

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO

MACRONUTRIENTE - P

DOCENTE: Ribamar Silva



Fósforo -----

I. Introdução

- . **Deficiência generalizada nos solos tropicais;**
- . **Requerimento pelas plantas; Menor que N e K;**
- . **Reações no solo → Precipitação e Adsorção.**





II. Formas e Dinâmicas do P no Sistema Solo-Planta

① Principais Formas no Solo

- . Fósforo no solo → Formas mineral e orgânica.
- . Compostos orgânicos fosfatados → 3 tipos:
 - fosfolipídios;
 - ácido nucleico e nucleoproteínas; e
 - fitinas ou fosfatos de inositol.
- . Quando na forma inorgânica → Fósforo pode encontrar-se na solução do solo, precipitado, adsorvido às partículas sólidas ou como minerais primários.





A - Minerais Primários:

- . Apatitas → $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})$.
- . Flúorapatita → $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
- . Hidroxiapatita → $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$
- . Cloroapatita → $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$

B - Minerais Secundários:

- . Vivianita → $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
- . Variscita → $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- . Estrengita → $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- . Fosfato monocalcico → $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
- . Fosfato bicalcico → CaHPO_4
- . Fosfato tricalcico → $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$



MACRONUTRIENTE

“Fósforo”



C - P na solução do solo:

- . H_3PO_4 , $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} (< 0,1 mg/L)

D - P adsorvido aos colóides minerais:

- . Principalmente → óxidos de Fe e Al e argilominerais 1:1.

E - P precipitado:

- . Por íons presentes na solução de solos ácidos (Al e Fe) e neutros e salinos (Ca).

F - P na matéria orgânica (P-orgânico):

- . Representa mais de 80 % do P total no solo.



② Dinâmica do P no Sistema Solo-Planta

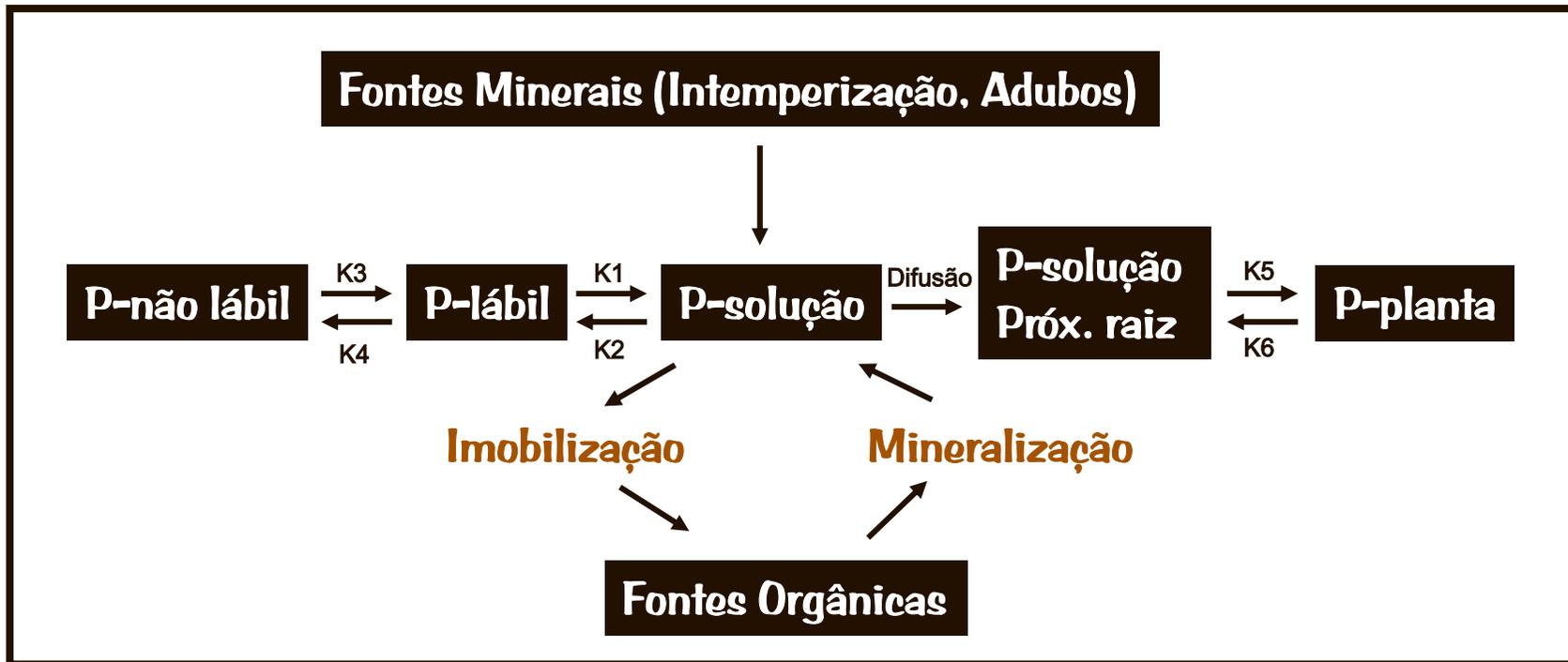


Figura 1. Principais formas e dinâmica do P no sistema solo-planta.

Fonte: Adaptada de GUNARY e SUTTON (1967).





A - Comportamento do P adicionado ao solo:

- . **Maior parte do P adicionado → fase sólida;**
- . **Baixa solubilidade dos compostos de fósforo;**
- . **Fortemente adsorvido pelos colóides do solo.**

B - Principais mecanismos de suprimento de P às raízes das plantas:

- . **Difusão (\cong 90 % do P do solo).**





III. Disponibilidade de P para as Plantas

1) Conceitos

Segundo ALVAREZ, V. 1994:

- **Disponibilidade do solo** → A quantidade de fósforo que pode ser absorvida pela cultura durante o ciclo vegetativo; influenciada pela atividade da enzima fosfatase, capacidade tampão (CT) que é a medida da resistência que tem o solo para deixar variar a quantidade de fósforo na solução; e, potencialmente, pela quantidade de fósforo disponível no solo.
- **Disponibilidade da planta** → Quantidade de fósforo que pode ser absorvida pela cultura durante o ciclo vegetativo; influenciada pela atividade da enzima fosfatase, capacidade tampão (CT) que é a medida da resistência que tem o solo para deixar variar a quantidade de fósforo na solução; e, potencialmente, pela quantidade de fósforo disponível no solo.





III. Disponibilidade de P para as Plantas

② Fatores I, Q e CT

- . **Fator intensidade de P** → [íons fosfato na solução do solo].
- . **Fator quantidade de P** → Fosfato adsorvido e, ou precipitado que está em equilíbrio com a solução do solo.
- . **Fator capacidade tampão de P** → Capacidade de reposição de P na solução a partir do fator quantidade (Q).





III. Disponibilidade de P para as Plantas

- . O fator intensidade isoladamente, não se constitui num bom índice para a avaliação da disponibilidade de P para as plantas:
 - Baixa concentração de P na solução do solo - (argilosos).
 - Para avaliar adequadamente a disponibilidade deste nutriente no solo → Empregar pelo menos dois dos três fatores aqui conceituados (ALVAREZ, V. 1994).





III. Disponibilidade de P para as Plantas

- Disponibilidade de P depende das formas em que o P ocorre no solo.
- O P-lábil representa o P adsorvido ou precipitado mas que se encontra em equilíbrio com o P-solução.
- Já o P não-lábil, é representado pelo P precipitado em compostos insolúveis, normalmente com, Fe, Al ou Ca, ou adsorvido por sítios de troca de elevada energia de ligação, não estando portanto, em equilíbrio como P-solução.



III. Disponibilidade de P para as Plantas

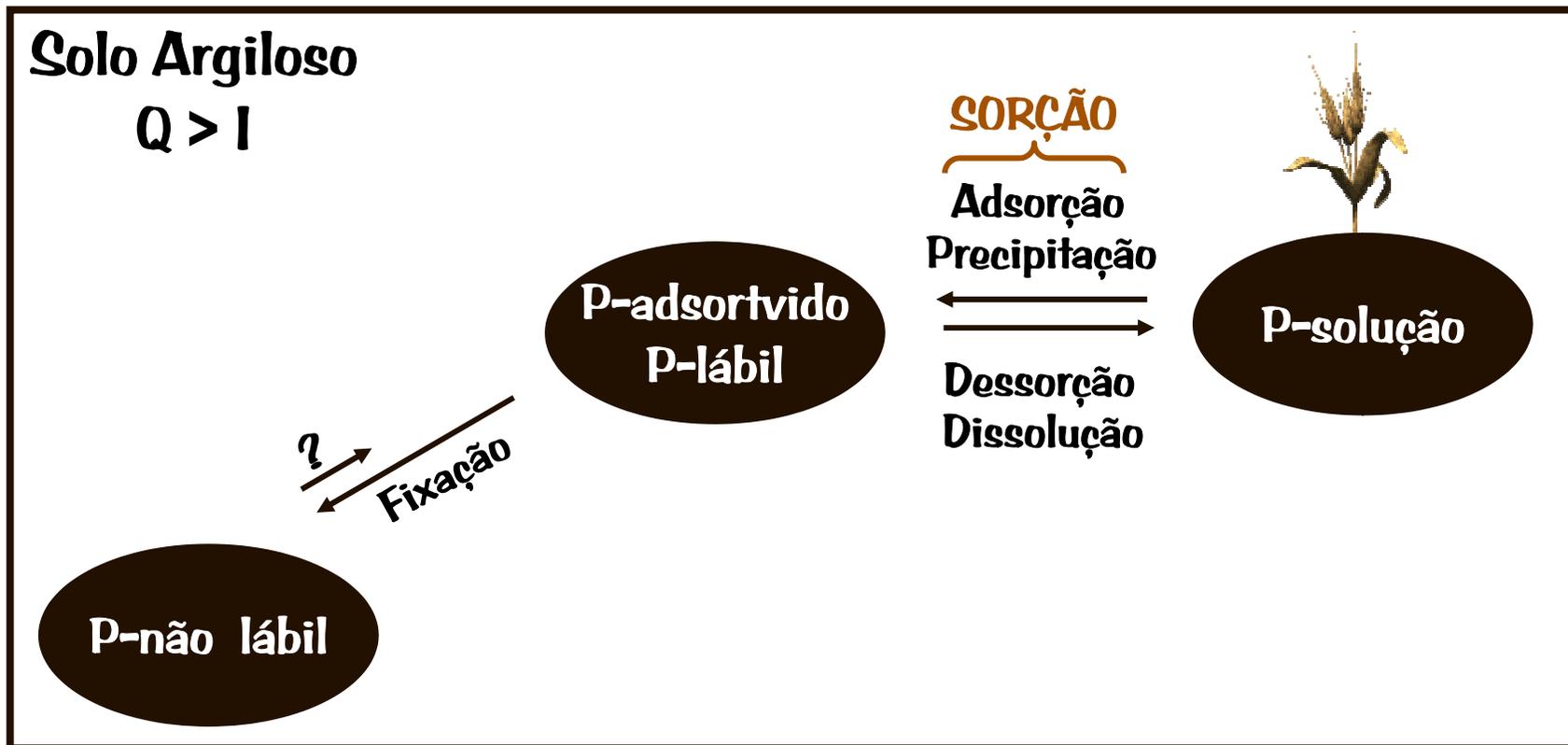


Figura 2. Representação esquemática dos diferentes processos por que passa o fósforo no solo e as diferentes conceituações recebidas.



III. Disponibilidade de P para as Plantas

. Algumas características de solo:

Capacidade de campo, teor de argila e de óxidos de Fe e Al, matéria orgânica, superfície específica do solo e P remanescente ([P] na solução de equilíbrio, após 1 hora de agitação com CaCl_2 0,01 mol/L contendo 60 mg/dm^3 de P, na relação solo: solução de 1:10) → Tentativas de utilizá-las como estimadores da Capacidade Tampão de Fósforo do solo (CTP) e da Capacidade Máxima de Adsorção de Fosfato (CMAF).





III. Disponibilidade de P para as Plantas

③ Fatores que afetam adsorção de P

A - Mineralogia dominante:

- . Óxidos de Fe e Al > Caulinita > Minerais 2:1. (Adsorção P);
- . Quanto > teor óxidos amorfos → > adsorção de P KAWAI (1980):
 - CMAP 547 mg/100g → Amorfos (Al, Fe, Si) = 4,8 %
 - CMAP 2.897 mg/100g → Amorfos (Al, Fe, Si) = 39,7 %
- . Correlações positivas → óxidos Fe e Al x Adsorção P.





B - Teor de Argila:

- Solos bem intemperizados e oxídicos → $Q_t^o >$ teor de argila → $>$ CMAP e $>$ CTP (mineralogia semelhante).

TEOR DE ARGILA X ADSORÇÃO DE P:

- Correlações positivas e altamente significativas
 - Mineralogia semelhante: caulinita/óxidos
 - Cargas dependentes de pH
 - Argila: Constituintes mineralógicos - retém P.





TEOR DE ARGILA X ADSORÇÃO DE P:

- . **Correlações não significativas (KER, 1995) → outros aspectos da fração argila como quantidade de alguns constituintes mineralógicos e, ou particularidades dos mesmos (superfície específica) exerceram > influência na sorção de P que sua quantidade → Mineralogia muito diferenciada.**
- . **Textura afeta os teores de P-solução e P-sólido**





C - Matéria Orgânica e Natureza dos Ânions:

Efeitos Múltiplos { . Positivo
 . Negativo

. Efeito Positivo → > M.O. → > Adsorção P



Razão principal → Caráter aniônico da Matéria Orgânica via ponte catiônica.



C - Matéria Orgânica e Natureza dos Ânions:

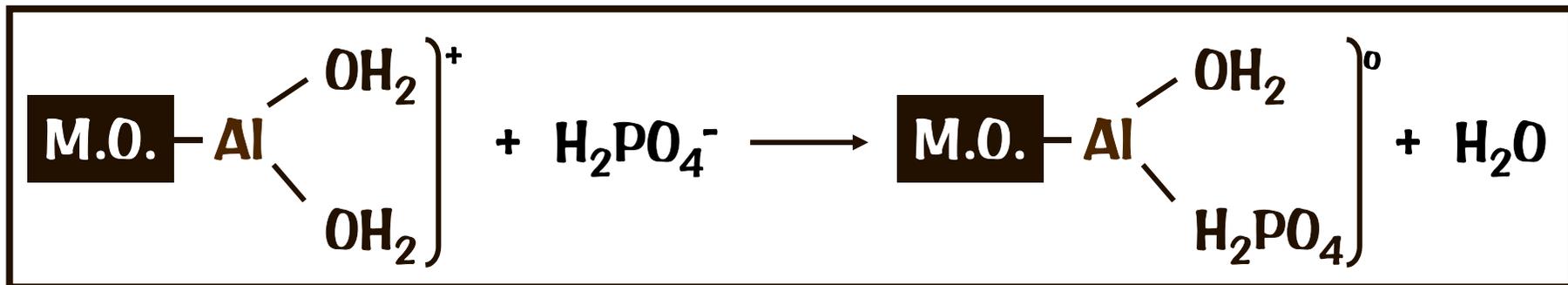


Figura 3. Ilustração do efeito positivo da matéria orgânica na adsorção de fosfato via ponte catiônica conforme proposto por SANYAL e DeDATTA (1991).

- Possível efeito da Matéria Orgânica sobre a cristalinidade dos óxidos → > Quantidade amorfos → > adsorção de fosfato (SCHWERTMANN, 1966).



C - Matéria Orgânica e Natureza dos Ânions:

. Efeito Negativo → > M.O. → < Adsorção P



Bloqueio dos sítios de adsorção dos óxidos-hidróxidos pelos ácidos orgânicos.

(SIBANDA e YOUNG, 1986; FONTES et al., 1992; IYAMUREMYE e DICK, 1996).





C - Matéria Orgânica e Natureza dos Ânions:

O BLOQUEIO DOS SÍTIOS DE ADSORÇÃO:

Explica → Adsorção horizontes superficiais < horizontes sub-superficiais em solos de mineralogia e textura semelhantes. (HUE, 1991; VIOLANTE e GIANFREDA, 1993).

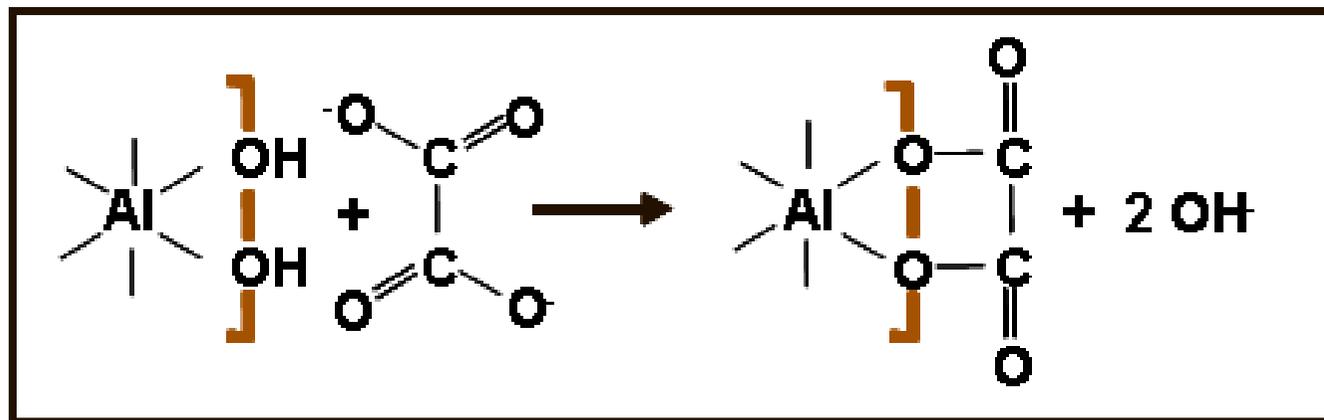


Figura 4. Ilustração do efeito do ânion oxalato no bloqueio dos sítios de adsorção do óxido de alumínio conforme proposto por IYAMUREMYE e DICK (1996).



MACRONUTRIENTE

“Fósforo”



OBS:

.. Estrutura e carga dos ácidos orgânicos controlam a grandeza da adsorção de P.

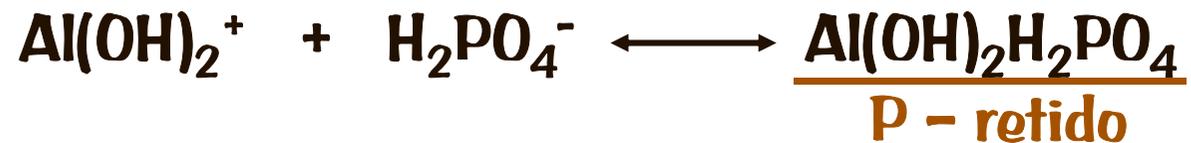
.. Moléculas → com > número de grupos OH- e COOH- são mais efetivas:

Ex: Citrato > Acetato.





④ Teor de Al-trocável no Solo





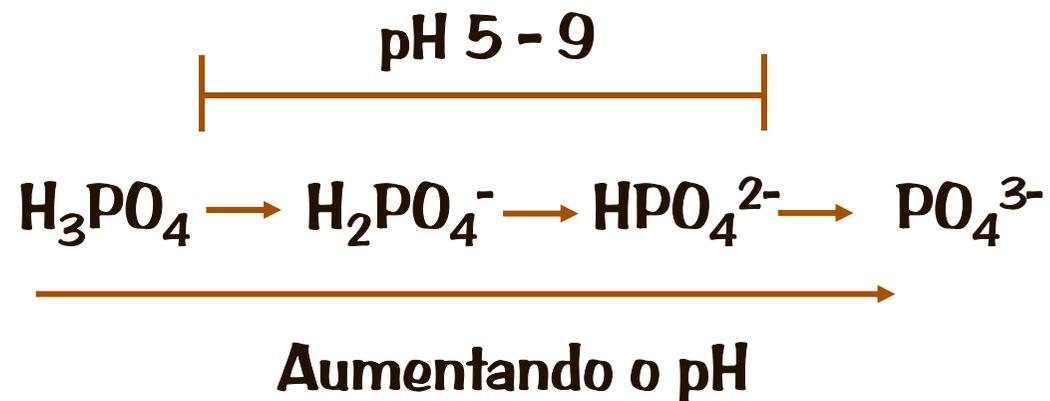
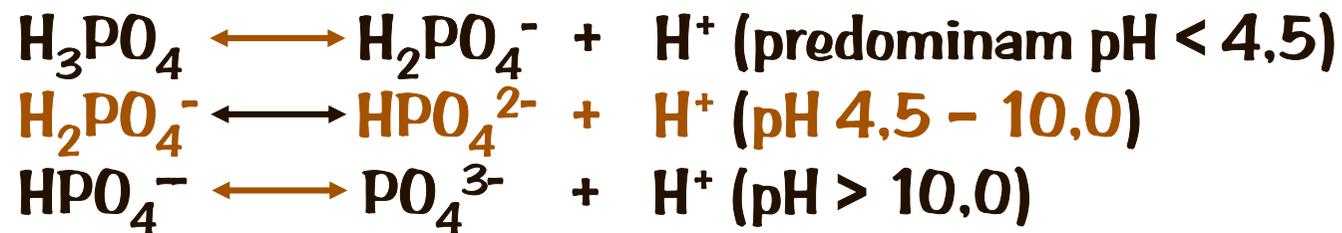
5 pH no Solo

- . Influencia nas proporções entre as diferentes espécies de fosfatos presentes na solução do solo:



MACRONUTRIENTE

“Fósforo”



MACRONUTRIENTE

“Fósforo”



CALAGEM X ADSORÇÃO DE P:

. Resultados Conflitantes em Solos Tropicais:

.. VASCONCELOS et al. (1974)

LR e LE → Adsorção P → Decresceu com ↑ pH.
Causa → ↑ cargas (-) → ↑ Repulsão aniônica.





CALAGEM X ADSORÇÃO DE P:

.. KER et al. (1996)

Calagem \uparrow pH \rightarrow Não influenciou na adsorção de P.

Explicação \rightarrow Calagem elimina Al^{3+} trocável \rightarrow evita a precipitação P-Al. Mas com a hidrólise do Al^{3+} solução $\rightarrow Al(OH)_2^+$ em valores estequiométricos semelhantes \rightarrow Substituição da precipitação pela adsorção \rightarrow P-Al, sendo a forma que melhor representa P-lábil \rightarrow Disponibilidade de P para as plantas praticamente não se altera.

. Influência do pH na Solubilidade dos Minerais de Fosfatados



MACRONUTRIENTE

“Fósforo”

CALAGEM X SOLUBILIDADE DOS MINERAIS

A- Apatitas:



↑ pH → ↓ [H⁺] → Deslocamento do Equilíbrio para esquerda [H₂PO₄⁻] ↓

CONCLUSÃO:

Maior solubilidade das Apatitas ocorre em solos ácidos e ricos em matéria orgânica. São muito insolúveis em pH 8,5.



MACRONUTRIENTE

“Fósforo”



B – Fosfato de Ferro e Alumínio:



$\uparrow \text{pH} \rightarrow \downarrow [\text{H}^+] \rightarrow \uparrow [\text{OH}^-] \rightarrow$ Deslocamento do equilíbrio para direita $\rightarrow \uparrow [\text{H}_2\text{PO}_4^-]$

CONCLUSÃO:

- . Maior solubilidade em solos neutros a alcalinos;
- . Estáveis em meio ácido.





⑥ Cátions Trocáveis

- \uparrow [Cátions] \rightarrow \uparrow efetividade das cargas positivas na dupla camada difusa \rightarrow com neutralização das cargas negativas.
 - \rightarrow \downarrow Repulsão dos íons fosfatos pelas superfícies negativas do solo \rightarrow \uparrow adsorção P (VOLKWEISS,1973).





7 Compactação do Solo

↑ Compactação → Estreitamento do filme de água →
↑ atração íons fosfato pelos colóides
(eletropositivos) → ↑ Atração pelos dos íons
fosfatos → ↑ adsorção P.





7 Compactação do Solo

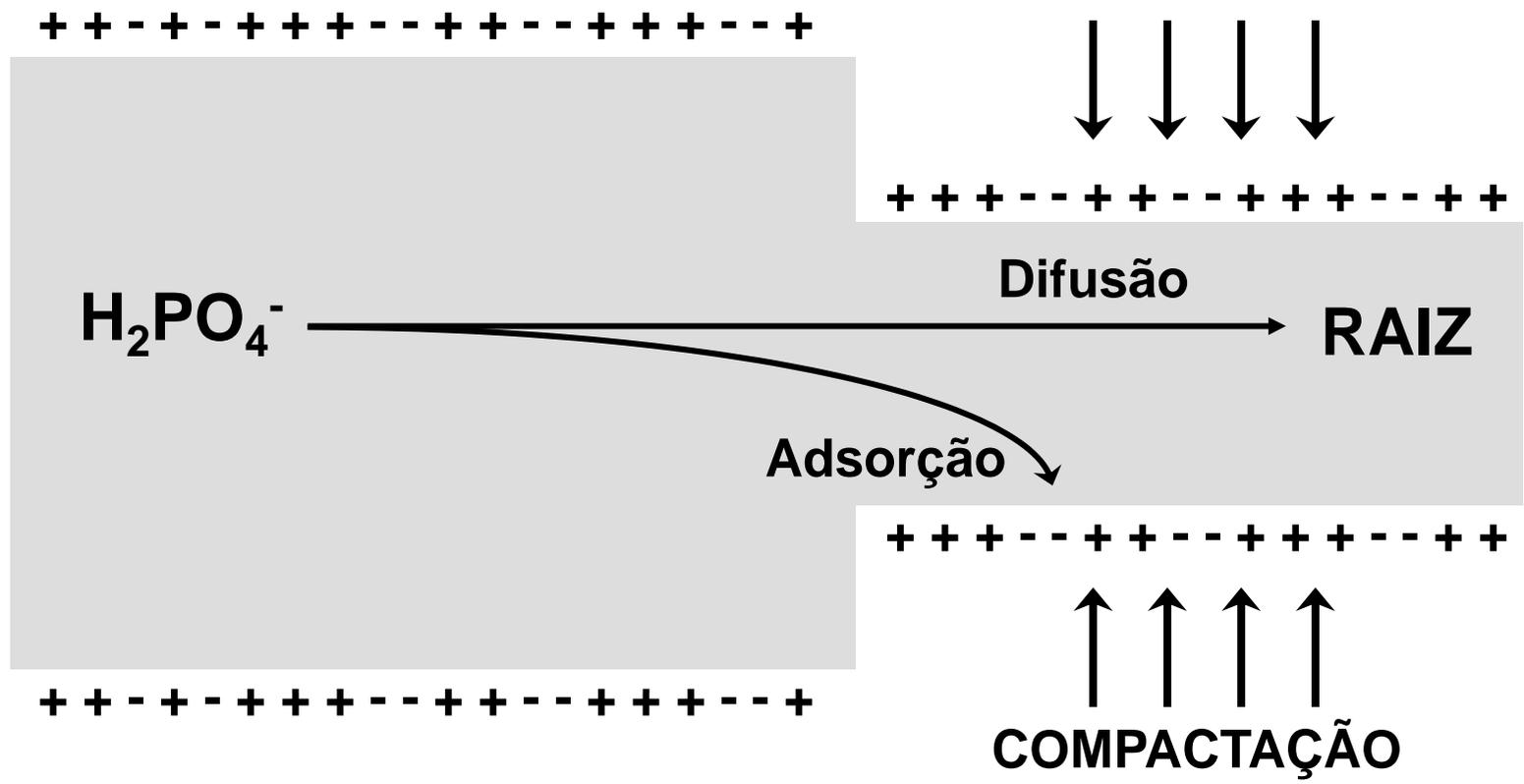
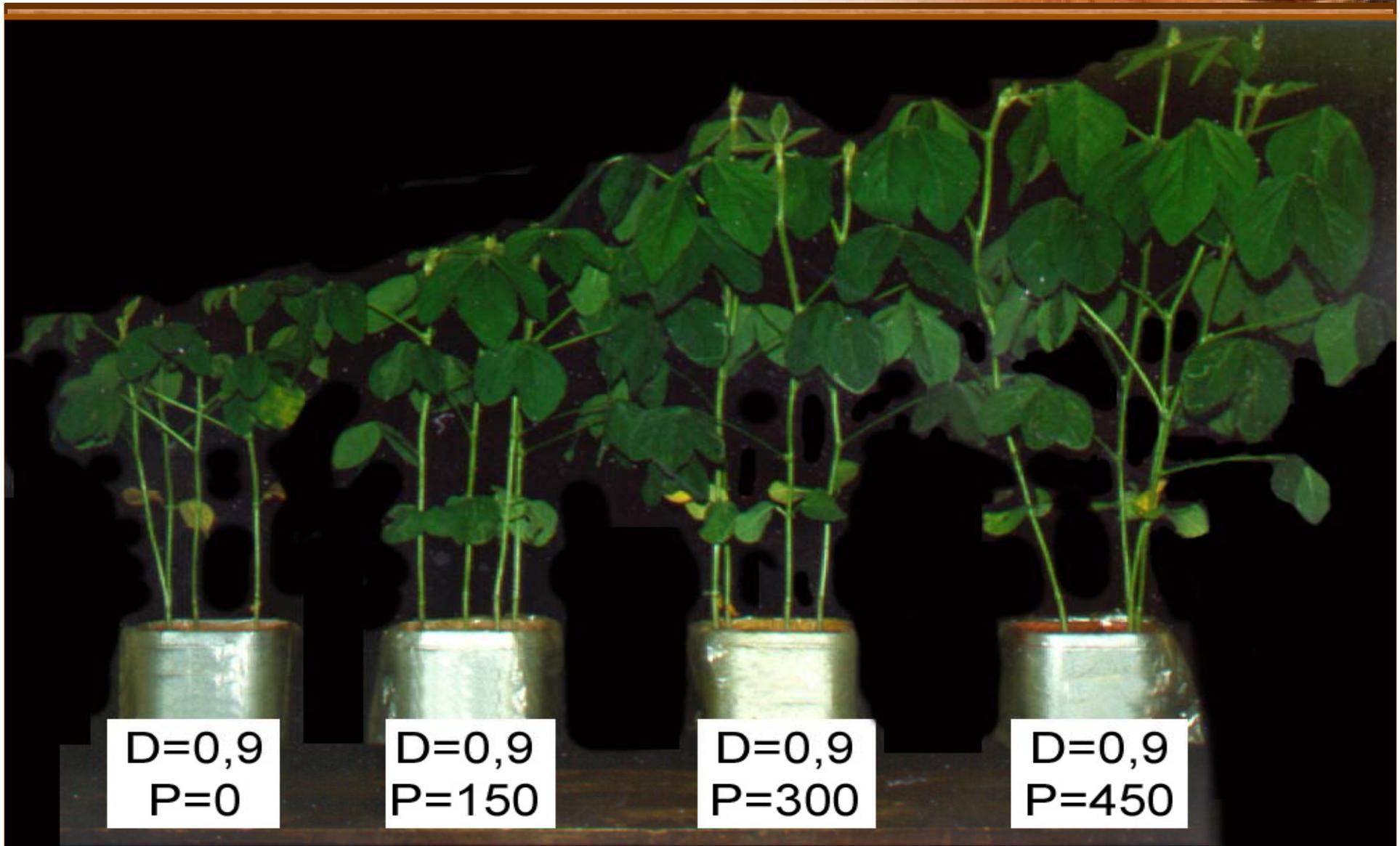


Figura 5. Representação esquemática do efeito da compactação em um solo oxidico.



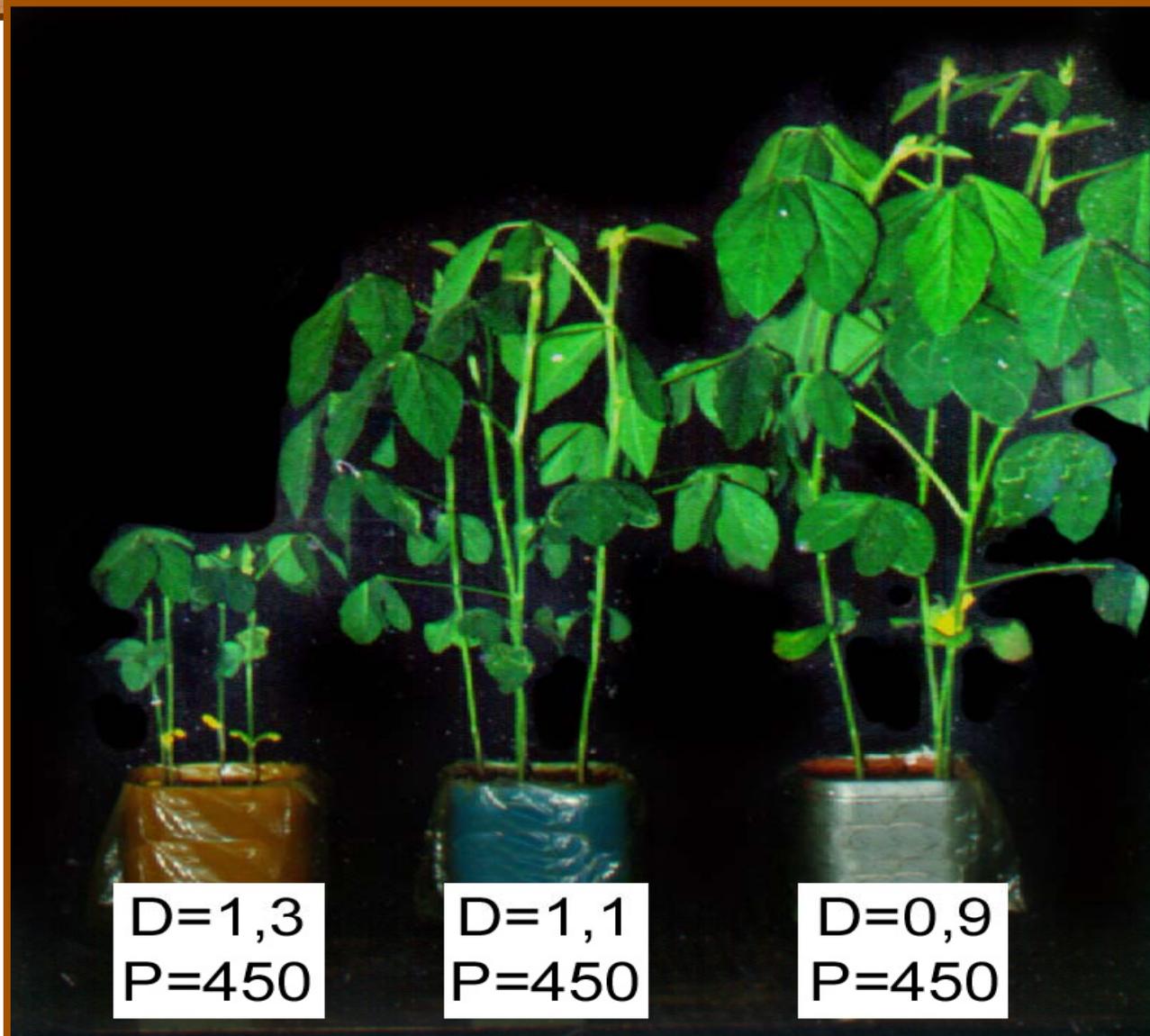
MACRONUTRIENTE

“Fósforo”



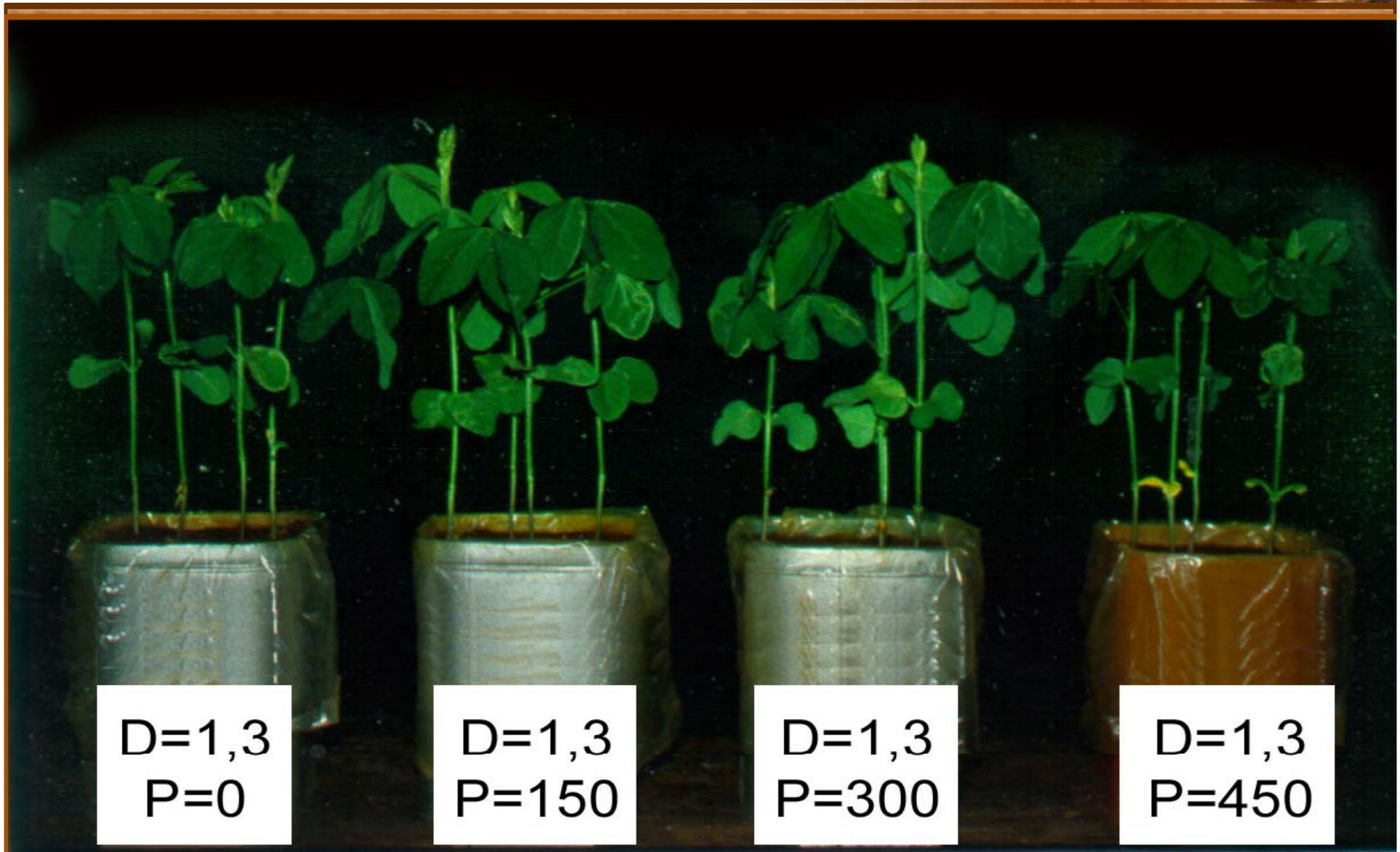
MACRONUTRIENTE

“Fósforo”



MACRONUTRIENTE

“Fósforo”



D=1,3
P=0

D=1,3
P=150

D=1,3
P=300

D=1,3
P=450

MACRONUTRIENTE

“Fósforo”

SETE LAGOAS P 100



MACRONUTRIENTE

“Fósforo”

SETE LAGOAS P 400



MACRONUTRIENTE

“Fósforo”

SETE LAGOAS P 800



MACRONUTRIENTE

“Fósforo”

CIMETAL P 75



MACRONUTRIENTE

“Fósforo”

CIMETAL P 600





7 Umidade do Solo

- . ↑ Estação Seca → ↓ Umidade do solo:
 - .. Estreitamento do filme de água → ↑ atração pelos colóides (eletropositivos) → ↑ Atração pelos dos íons fosfatos → ↑ adsorção P.





7 Umidade do Solo

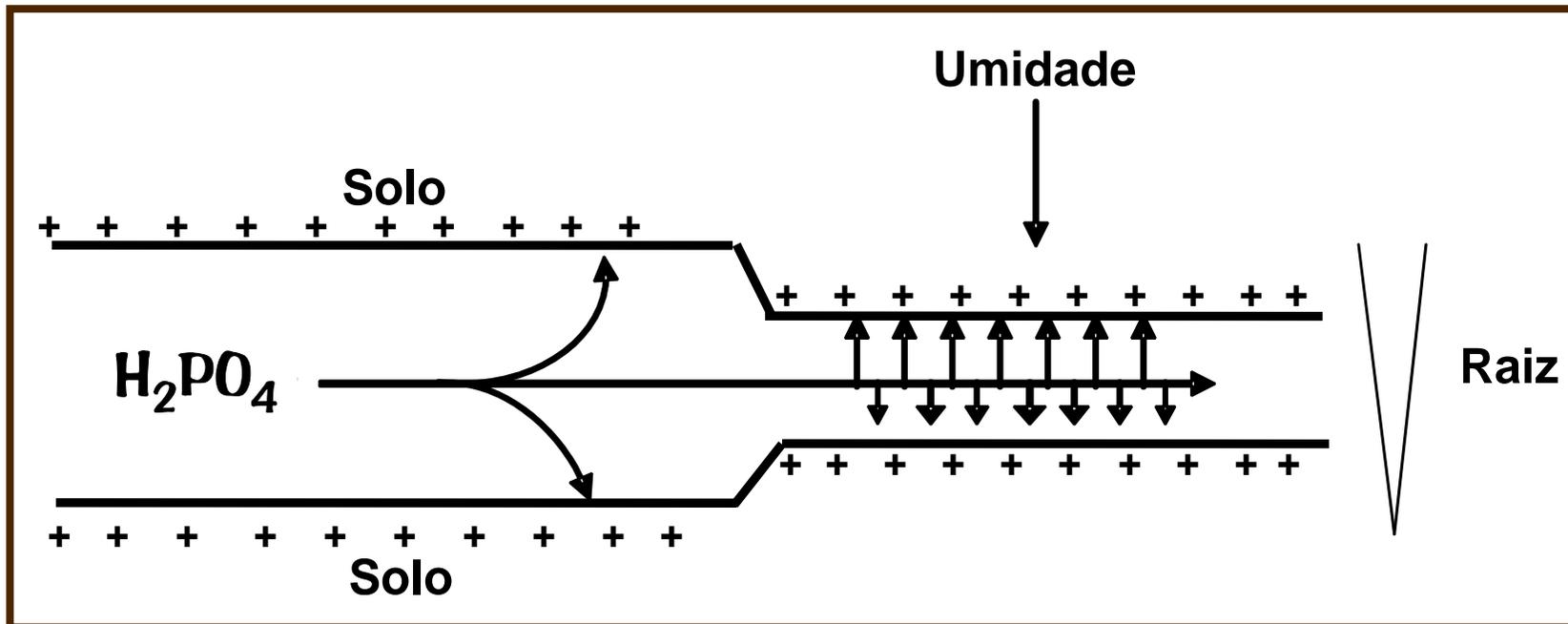


Figura 6. Representação esquemática do efeito da umidade do solo em um solo oxidico.





Fontes de P x Fluxo difusivo x Solos com diferentes teores de argila.

Fonte de fósforo	Solo		
	LE (68%)	LV (74%)	LVm (18%)
	----- -- $\mu\text{mol cm}^{-2}/25$ dias -----		
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,04778	0,10019	0,67087
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	0,10780	0,15108	0,80608
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	0,12742	0,38247	0,73017
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,16290	0,44910	0,75263
K_2HPO_4	0,12692	0,37239	0,74177
Testemunha	0,00040	0,00024	0,00016



Matéria seca de mudas de eucalipto como variável de solo e fonte de fósforo

Fonte	Dose de P	LVm	LE
	mg/dm ³	----- g/vaso -----	
Fosfato de Araxá	0	0,02	0,04
	100	7,23	0,38
	200	12,97	0,60
Superfosfato Triplo	0	0,02	0,04
	100	15,98	2,34
	200	15,65	5,23

Fonte: Novais et al. (1995).

LVm: pH = 5,6 e Argila = 17,6 %

LE: pH = 5,3 e Argila = 74,4 %





IV. Métodos de Avaliação da Disponibilidade de P no Solo

Mehlich-1: $\text{HCl } 0,050 \text{ mol } \cdot \text{L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol } \cdot \text{L}^{-1}$

Olsen: $\text{NaHCO}_3 \text{ } 0,5 \text{ mol } \cdot \text{L}^{-1}$ pH 8,5

Bray-1: $\text{NH}_4\text{F } 0,03 \text{ mol } \cdot \text{L}^{-1} + \text{HCl } 0,0125 \text{ mol } \cdot \text{L}^{-1}$.

CUIDADO:

Em solos contendo apatitas, os extratores ácidos dissolvem resíduos minerais que não estão assimiláveis pelas plantas →
Resultados Superestimados.





V. Principais Adubos Fosfatados

- . **Superfosfato Simples:** 19 - 21 % P_2O_5 + 20 % S
- . **Superfosfato Triplo:** 42 - 46 % P_2O_5
- . **Fosfato Monoamônio:** 50 - 54 % P_2O_5
- . **Fosfato Diamônio:** 42 - 46 % P_2O_5





VI. Considerações Finais

- . Solos do Acre → Cargas líquidas negativas ($\Delta\text{pH} < 0$).
- . Em geral são cauliniticos, ocorrendo solos com mineais 2:1 e argila de atividade média - alta → Adsorção não é tão elevada compara a da região do Cerrado.
- . Solos Ácidos, muitos deles alumínicos → Maior Adsorção P.
- . Solos com minerais 2:1 (R.Sul) → Fixação de K^+
- . Solos do Cerrado (Oxídicos) → Maior Adsorção P
(H_2PO_4^- ; HPO_4^{2-})



Obrigado Pela Atenção...

Ribamar Silva