

Fósforo e adubação fosfatada

Prof. Dr. Gustavo Brunetto
DS-UFSM
brunetto.gustavo@gmail.com

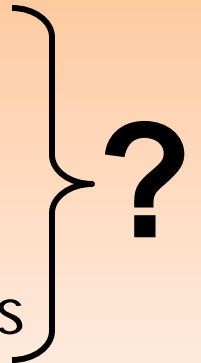
Aula 3: Fósforo e adubação fosfatada

- ✓ Fósforo na planta
- ✓ Fósforo no solo
- ✓ Avaliação da disponibilidade de fósforo
- ✓ Recomendação da adubação fosfatada
- ✓ Filosofia da adubação
- ✓ Fertilizantes fosfatados

Aula 3: Parte 1- Fósforo

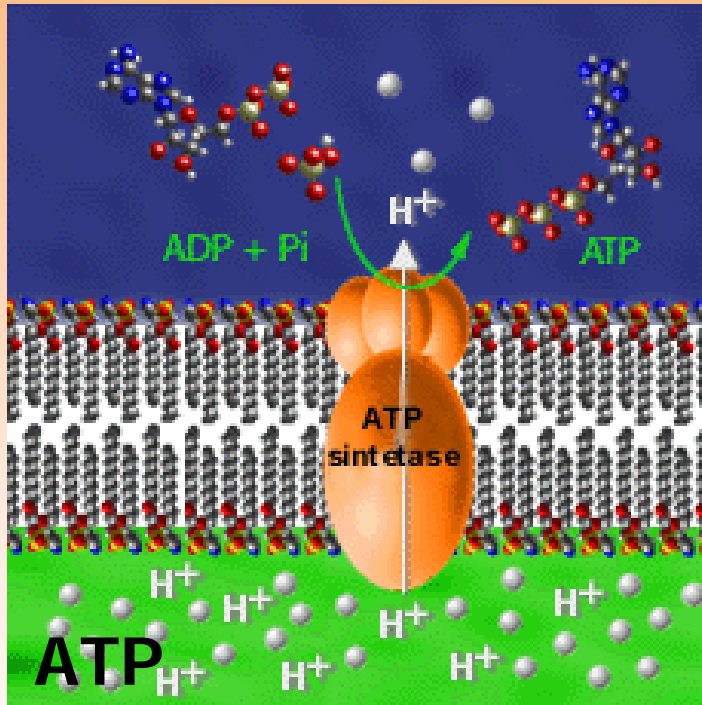
FÓSFORO NOS CULTIVOS

- ✓ Macronutriente pouco exigido pelas plantas
- ✓ Existe em grande quantidade total no solo
- ✓ Fornecido em grande quantidade na fórmula de adubos



✓ FÓSFORO NA PLANTA

✓ Algumas formas de P na planta



FOSFOLIPÍDIOS

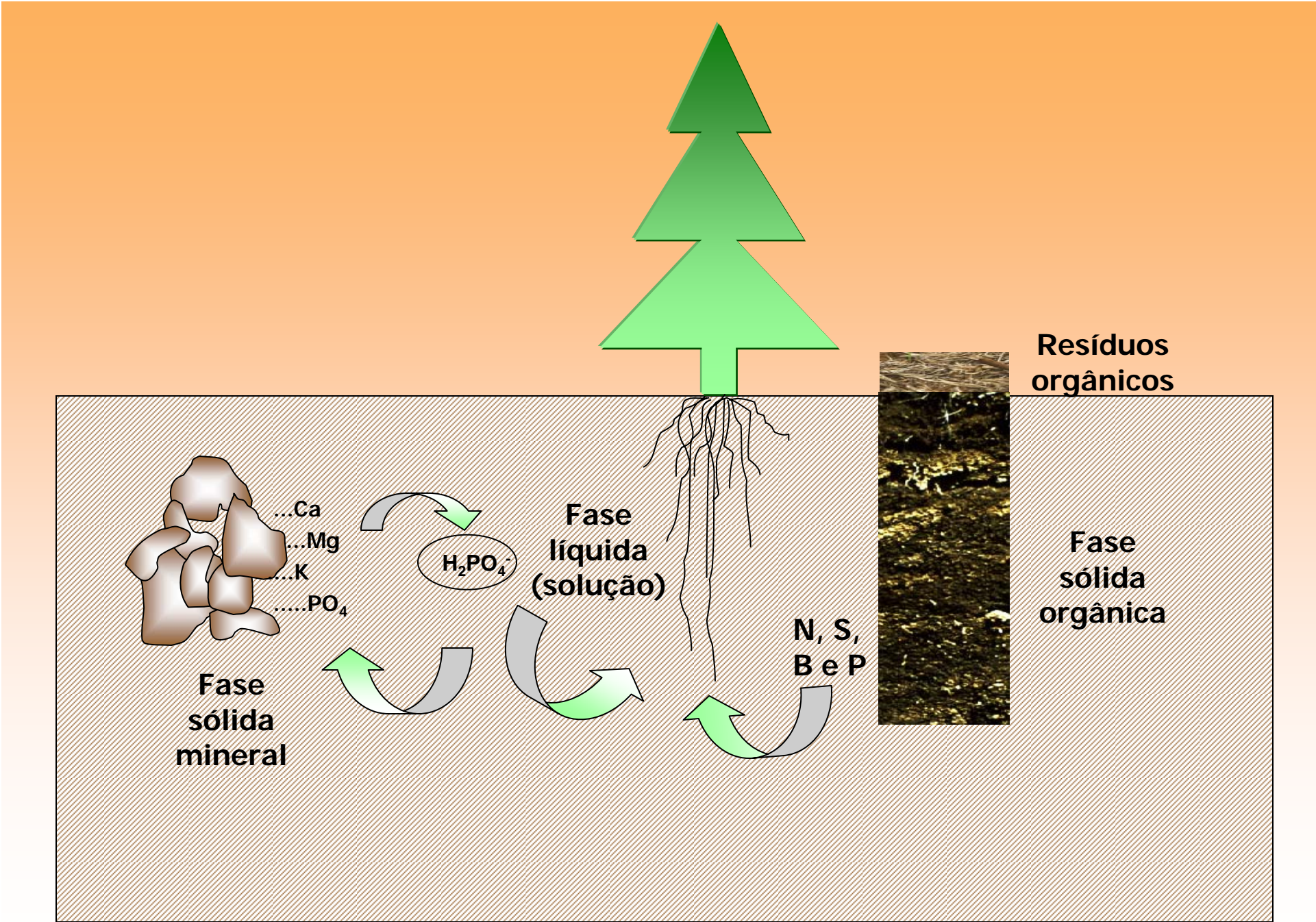
✓ DINÂMICA DO FÓSFORO NO SOLO

✓ P mineral

- HPO_4^{--} ou H_2PO_4^- na solução do solo
- adsorvido nos colóides ou componente estrutural

✓ P orgânico

- componente da matéria orgânica e resíduos vegetais



✓ DINÂMICA DO FÓSFORO NA SOLUÇÃO DO SOLO

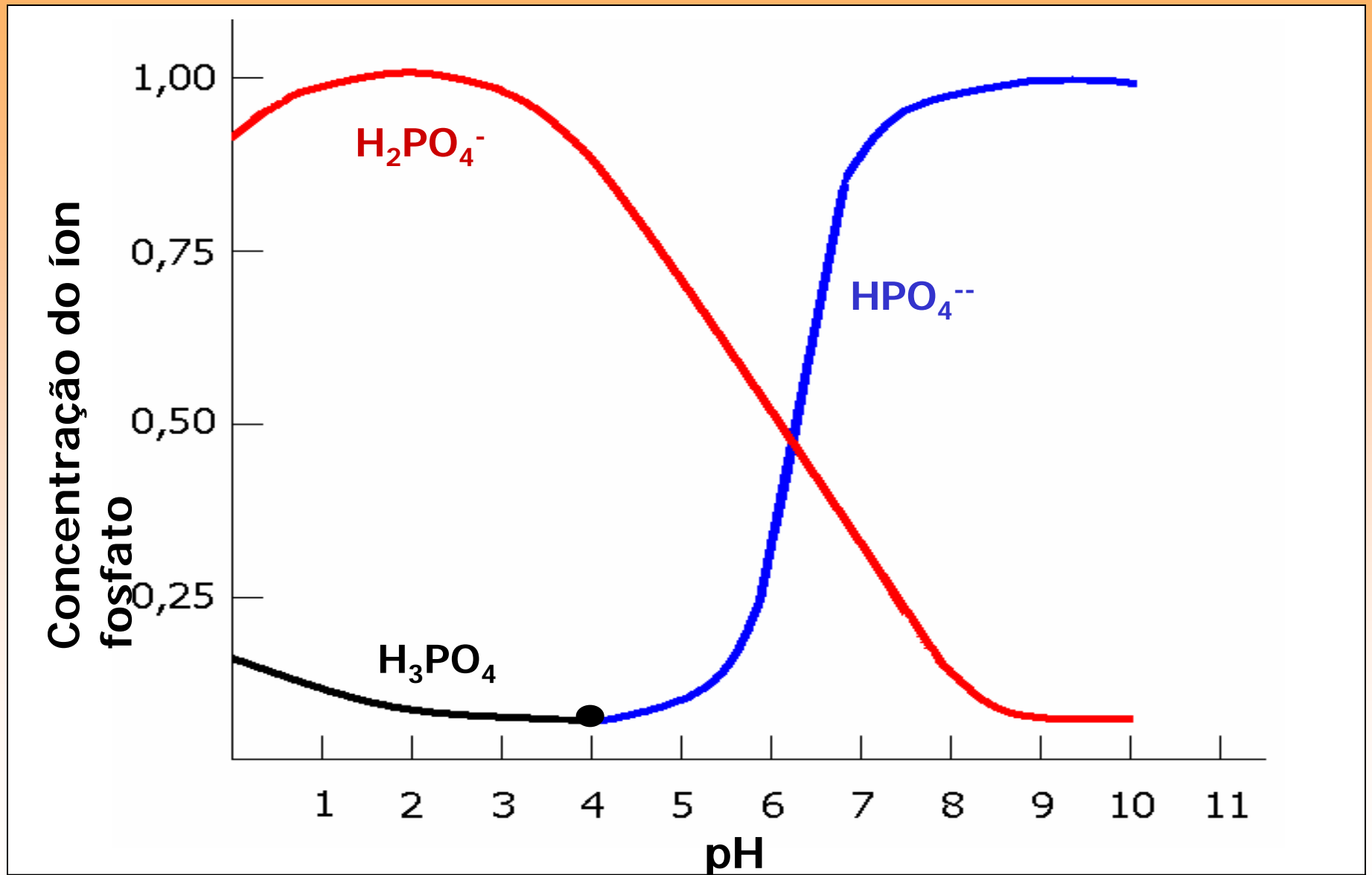


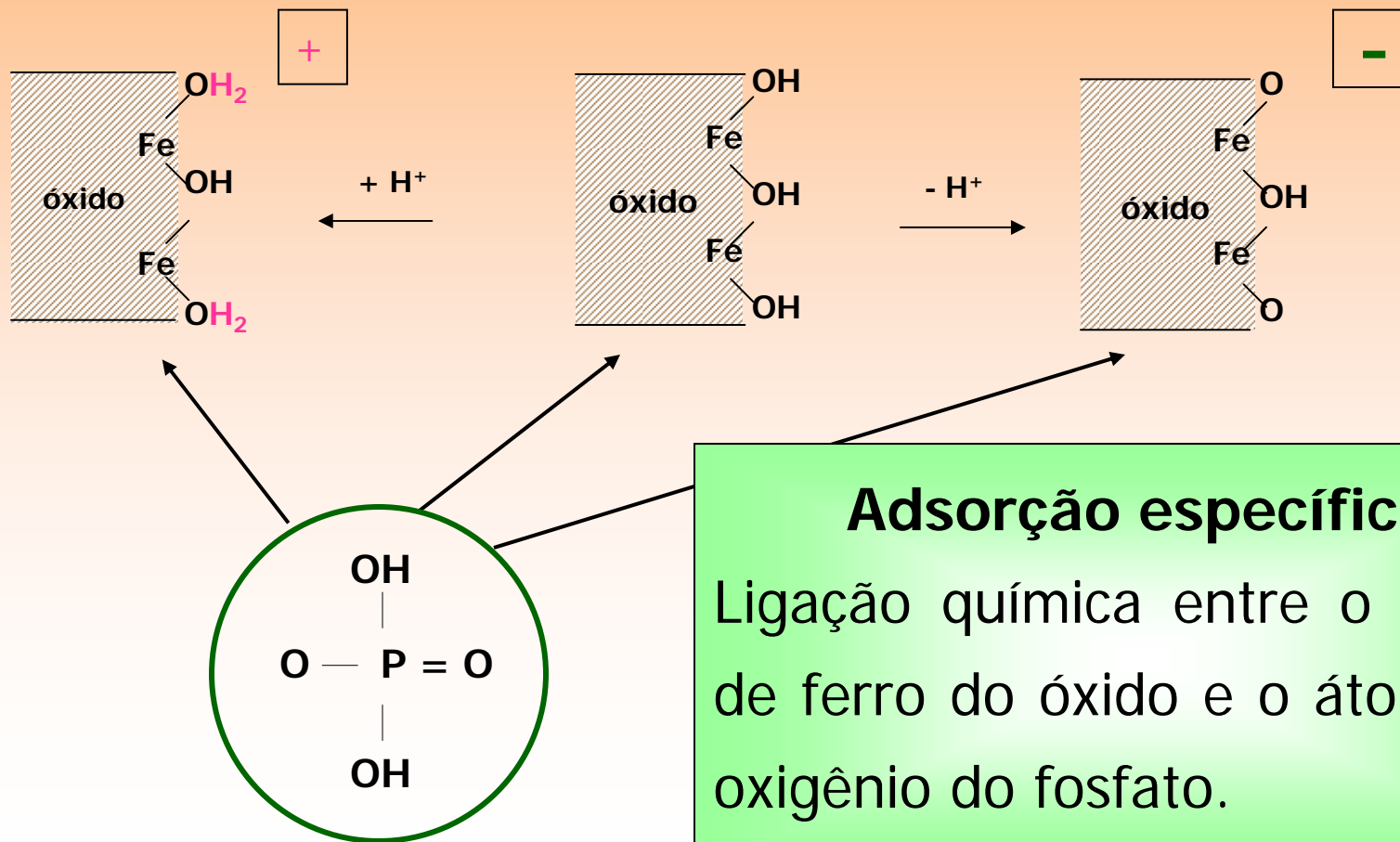
Gráfico 1. Concentração do íon fosfato relacionado ao pH da solução

✓ ADSORÇÃO DO FÓSFORO NO SOLO

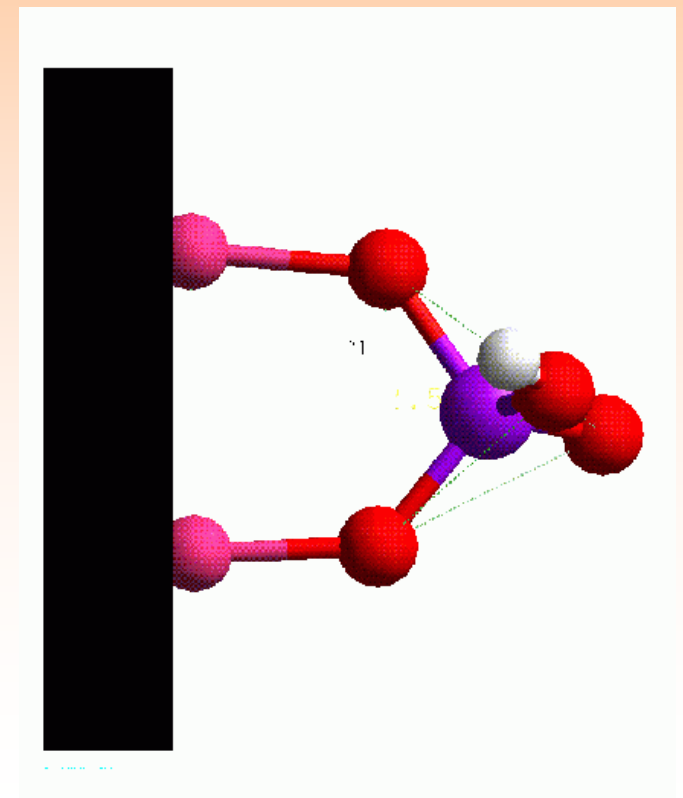
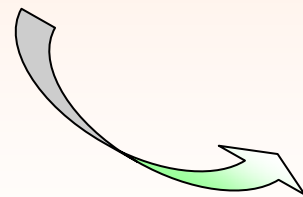
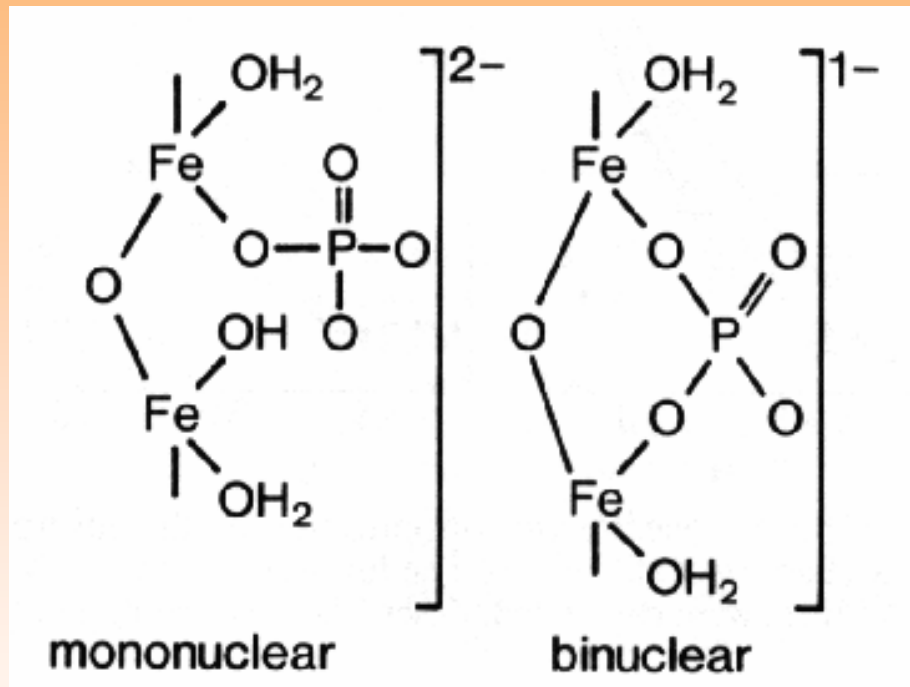
superfície de óxidos

Carga variável (não possui carga permanente)

PROTONAÇÃO



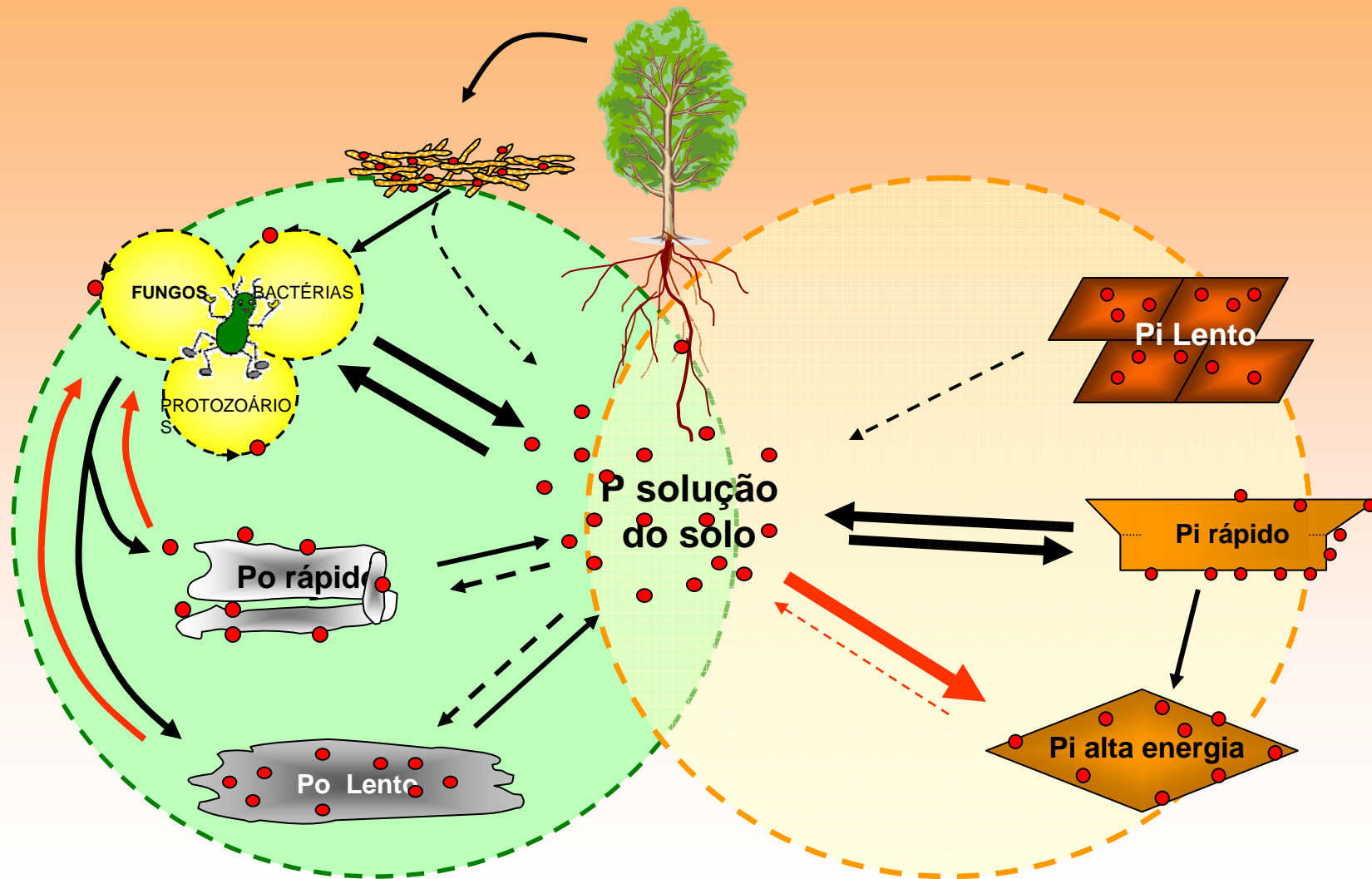
✓ Quanto menor o pH → maior é a facilidade para ocorrer a reação e mais forte é a ligação.



CONSEQUÊNCIAS

- ✓ **Teor total de P:** pode ser alto no solo (depende do material de origem e histórico de adubações)
- ✓ **Teor na solução do solo:** baixo (forte interação com os colóides = baixa solubilidade dos compostos).
- ✓ Uma parte do P ligado aos colóides está em equilíbrio com a solução do solo: **P lábil**
- ✓ Restante do P adsorvido fortemente aos colóides (alta energia de ligação) ou fazendo parte da estrutura dos minerais (lentamente liberado): **P não lábil**
- ✓ **P orgânico:** depende da ciclagem da MOS e resíduos e interação com os colóides inorgânicos

✓ CICLO DO FÓSFORO NO SOLO



✓ FATORES QUE AFETAM A DISPONIBILIDADE DE P

- quantidade das formas de P (fonte e dreno de fosfatos)
- teor e tipo de argila (presença de óxidos de Fe e Al)
- pH
- teor de matéria orgânica e dinâmica dos resíduos no solo
- Manejo da adubação fosfatada

✓ MECANISMOS DE SUPRIMENTO

- interceptação radicular
- fluxo de massa = [nutriente] x taxa transpiração
- difusão = coef. dif. área raízes x água x $\frac{\text{conc. sol.} - \text{conc. raiz}}{\text{distância}}$

Tabela 1. Valores médios da contribuição relativa dos mecanismos de suprimento para plantas de milho durante 13 dias em 12 solos do RS.

Nutriente	Interceptação radic.	Fluxo de massa	Difusão
%.....		
P	3,5	2,6	93,9
K	0,9	10,1	89,0
Ca	35,0	65,0	0
Mg	10,9	89,1	0

(Fonte: Vargas et al. 1983)

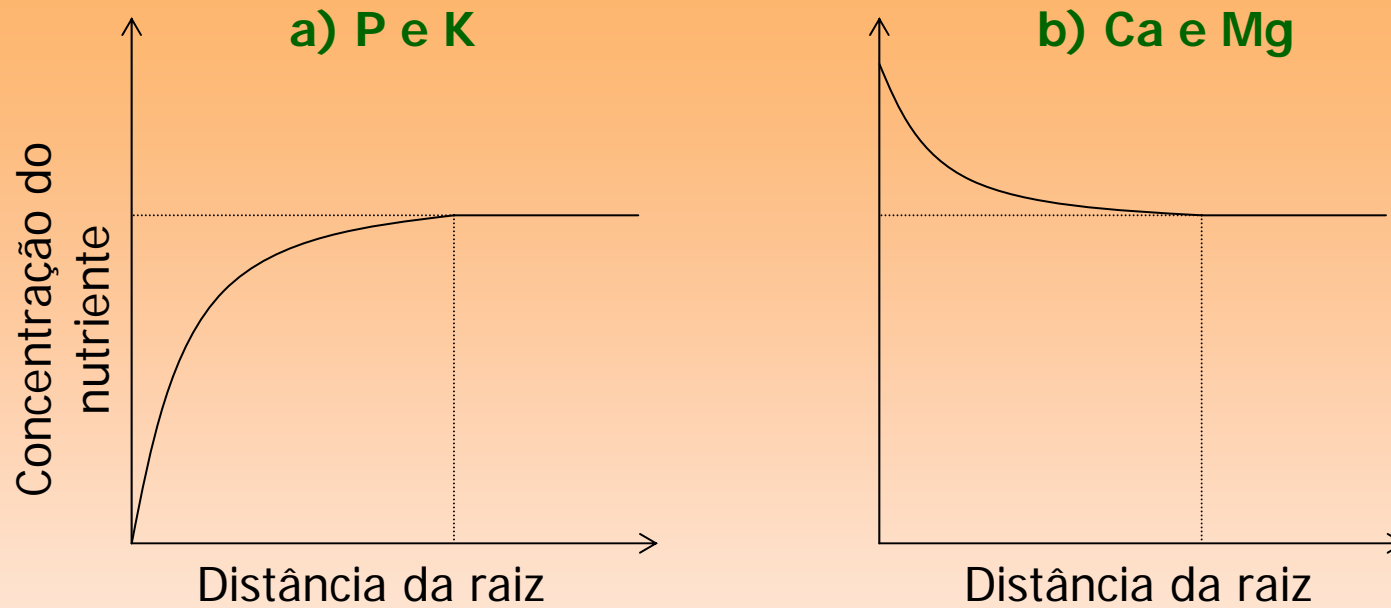


Gráfico 2. Gradiente de concentração de nutrientes na proximidade das raízes em função dos mecanismos de suprimento. (Anghinoni, 1995).

✓ ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO

Como se pode avaliar a disponibilidade de P?

- ✓ Sintomas visuais de deficiências
- ✓ Análise de solo e planta

- **Análise de solo:** Estimar o que o solo tem capacidade de fornecer
- **Análise de planta:** Avaliar o que a planta conseguiu obter do solo

Tabela 2. Extratores de “P-disponível” destrutíveis mais frequentemente usados

Nome	Composição	Rel.	Autor
Ac. Cítrico	Ácido cítrico a 1%	1:10	Deyer (1894)
Bray-1	HCl 0,025 mol L ⁻¹ + NH₄F 0,03 mol L ⁻¹	1:10	Bray e Kurtz (1945)
Bray-2	HCl 0,1 mol L ⁻¹ + NH₄F 0,03 mol L ⁻¹	1:17	Bray e Kurtz (1945)
CaCl ₂	CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹		Schofield (1955)
Egner	Lactato de Ca 0,01 mol L ⁻¹ + HCl 0,2 mol L ⁻¹	1:20	Egner et al (1954)
IAC	H₂SO₄ 0,025 mol L ⁻¹	1:10	Catani e Gargantini (1954)
Mehlich-1	HCl 0,025 mol L ⁻¹ + H₂SO₄ 0,02 mol L ⁻¹	1:4	Mehlich (1953)
Mehlich-2	NH₄F 0,015 mol L ⁻¹ + HOAc 0,2 mol L ⁻¹ + NH₄Cl 0,2 mol L ⁻¹ + HCl 0,025 mol L ⁻¹	1:10	Mehlich (1978)
Mehlich-3	NH₄F 0,015 mol L ⁻¹ + HOAc 0,2 mol L ⁻¹ + NH₄NO₃ 0,25 mol L ⁻¹ + HNO₃ mol L ⁻¹ + EDTA 0,001 mol L ⁻¹	1:10	Mehlich (1984)
Morgan	HOAc 0,54 mol L ⁻¹ + NaOAc 0,7 mol L ⁻¹ (pH 4,8)	1:10	Morgan (1941)
Olsen	NaHCO₃ 0,5 mol L ⁻¹ (pH 8,5)	1:20	Olsen et al (1954)
Troug	H₂SO₄ 0,001 mol L ⁻¹ + (NH₄)₂SO₄ (pH3,0)	1:100	Troug (1930)

Tabela 3. Extratores de “P-disponível” não destrutíveis

Nome	Composição	Unidades	Autor
Papel - aniônico	Papel de filtro impregnado com $\text{Fe}(\text{OH})_3$	cm^2/cm^3 40,2/2,5	Van der Zee et al (1987)
Resina	Resina de adsorção aniônica – base forte saturada com HCO_3^- (grânulos ou lâminas)	cm^3/cm^3 ou cm^2/cm^3	Amer et al (1955)
Resina	Resina de adsorção aniônica + Resina de saturação catiônica (MIXTA)	cm^3/cm^3 ou cm^2/g	Raij et al (1986)

Métodos de troca isotópica com P^{32} (E) P-solo e P^{32} (A) P-solo e P^{32} avaliado por planta e (A) quantidade de P absorvido de uma fonte padrão marcada com P^{32}

✓ ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE DE P ÀS PLANTAS

- Inúmeros métodos testados

✓ Método oficial de extração no RS/SC

- **Mehlich 1** → H_2SO_4 0,0125 mol L⁻¹ e HCl 0,05 mol L⁻¹

Alternativa → Resina trocadora de íons

✓ ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE DE P ÀS PLANTAS

Como se pode saber se o método usado para extração de P é adequado?

✓ Calibração

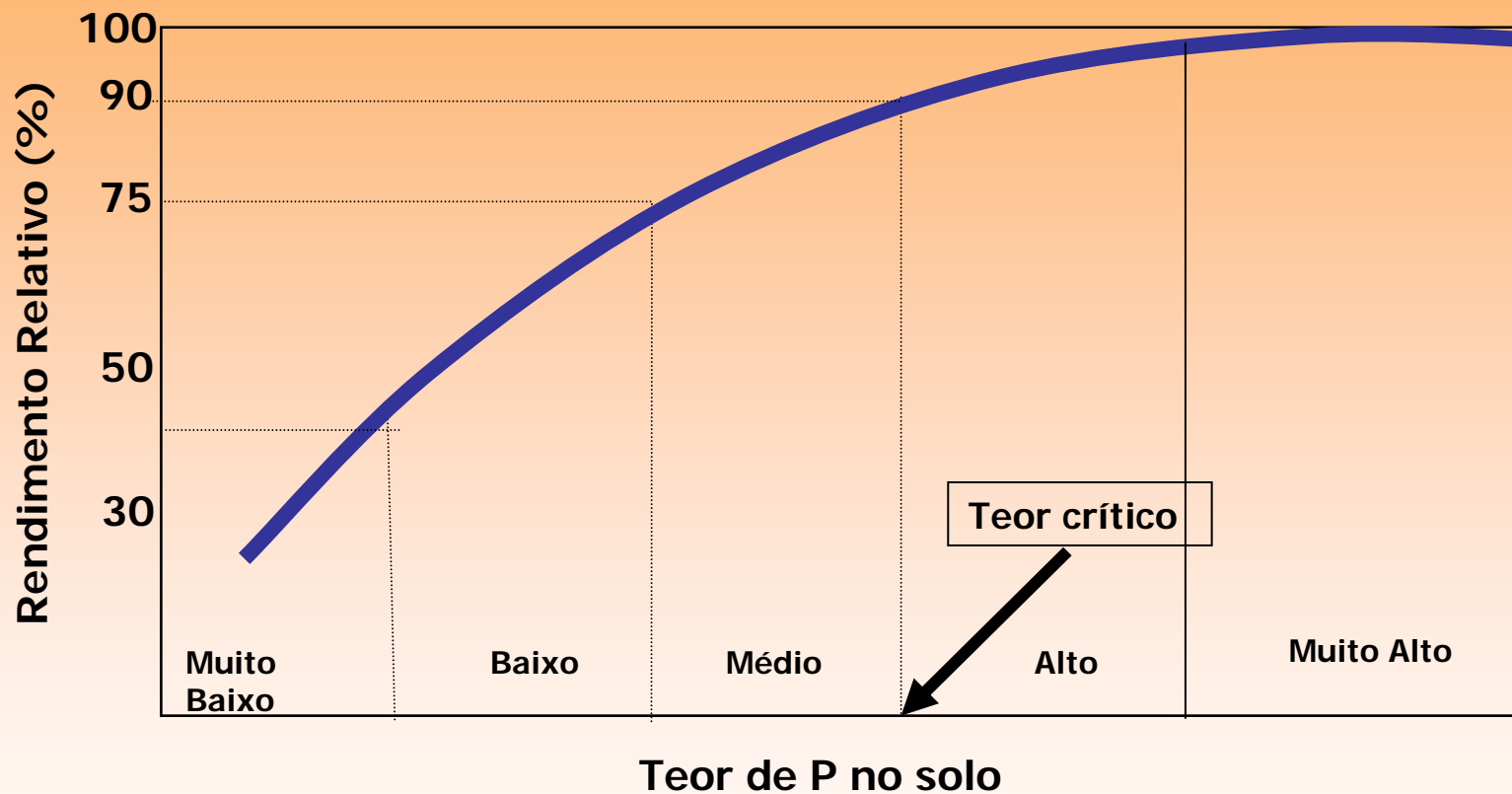


Gráfico 2. Relação entre rendimento relativo e teor de P no solo, RS/SC, 2004.

Aula 3: Parte 2- Adubação Fosfatada

Como está a disponibilidade de P ?



MEC - Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais - Departamento de Solos

Laudo de Análise de Solo

Nome: Leandro Souza de Silva
Município: Leandro Souza de Silva
Localidade: SANTA MARIA

Solicitante: Leandro Souza de Silva
Endereço: Leandro Souza de Silva
Entrada: 22/09/05
Emissão: 13/10/05

Registro	Identificação de amostra	Área (ha)	Sistema de cultivo	Profundidade (cm)	Coeficiente de variação
7227	PIQUETE 5				

Diagnóstico para catalogação do solo

Registro	pH água	Ca	Mg	K	H+Al	CTCativa	Saturação (%)	Índice SMP	
7227	5,7	7,5	3	0	0,5	10,0	0	79	62

Diagnóstico para recomendação de adubação NPK

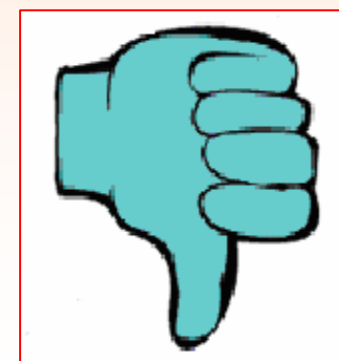
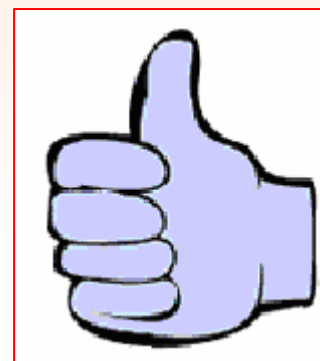
Registro	% Vol. Org. m/v	% água	valores	P-Médios mg/dm ³	Phospho mg/dm ³	CTCativa mg/dm ³	K mg/dm ³
7227	2,5	34	3	9,3	-X-	14,1	92

Diagnóstico para S, micronutrientes e relações molares

Registro	S	Ca	Zn	B	Fe	Mn	Ni	Relação	Relação	Relação	
7227	-X-	-X-	-X-	-X-	402,5	-X-	-X-	2,5	50,4	22,0	6,041

Busca: Laboratório de Análise de Solo
Departamento de Solos/CCRR/UFSM
Santa Maria - CEP 97090-000
Fone/Fax: (51) 3205-6133
http://www.crea.rs.gov.br

INSTITUTO DE PESQUISA
ESTADUARDINO
DE AGRICULTURA
Eng. Agr. Leandro Souza de Silva
CREA 13495
Responsável Técnico



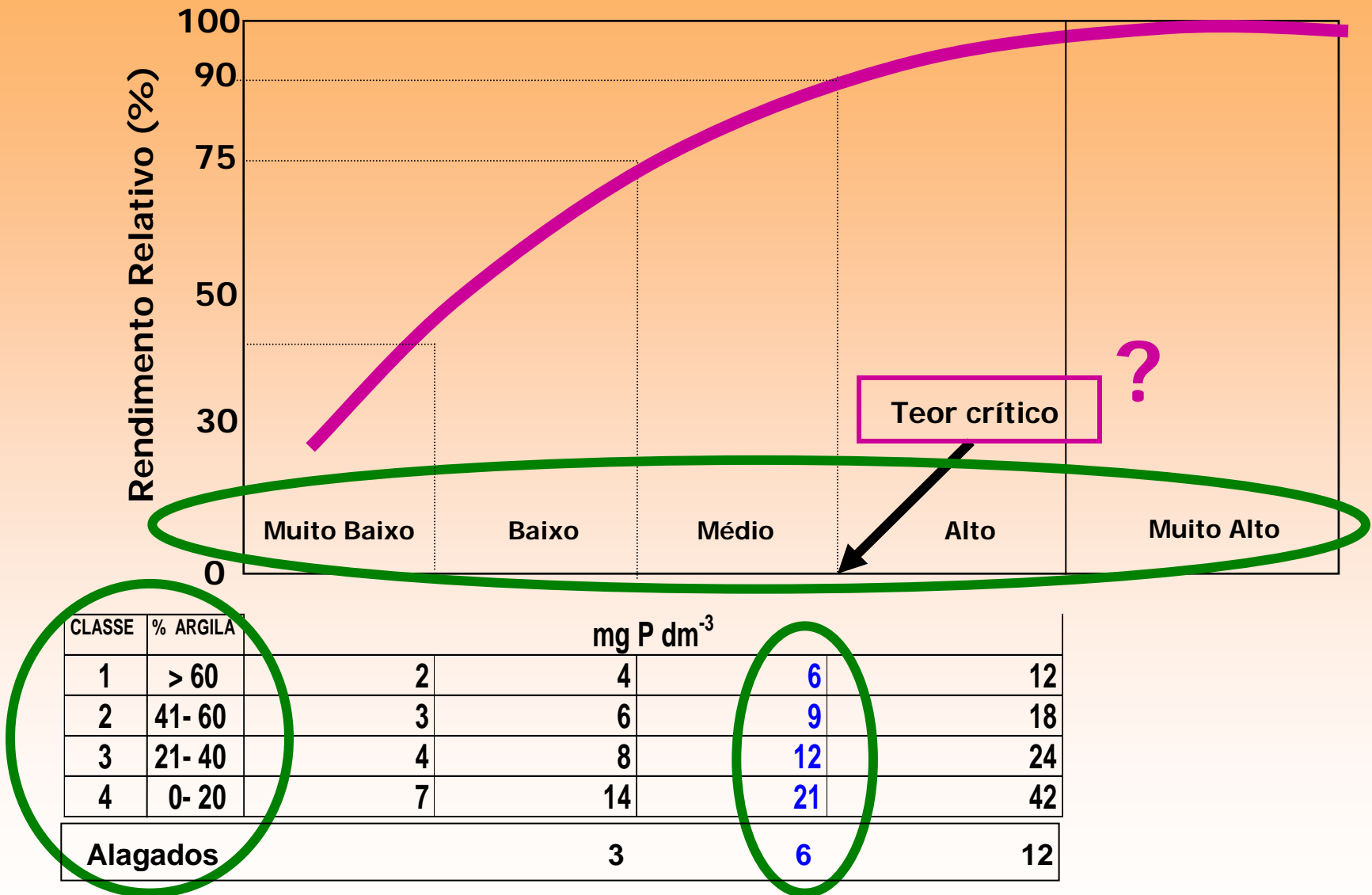


Gráfico 1. Relação entre rendimento relativo e teor de P no solo, RS/SC, 2004.

Como está a disponibilidade de P?

Argila

34

P Mehlich 1

9,3

 MEC - Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais - Departamento de Solos

Laudo de Análise de Solo

ANÁLISE QUANTITATIVA
Análise Básica + Micronutrientes
2005
1992-2005

Nome: _____ Solicitante: Leandro Souza de Silva
Município: Leandro Souza de Silva Endereço: _____
Localidade: SANTA MARIA Entrada: _____ Emissão: _____
22/09/05 13/10/05

Registro	Identificação da amostra	Área (ha)	Sistema de cultivo	Profundidade, cm	Georreferenciamento
7227	PIQUETE 5				

Diagnóstico para calagem do solo

Registro	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC _{cat}	Saturação (%)		Índice SAN ²
							Al	Bases	
7227	5,7	7,5	3	0	3,5	10,6	0	75	6,2

Diagnóstico para recomendação de adubação NPK

Registro	% Mat. Org. m/m	% argila m/m	textura	P-Mehlich mg/dm ³	Premio mg/dm ³	CTC _{cat} cmol/dm ³	K mg/dm ³
7227	2,5	34	3	9,3	-X-	14,1	82

Diagnóstico para S, micronutrientes e relações molares

Registro	S	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relações			
								Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg/K
7227	-X-	-X-	-X-	-X-	402,5	-X-	-X-	2,5	50,4	22,0	0,041

Busca _____ PESQUISA _____ N _____

Laboratório de Análises de Solo
Departamento de Solos/CCRI/UFSM
Santa Maria/RS, CEP 97106-900
Fone/Fax: (51) 3205-4153
<http://www.ufsm.br/solos>
Vinculado à ROLAS - IBS e SIC

ESTE LAUDO NÃO VALE
FINANCIAMENTO BANCÁRIO
Eng. Agr. Leandro Souza de Silva
CREA 83401
Responsável Técnico

✓ TIPOS DE ADUBAÇÃO

➡ Adubação corretiva

Dose do nutriente para elevar o nível do solo até a condição ótima (↑ **a classe de disponibilidade do solo** → acima do teor crítico).

➡ Adubação manutenção

Dose do nutriente para manter os níveis de fertilidade do solo nos anos subsequentes (**exigência da cultura + perdas**).

➡ Adubação reposição

Dose do nutriente para repor as **exportações** da cultura com a colheita.

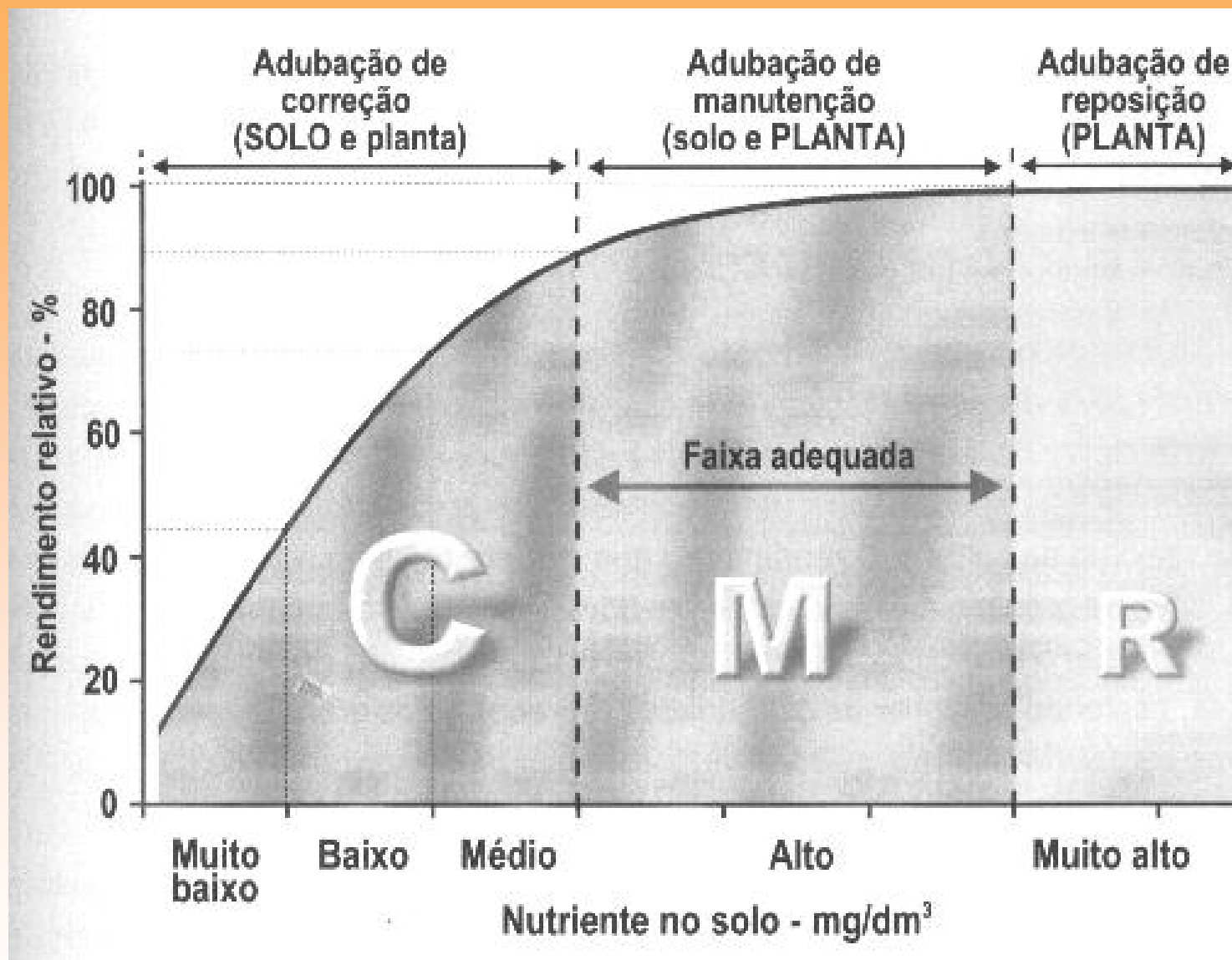


Gráfico 2. Relação entre o rendimento relativo das culturas em função do teor de um nutriente no solo e as indicações de adubação para cada faixa de teor no solo. (extraído de CQFS-RS/SC (2004) a partir de Gianello e Wiethölter, 2004)

CORREÇÃO (C)

Tabela 7.1. Quantidades de fósforo e potássio a serem adicionadas ao solo para a adubação de correção total⁽¹⁾

Interpretação do teor de P ou de K no solo	Fósforo	Potássio
	kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹	kg de K ₂ O ha ⁻¹
Muito baixo	120	120
Baixo	60	60
Médio	30	30

⁽¹⁾Quando a opção for a adubação corretiva total, devem ser adicionados também as quantidades de manutenção indicadas na Tabela 7.2 (colunas 3 e 4) para os rendimentos de referência da cultura. Para rendimento maior do que o indicado na tabela, adicionar por tonelada adicional de grãos a serem produzidos, as quantidades indicadas nas colunas 5 e 6 para o fósforo e potássio, respectivamente.

No estabelecimento das doses da tabela acima, considerou-se a capacidade tampão dos solos em P e K (kg de P₂O₅ ou K₂O necessários para aumentar, na análise, 1 mg de P ou K dm⁻³ de solo) e a quantidade necessária para elevar a concentração desses elementos no solo até o teor crítico.

MANUTENÇÃO (M)

pg. 78 - Manual...

Tabela 7.2. Valores de adubação de manutenção de P e de K das culturas de grãos para os rendimentos especificados e quantidades a serem adicionadas por tonelada de grãos produzidos acima do rendimento de referência.

Cultura	Rendimento referência	Valores de manutenção (M) para o rendimento referência ⁽¹⁾		Quantidade a acrescentar por tonelada adicional de grãos a serem produzidos	
	t ha ⁻¹	kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹	kg de K ₂ O ha ⁻¹	kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹	kg de K ₂ O ha ⁻¹
Amendoim	2	30	40	15	20
Arroz irrigado	4	20	20	10	10
Arroz sequeiro	2	20	20	10	10
Aveia branca	2	30	20	15	10
Aveia preta	2	30	20	15	10
Canola	1,5	30	25	20	15
Centeio	2	30	20	15	10
Cevada	2	30	20	15	10
Ervilha seca e Ervilha forrageira	1,5	30	40	15	20
Ervilhaca	1	20	30	20	25
Feijão	1,5	25	30	15	20
Girassol	2	30	30	15	15
Linho	1,5	30	40	15	15
Milho	4	45	30	15	10
Milho pipoca	3	35	25	15	10
Nabo forrageiro	2	30	40	15	20
Painço	1,5	20	15	15	10
Soja	2	30	45	15	25
Sorgo	3	35	25	15	10
Tremoço	2	25	45	15	25
Trigo	2	30	20	15	10
Triticale	2	30	20	15	10

REPOSIÇÃO (R)

Tabela 10.1. Teores médios de N, P (P₂O₅) e K (K₂O) nos grãos de algumas culturas

Culturas	N	P ₂ O ₅		K ₂ O
		kg t ⁻¹		
Amendoim	50	11	14	
Arroz	14	5	3	
Aveia branca	20	7	5	
Aveia preta	20	7	5	
Canola	20	15	12	
Centeio	20	9	5	
Cevada	20	10	6	
Ervilha seca e ervilha forrageira	36	9	12	
Ervilhaca	35	15	19	
Feijão	50	10	15	
Girassol	25	14	6	
Linho	30	14	9	
Milho	16	8	6	
Milho pipoca	17	8	6	
Nabo forrageiro	20	11	18	
Painço	21	8	4	
Soja	60	14	20	
Sorgo	15	8	4	
Tremoço	30	12	15	
Trigo	22	10	6	
Triticale	22	8	6	

✓ **ADUBOS FOSFATADOS**

✓ **Classificação dos adubos fosfatados:**

1) Insolúveis em água

- Fosfatos Naturais
- Termofosfatos e escórias
- Farinha de ossos, etc.

2) Parcialmente solúveis em água (parcialmente acidulados)

- Fosfato parcialmente solubilizado: FAPS

3) Solúveis em água (acidulados)

- Superfosfatos simples, triplo, duplo e amoniado
- Fosfatos de amônio: Mono-amônio (MAP) e
Di-amônio (DAP)


✓ **Fosfato Natural**

Rocha fosfatada moída e concentrada

- Fluorapatitas $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$
- Hidroxiapatitas $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$
- Carbonatoapatitas $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3$

. **Origem ígnea (duros)**

- brasileiros (Araxá, Patos de Minas, Catalão)
- alta cristalinidade e baixa substituição isomórfica

 { baixa solubilidade em água ou ácido
baixa eficiência como fonte de P às plantas

➡ Para usar esses fosfatos deve-se romper a estrutura com ácidos (solúveis) ou temperatura (termofosfatos)

. Origem sedimentar (moles)

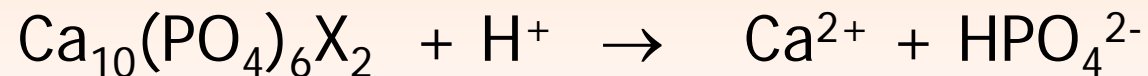
- Arad (Israel), Gafsa (Tunísia), Marrocos

Rede cristalina frágil e alta substituição isomórfica

↳ baixa solubilidade em água mas média solubilidade em ácido

➡ Eficiência para as plantas?

- Depende da dissolução do fosfato e a liberação de P

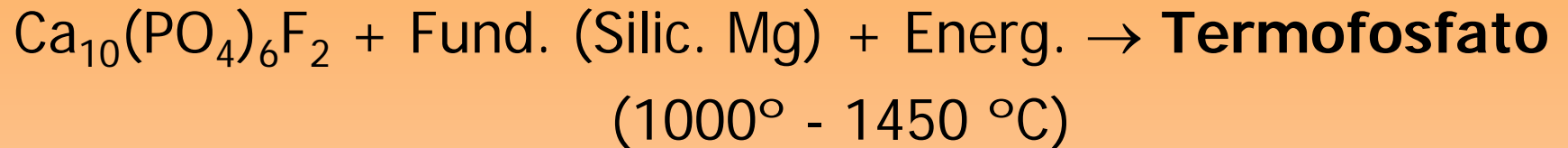


➡ Para que a reação seja favorecida:

- solo deve estar ácido (mas Al não pode ser limitante)
- ter baixos teores de Ca e P

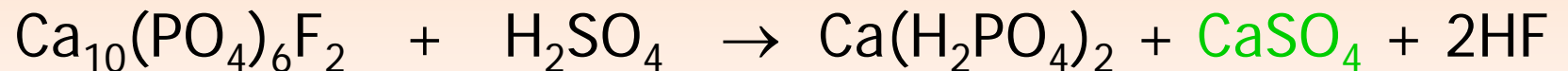
Insolúveis em água...

✓ Termofosfato

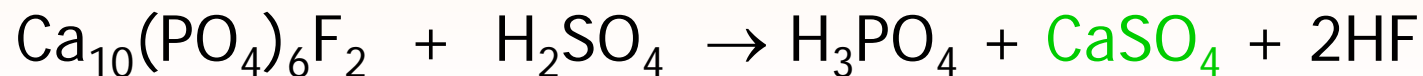


Solúveis em água...

✓ Superfosfato Simples (SFS)

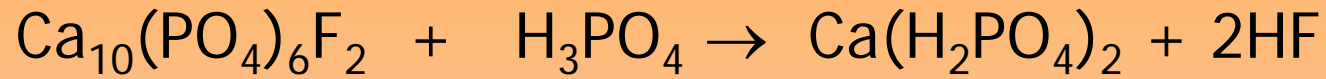


✓ Ácido fosfórico



Solúveis em água...

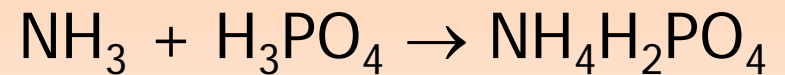
✓ **Superfosfato triplo (SFT)**



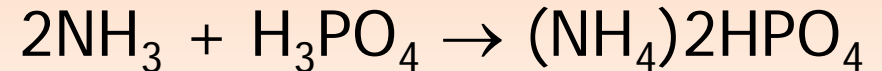
. Sem CaSO_4

✓ **Fosfato de amônia**

Mono-amônio fosfato/**MAP**



Di-amônio fosfato/**DAP**



✓ Cálculo do teor de P para uso do fertilizante

↳ Baseado na unidade de P_2O_5 solúvel

Para SFS, SFT, MAP, DAP e Fosf. parcialmente acidulados:

↳ usar teor de P por citrato neutro de amônio **CNA** + água

Para fosfatos naturais, termof., farinha de ossos, escórias:

↳ usar teor de P por ácido cítrico a 2% (relação 1:100)

↳ fosfatos naturais reativos aplicados em pó (até 2x)

Para misturas contendo P:

↳ depende da fonte de P usada

Custo do transporte? ([] de P nos adubos)

Fosfato natural

Funciona melhor em solos mais ácidos e argilosos

Não pode haver recomendação de calagem

Funciona melhor em solos pobres em cálcio e fósforo

Funciona melhor com a aplicação a lanço a incorporado

Aplicar na forma de pó ou farelado

Mais indicado em culturas de longo ciclo (perene e semi-perene)

Fosfato solúvel

Para solos corrigidos e com qualquer textura

Aplicar depois da calagem

Para solos com qualquer teor de cálcio e fósforo

Aplicar em linha em solos argilosos e a lanço em solos arenosos

Aplicar na forma granulada

Para qualquer cultura

Aula 3

✓ Preparo deste material

Professores:

- Gustavo Brunetto
- Leandro Souza da Silva
- Carlos Alberto Ceretta
- Danilo Rheinheimer dos Santos

Aluna de Pós-Graduação:

- Elisandra Pocojeski

✓ Última atualização: Maio de 2008.