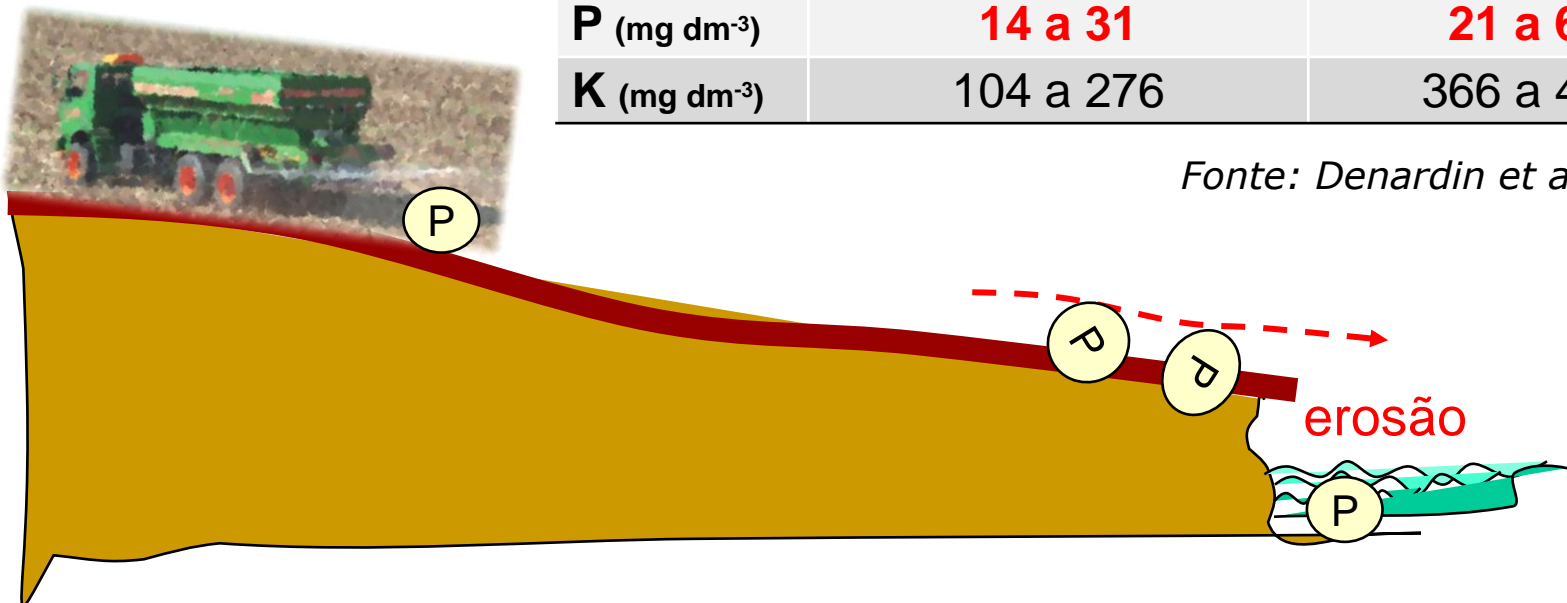


Na água/ambiente

Carreamento de nutrientes em 106 lavouras sob plantio direto no RS.

Nutriente	Tipo de amostra	
	Solo lavoura (0-10 cm)	Sedimentos
P (mg dm ⁻³)	14 a 31	21 a 68
K (mg dm ⁻³)	104 a 276	366 a 482

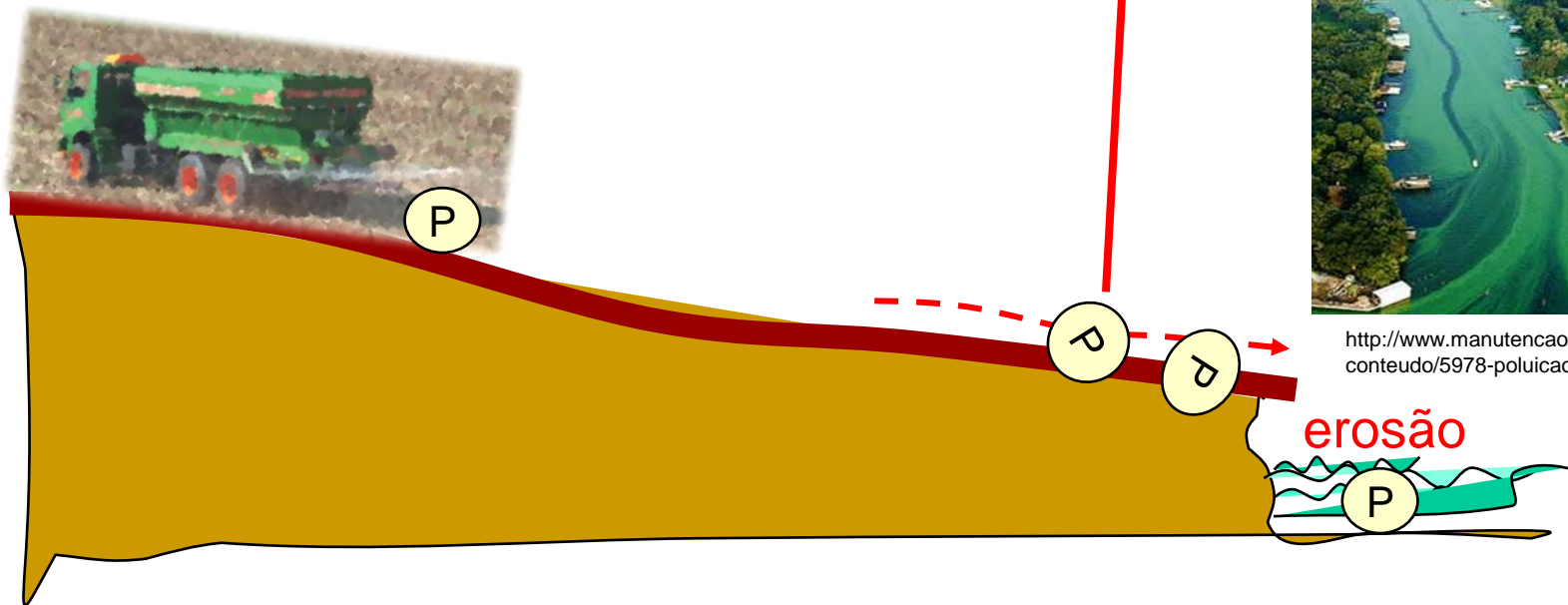
Fonte: Denardin et al. (2008)



Na água/ambiente

Maior risco de eutrofização e inconformidade ambiental:

- . Áreas com declive
- . Pouca palhada
- . Remoção de terraços



<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABEKwAE/poluiacao-hidrica-causas-consequencias>



<http://figmento.blogspot.com.br/2006/05/eutrofizacao.html>



<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/5978-poluicao-por-nutrientes/>

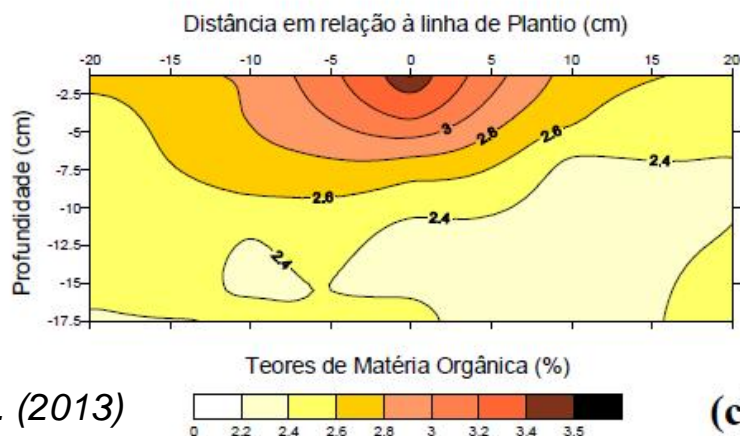
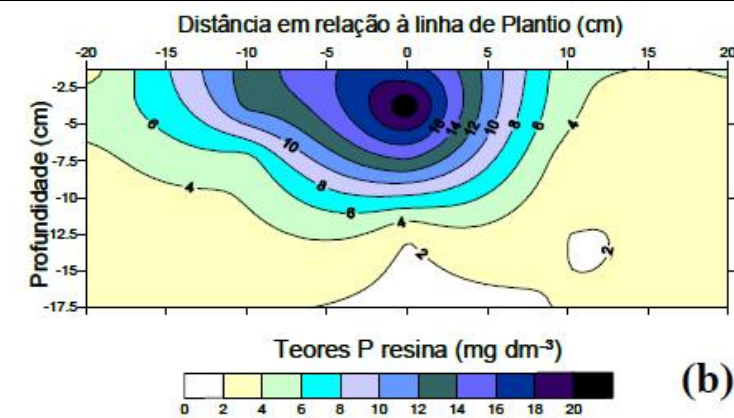
Na planta/potencial produtivo

Crescimento de raízes de soja (a), teores de P (b) e de matéria orgânica (c) em SPD com adubação fosfatada no sulco (6 anos)

P direciona e modula o crescimento de raízes. Aplicação no sulco induz maior crescimento radicular e aporte de matéria orgânica em profundidade.

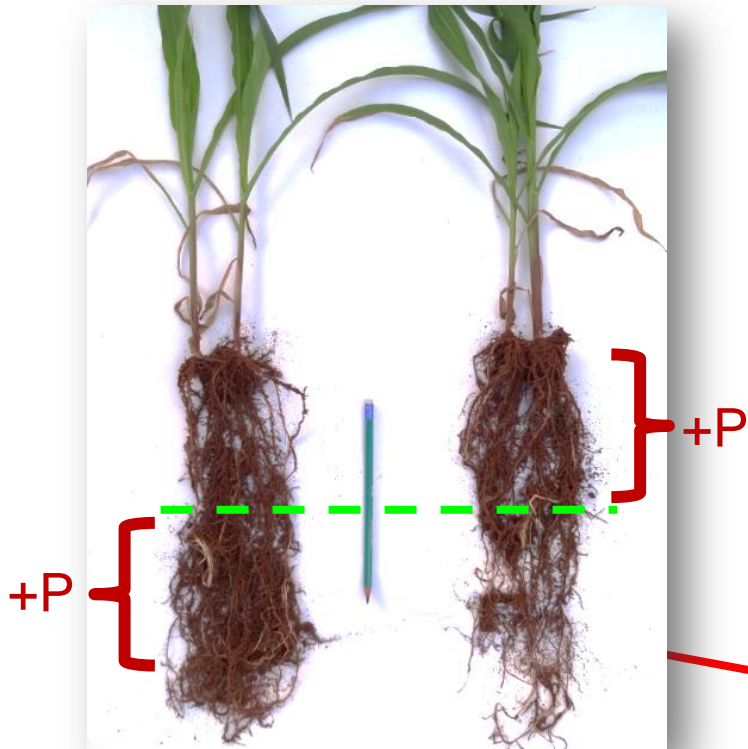


(a)

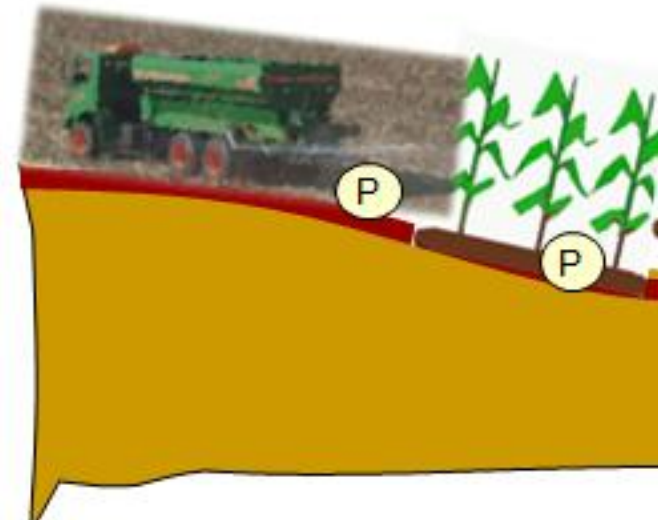


Fonte: Sousa et al. (2013)

Na planta/potencial produtivo



- . Adubação à lanço = raízes superficiais
- . Restrição de acesso a água na safrinha (?)



Na planta/potencial produtivo

Adubação a lanço: “retardo” na aquisição de P vs expressão do potencial genético



Corretiva
+
P sulco

Corretiva
+
P lanço

Solo de Rio Verde – GO

- ✓ 23% de argila
- ✓ Corretiva: 75 mg kg⁻¹ de P
- ✓ Manutenção: 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅



Controle Corretiva Corretiva Corretiva
+ +
P lanço P sulco

Fonte: Embrapa Milho e Sorgo (não publicado)

Na planta/potencial produtivo

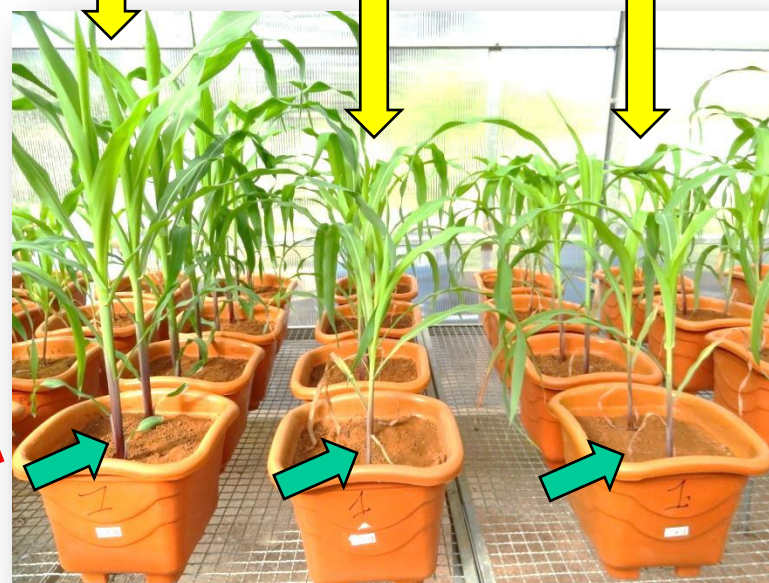
Adubação a lanço: “retardo” na aquisição de P vs expressão do potencial genético

Efeito de “arranque inicial” da adubação no sulco pode ser importante:

- . adiantamento do ciclo = mais segurança contra veranico em fases posteriores
- . cultivares precoces (milho e soja) não podem demorar a “achar” o P



Avanço de um estágio em 28 DAS



Na planta/potencial produtivo

Arranque ruim = atraso no ciclo e maior vulnerabilidade do milho aos veranicos na safrinha

Produtividade de milho submetido a estresses na fase inicial de estabelecimento da cultura

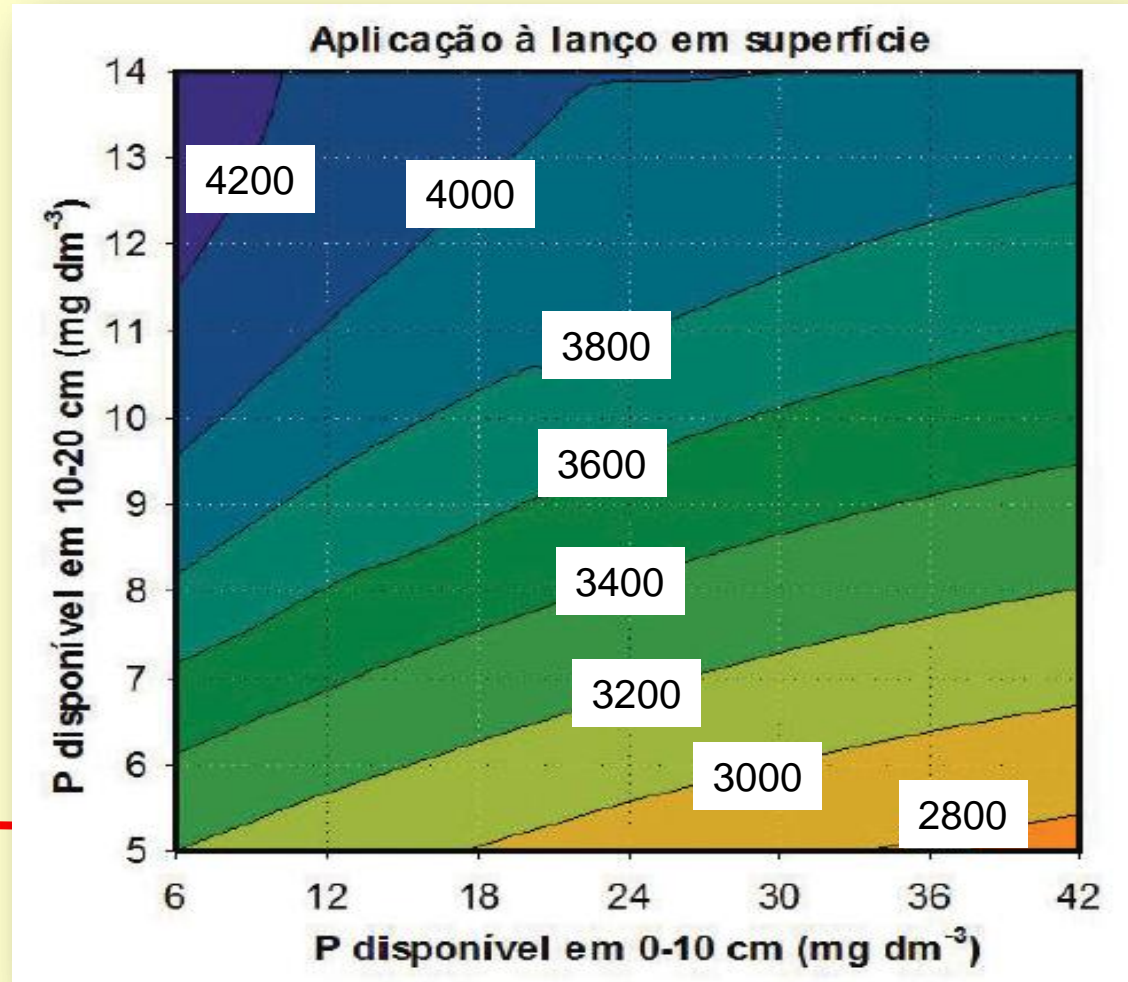
Estresse	Estádio	IAF*	Produtividade (kg/ha)
Água	V4	4,44	8.125
Luz	V4	4,55	9.084
Ausência	-	4,96	10.194

*IAF = Índice de área foliar

Fonte: Baldo & Fancelli, citado por Fancelli (2010)

Na planta/potencial produtivo

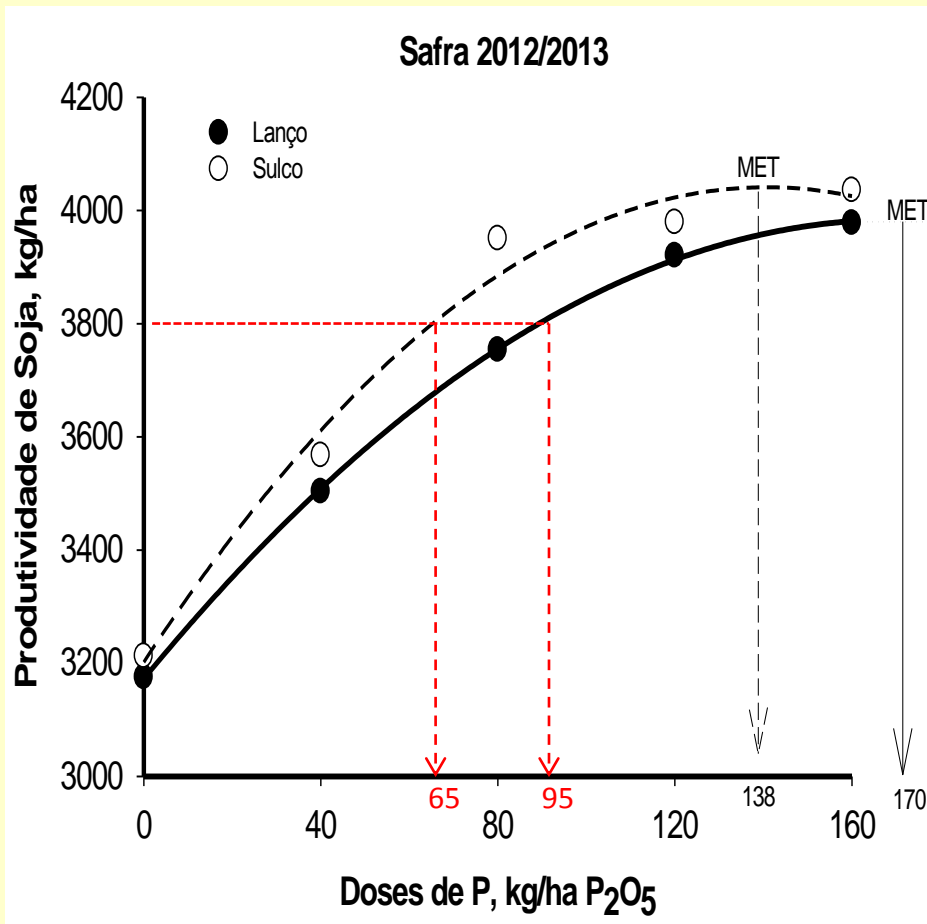
Produtividade de soja (kg/ha) em resposta à disponibilidade de P de 0-10 cm e 10-20 cm, em Rio Verde – GO (2º ano)



Elevada disponibilidade de P na superfície nem sempre garante alta produtividade

Na planta/potencial produtivo

Resposta da soja à adubação com P a lanço e no sulco em Rio Verde - GO (2º ano)



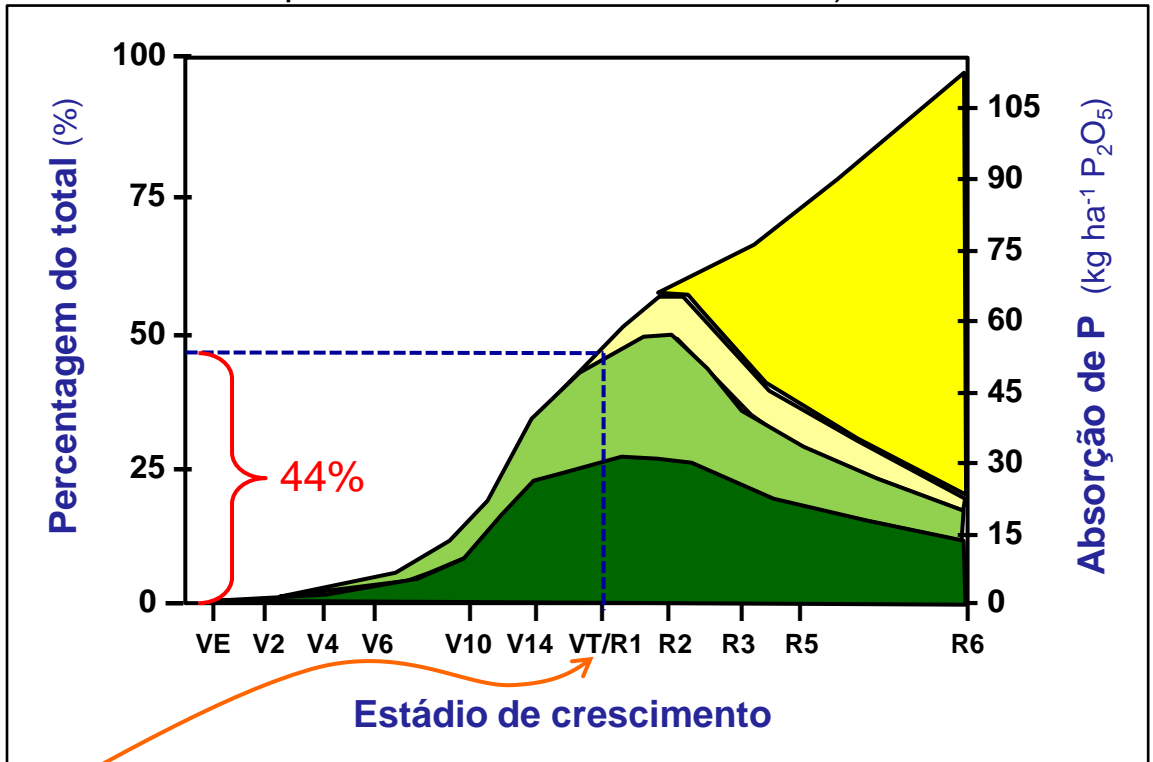
P disponível no solo (Latossolo argiloso)

Forma	Prof. cm	Doses de P				
		0	40	80	120	160
Lanço	0-10	6,41	10,28	16,15	24,73	35,09
	10-20	5,87	7,41	4,58	7,97	14,75
Sulco	0-10	7,20	14,00	26,57	39,39	55,93
	10-20	6,09	8,44	9,54	14,65	17,29

Na planta/potencial produtivo

Curva de absorção de P em milho moderno
(média de 6 híbridos transgênicos em dois locais dos EUA,
produtividade média de 12 t/ha)

Milho: absorção de P
é até o final do ciclo



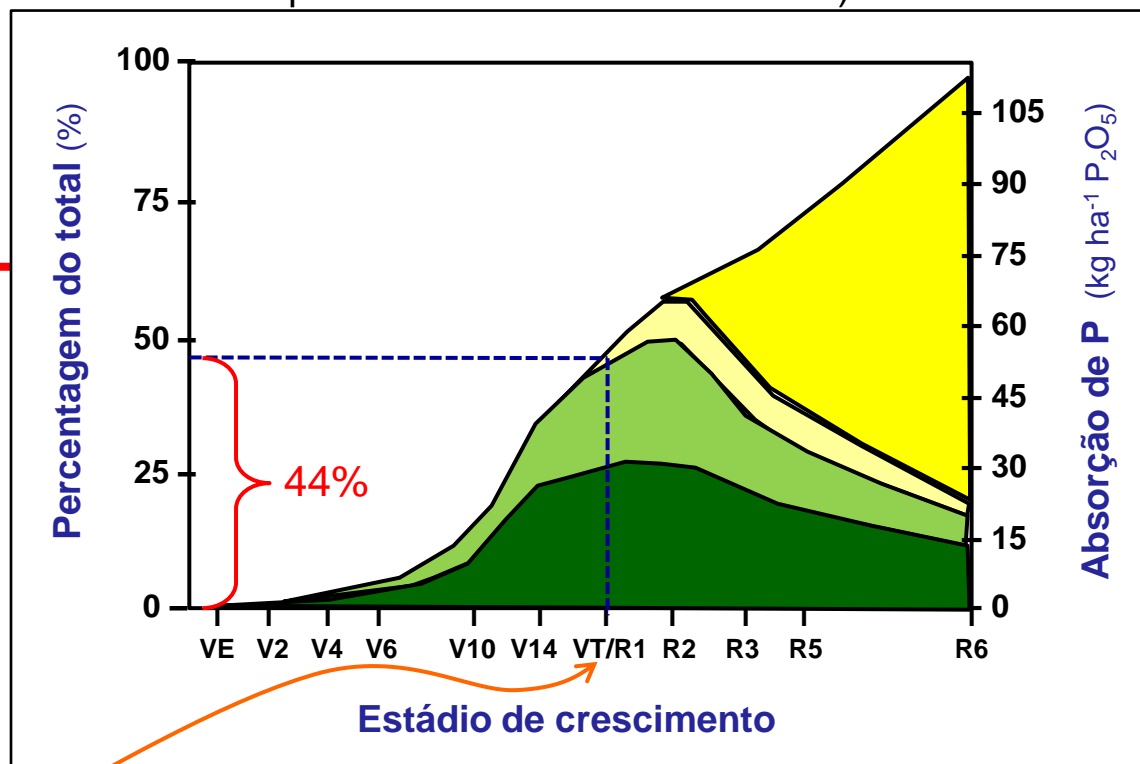
Fonte: Adaptado de Bender et al. (2013)

Na planta/potencial produtivo

Milho: absorção de P é até o final do ciclo

Superfície do solo seca no decorrer da safrinha:
 . Seria a absorção deficiente de P mais um fator a restringir o potencial produtivo do milho safrinha?

Curva de absorção de P em milho moderno (média de 6 híbridos transgênicos em dois locais dos EUA, produtividade média de 12 t/ha)



Fonte: Adaptado de Bender et al. (2013)

Na planta/potencial produtivo

Milho: absorção de P é até o final do ciclo

Absorção de P em milho no Brasil, entre R2/R3 e maturação

(média de 4 híbridos e 2 safras, em Sete Lagoas - MG, produtividades de 9,9 a 15,2 t/ha de grãos)

R2/R3 >>>>>>>>>> Maturação



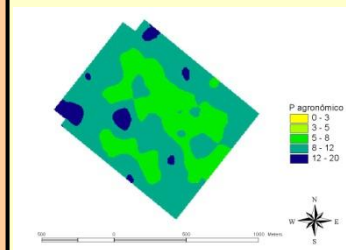
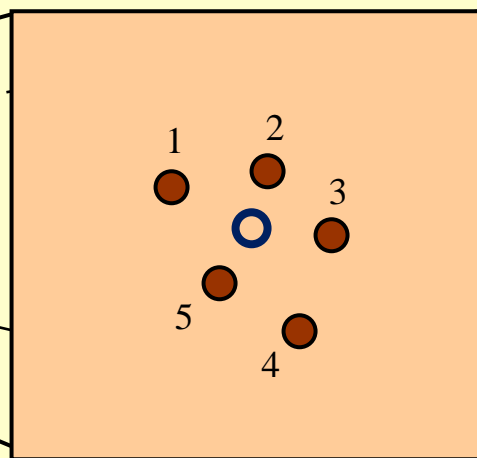
50 dias
→



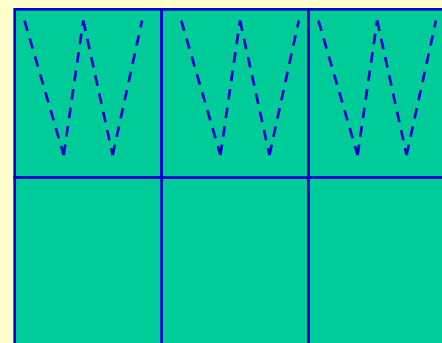
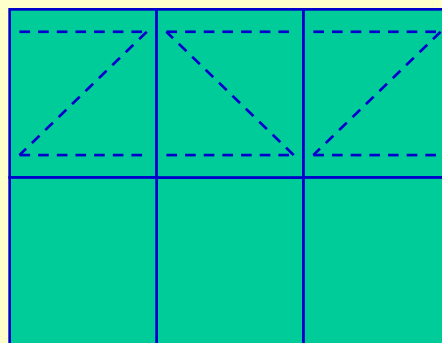
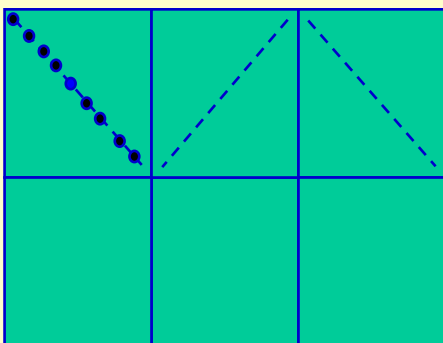
=

29%
da absorção total

Amostragem georreferenciada e adubação em taxa variada



Esquemas de amostragem em grade



Fósforo:

Dependência espacial fraca ou inexistente = mapas pouco consistentes

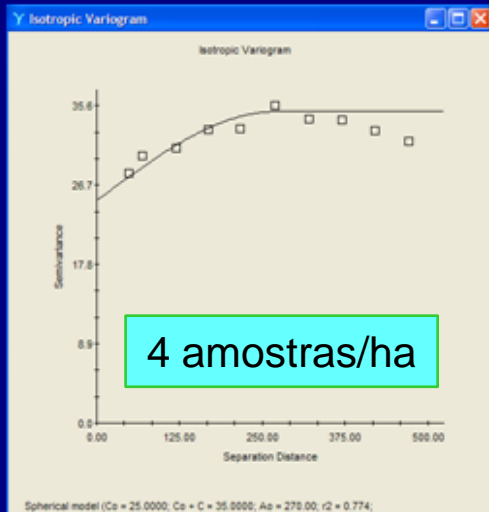
Valores de alcance para atributos do solo em lavoura no Cerrado

Atributo	Malha amostral							
	0,25 ha		1,0 ha		2,25 ha		4,0 ha	
	Alcance (m)	R ²	Alcance (m)	R ²	Alcance (m)	R ²	Alcance (m)	R ²
Mat. Org.	500	0,97	272	0,99	564	0,70	741	0,75
Sat. Bases	500	0,90	434	0,98	1036	0,90	-	-
Ca	575	0,98	708	0,95	709	0,88	727	0,80
Mg	800	0,93	555	0,93	881	0,99	509	0,53
K	300	0,97	584	0,99	600	0,92	467	0,76
P	270	0,77	-	-	-	-	-	-

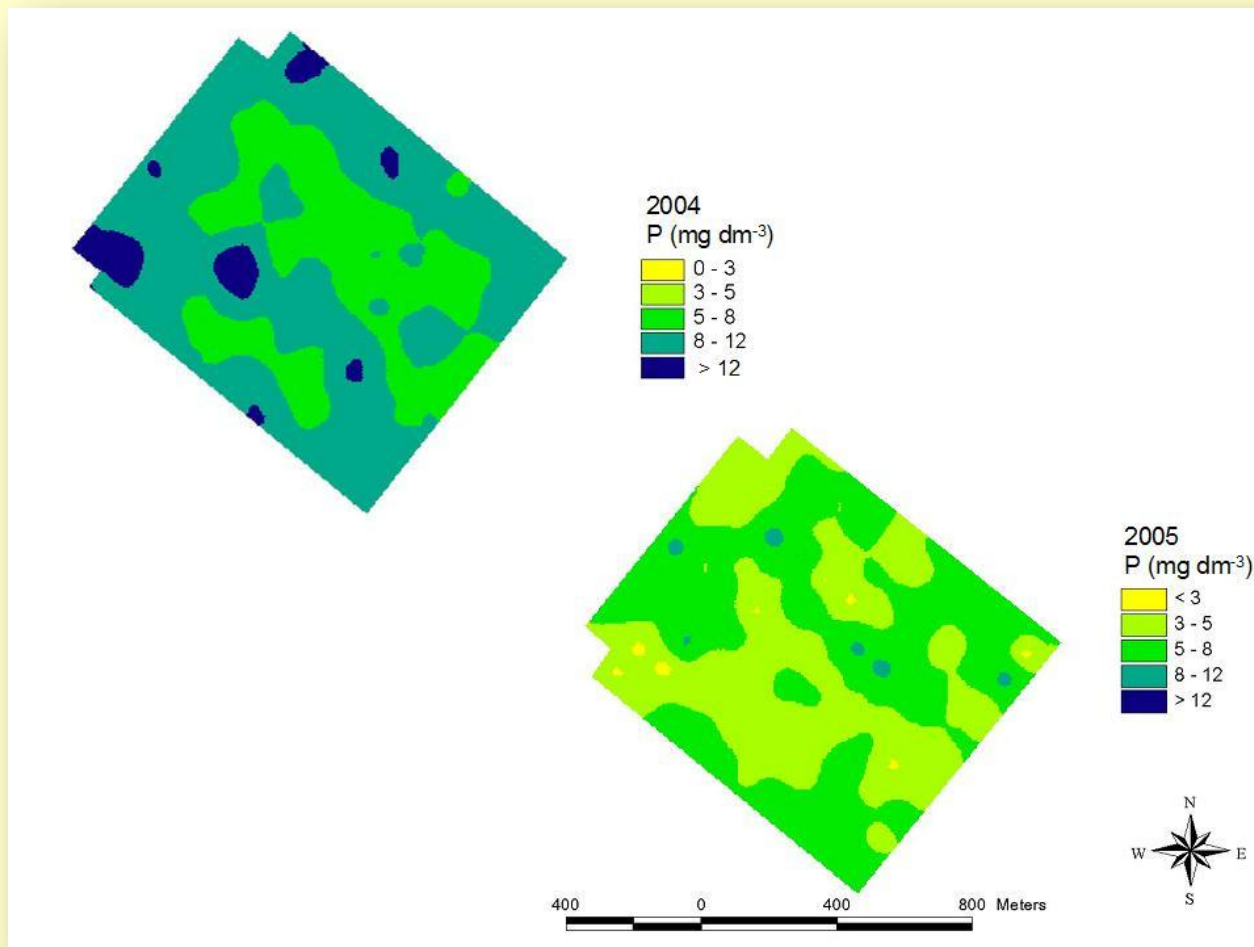
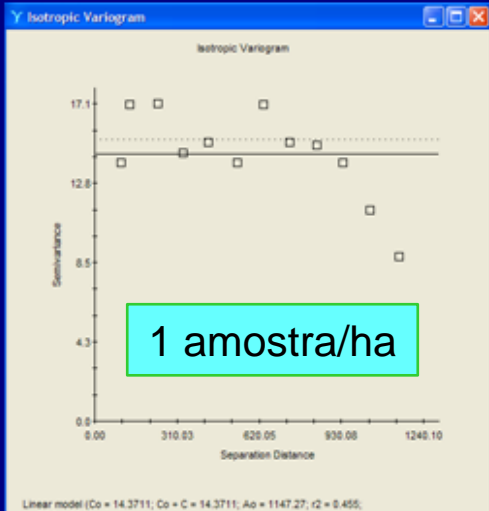
Fósforo:

Baixa mobilidade + forte efeito residual = alta variabilidade

P (grade de 0,25 ha)



P (grade de 1,0 ha)



“Benefícios” atribuídos à adubação com P em taxa variada (ATV):

1. Homogeneização do solo

- . Não tem sido evidente.
- . Estaríamos introduzindo mais variabilidade (“manchando” o solo)?

2. Economia de adubo

- . Estaríamos consumindo as reservas de P no solo construídas ao longo dos anos?

3. Aumento de produtividade

- . ATV coincidiu com transgenia, piloto automático e melhor plantabilidade.
- . Confundimento de ganhos?

Taxa variável de P é coerente (?)

Pré-requisitos para a aplicação de P a lanço:

1. Solo de fertilidade construída no perfil (≥ 20 cm)

- . Esmero na amostragem
- . Diagnóstico consistente / > niv. crítico

2. Relevo plano

- . Problema da remoção de terraços
- . Áreas declivosas são incompatíveis

3. Equipamentos e adubos apropriados

- . Ajuste da faixa de aplicação
- . Minimizar segregação por tamanho de grânulos

Solos menos argilosos e boa disponibilidade hídrica são favoráveis



Antes da adubação a lanço: ajustar nível crítico no perfil conforme capacidade tampão (0-20 cm)

Teor de argila	Nível crítico sequeiro*		Capacidade tampão de fosfato (CT)**	
	Mehlich 1	Resina	Mehlich 1	Resina
% mg/dm ³		(kg/ha de P ₂ O ₅) / (mg/dm ³ de P no solo)	
≤ 15	18	15	5	6
16 - 35	15	15	9	9
35 - 60	8	15	30	14
> 60	4	15	70	19

* Para sistema irrigado, multiplicar por 1,4

** Dose de P₂O₅ solúvel para elevar o teor de P no solo em 1 mg/dm³ (0-20 cm)

Construção da fertilidade:

$$\text{Dose P (kg/ha de P}_2\text{O}_5) = (\text{Nível crítico} - \text{Teor atual}) \times \text{CT}$$



LANÇO / SUPERFÍCIE

X



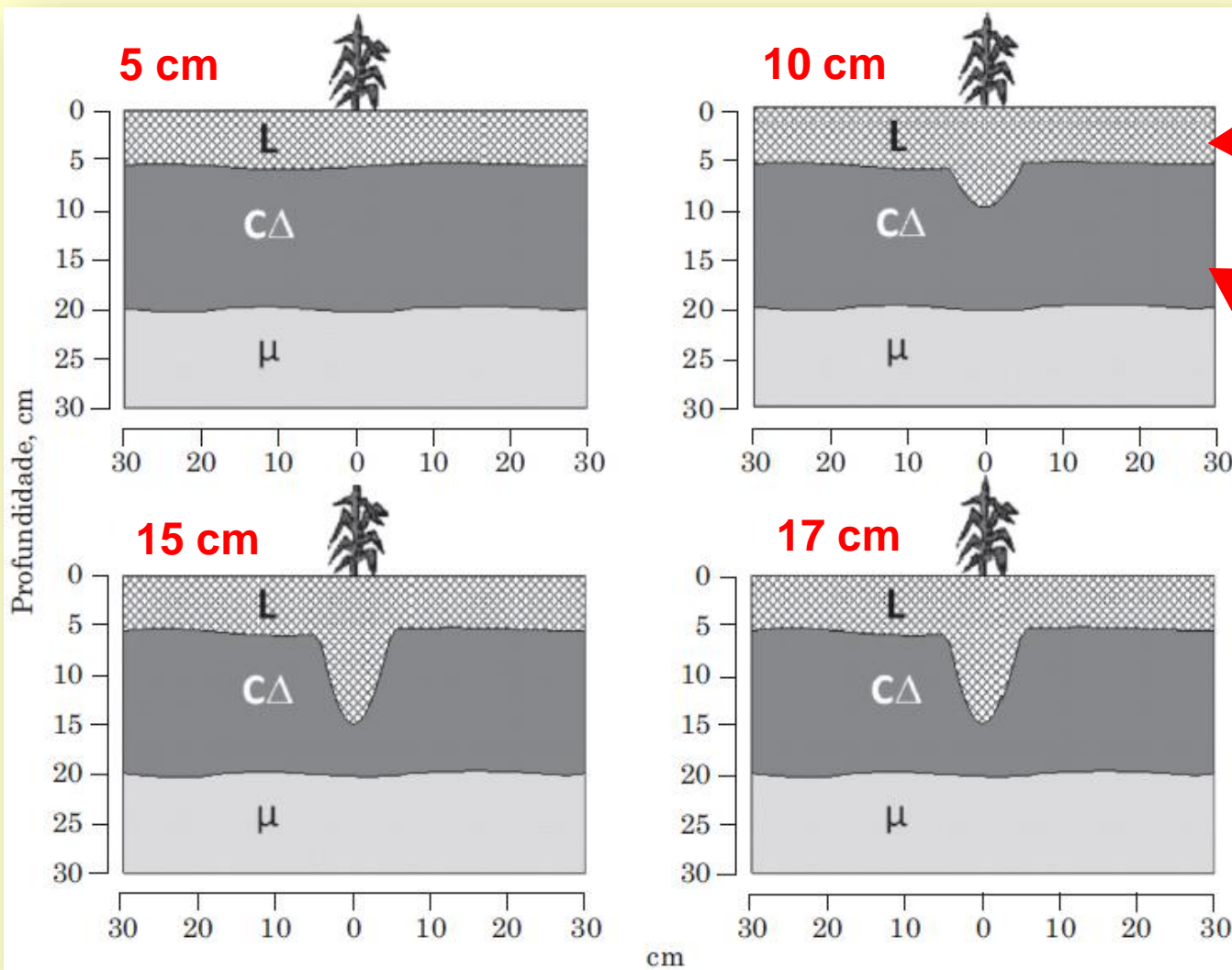
SULCO / INCORPORADO

Estratégia: garantir / manter a disponibilidade de P no perfil de exploração radicular

Opções:

1. Manter 25 a 30% da dose de adubação de manutenção no sulco
2. Intercalar uma adubação de manutenção no sulco a cada 3 ou 4 anos
3. Alternar talhões de semeadura tardia, que poderão ser adubados no sulco
4. “Plantar” o adubo na entressafra com GPS/sistemas de guia (áreas declivosas)
5. Investir no sistema plantio direto de qualidade (diversidade na rotação)

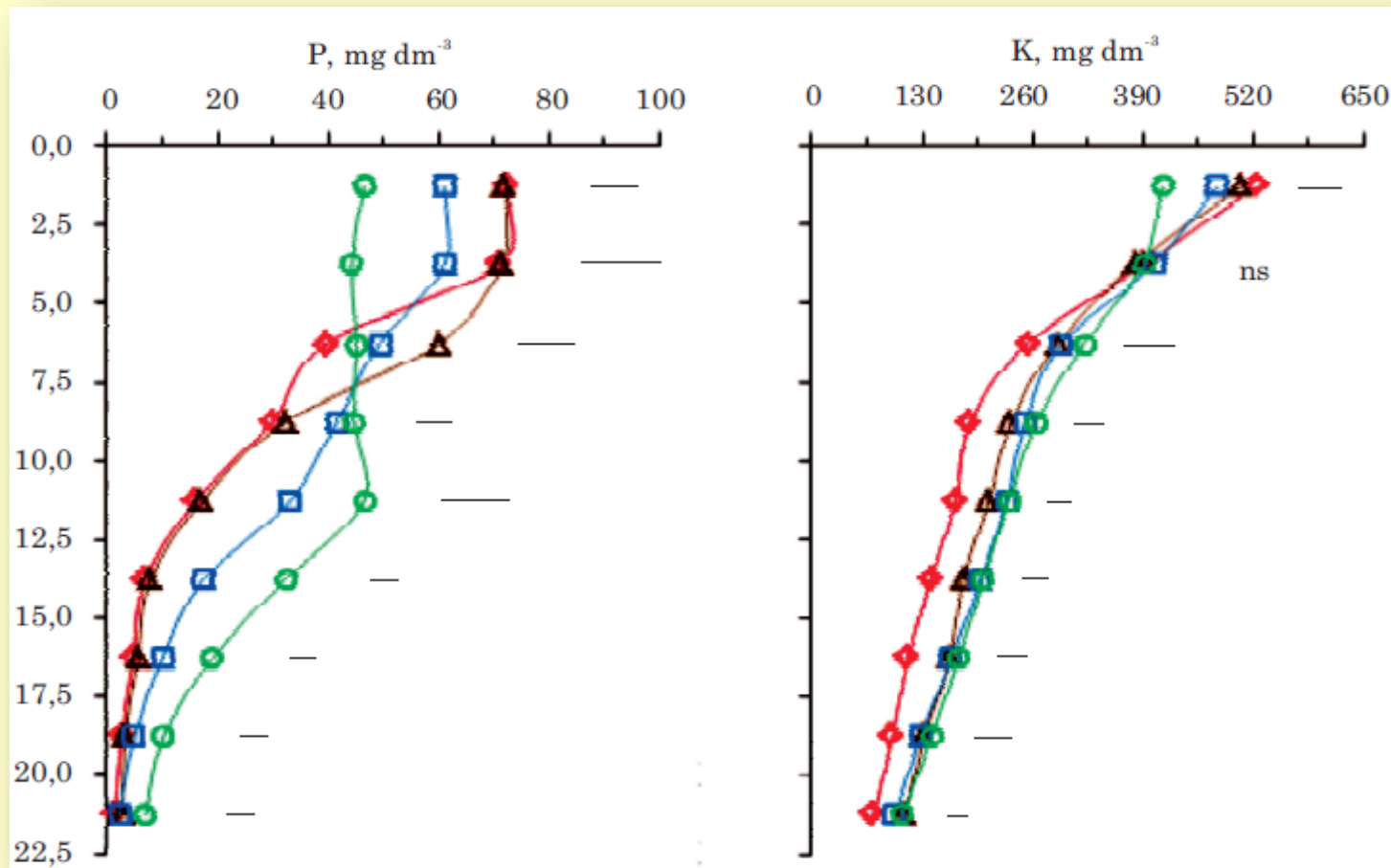
Perfil cultural aos oito meses após uso de semeadora com haste sulcadora e adubação a diferentes profundidades (52% argila)



Camada de solo solto, porosidade visível e abundância de raízes

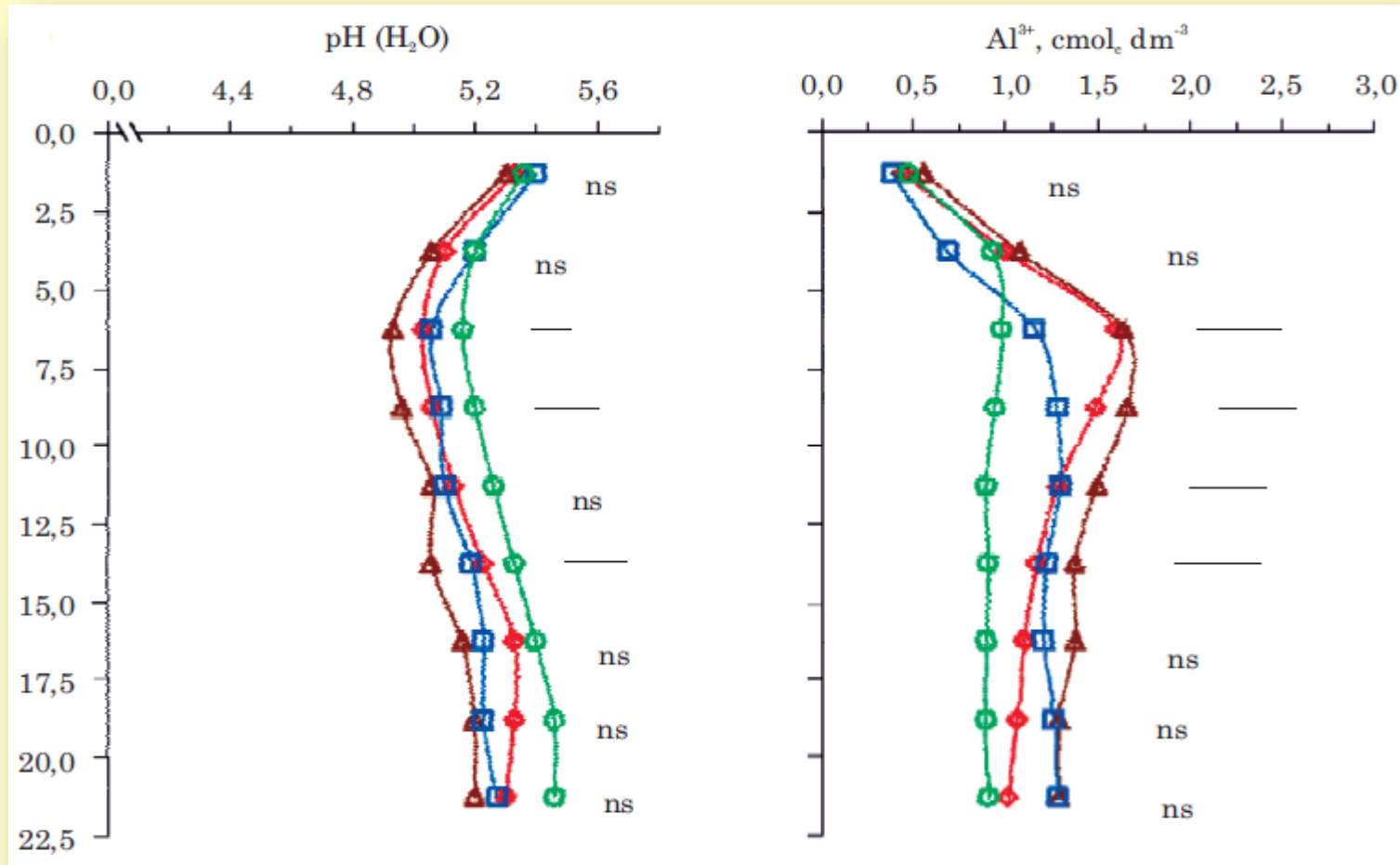
Camada com estrutura maciça, sem porosidade visível e menor presença de raízes

P e K no perfil, oito meses após uso de semeadora com haste sulcadora e adubação a diferentes profundidades (52% argila)



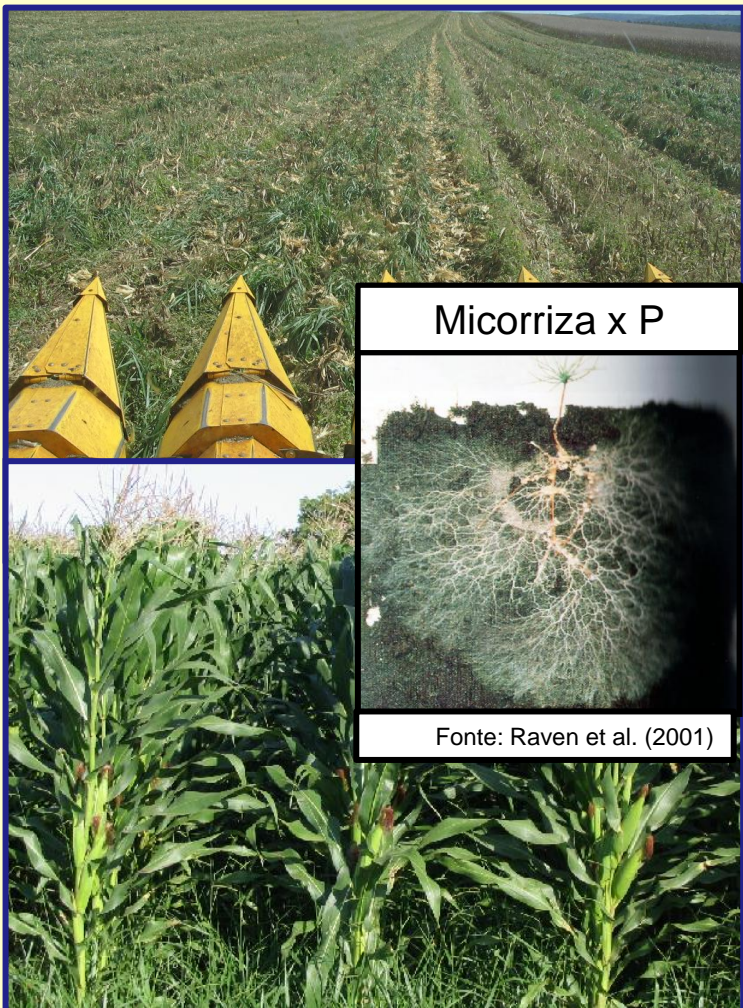
◆ 5 cm ▲ 10 cm ◻ 15 cm ◉ 17 cm

pH e Al no perfil, oito meses após uso de semeadora com haste sulcadora e adubação a diferentes profundidades (52% argila)



Práticas culturais aumentam a eficiência da adubação a lanço com P:

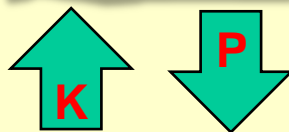
- . Diversidade de espécies e intensificação vegetativa no sistema
- . Efeitos de fisiologia, arquitetura de raiz e microbiota associada



Micorriza x P

Fonte: Raven et al. (2001)

Braquiária e milho: sistema radicular robusto.



Eficiente aproveitamento e mobilização de nutrientes no perfil.



47 DAS

Crescimento rápido

1

A adubação de manutenção com N e K a lanço em superfície pode ser adotada objetivando rendimento operacional, mas com P não é viável para todas as condições de relevo, de fertilidade do solo e de manejo das lavouras;

2

São necessários critérios corretos para se utilizar a adubação a lanço, sem que haja comprometimento da fertilidade do solo, do potencial produtivo das culturas e da qualidade ambiental;

3

Sobretudo em solos argilosos, com plantio direto “pobre” e regiões com frequência de veranicos, há maior risco no fornecimento de P exclusivamente por aplicações a lanço;

4

A dinâmica peculiar do P no solo não permite que a aplicação a taxa variável, nos moldes praticados atualmente, possa ser considerada efetiva em aumentar a precisão ou a eficiência da adubação fosfatada;

5

Práticas como a rotação de culturas e o uso de plantas de cobertura (intensificação vegetativa) aumentam a eficiência das adubações a lanço, criando as condições para que se potencialize o fluxo de ressuprimento do P em profundidade.



Obrigado!

Álvaro Resende

alvaro.resende@embrapa.br

