



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
“ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”

Depto. de Ciência do Solo
LSO 5810 - Adubos e Adubação



“FERTILIZANTES FOSFATADOS: matérias-primas, tecnologia de obtenção, ação fertilizante e emprego”

Piracicaba-SP, 22/10/2020

Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti



Importância do Fósforo na vida

Essencial a todos organismos vivos

%M.S.		
Milho	Boi	Homem
0,20	0,74	3,11

- Armazenamento de energia
 - **Respiração:** ATP, ADP, AMP
 - **Fotossíntese:** ATP
- Indispensável ao crescimento, reprodução

- ✓ **Principal função: armazenamento e utilização da energia, captada através da fotossíntese (ATP);**
- ✓ **Crescimento das raízes, maturação dos frutos, formação de grãos, frutos e fibras e com o vigor das plantas;**
- ✓ **Altamente móvel, deficiência ocorre primeiramente nas folhas velhas;**

Quando o P é deficiente na planta:

O poder germinativo das sementes é reduzido e lento, folhas velhas com coloração verde-azulada, menor perfilhamento, gemas laterais dormentes, atraso no florescimento, folhas estreitas, colmos finos, maturação atrasada e grãos leves ou vazios, redução da produção e da qualidade do produto

Plantas de soja com deficiência de fósforo



Deficiência de P

Corn – P deficient – PBRs, 2006 leaf: P 0.12% (deficient), soil: P-I 5 (very low)



a) O fósforo é um macronutriente primário ou nobre



b) Menos extraído e o mais aplicado nas lavouras

- Baixo teor no solo

- Dinâmica no solo

c) Função: Energia (ATP)

Estrutural (RNA e DNA)

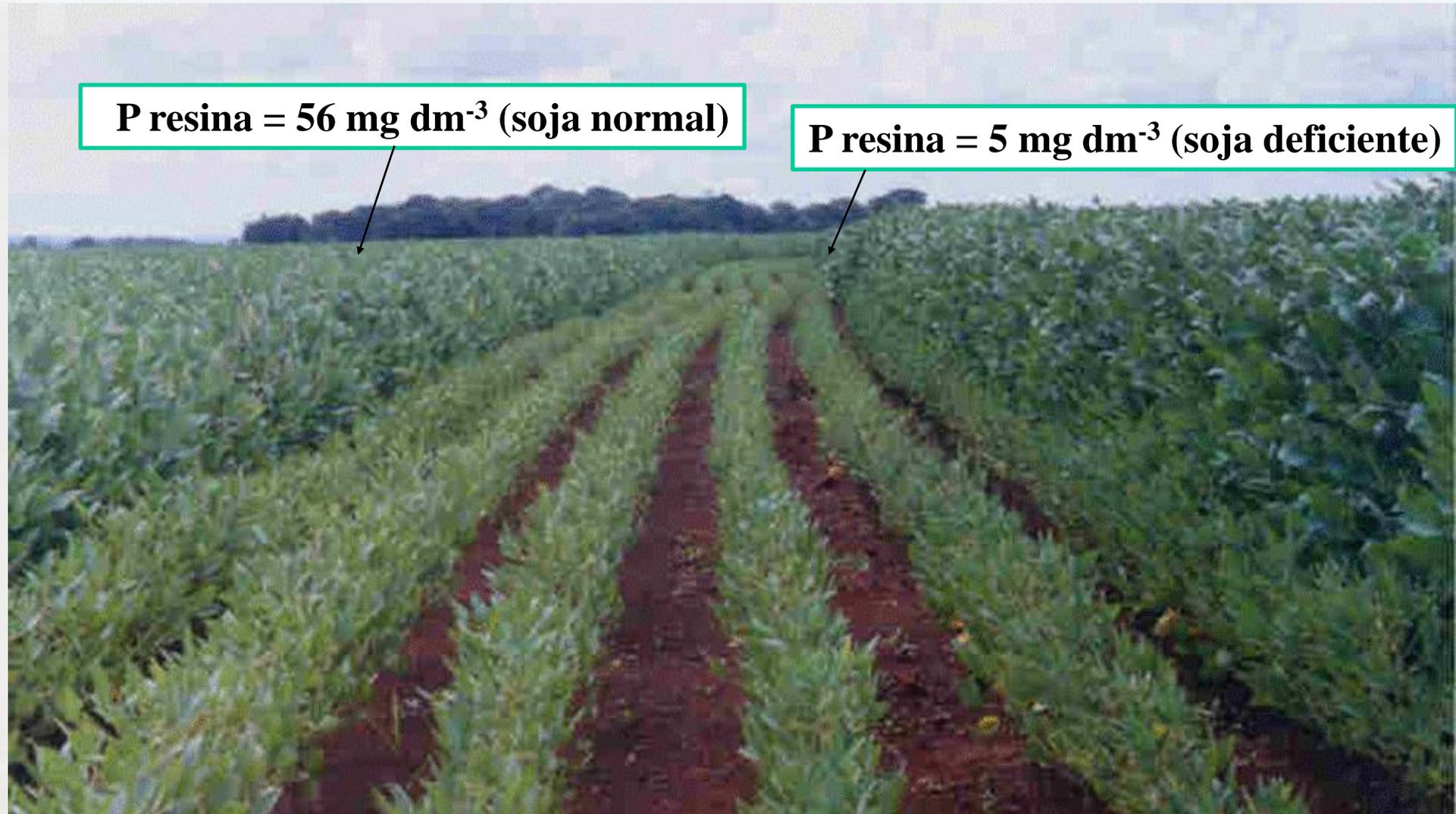
d) Nutriente que mais limita a produção



Soja x adubação fosfatada

P resina = 56 mg dm⁻³ (soja normal)

P resina = 5 mg dm⁻³ (soja deficiente)



Local: Nortelândia – MT (76% de argila) Soja- 1º cultivo

- ✓ Elemento é encontrado em grandes quantidades no solo - 100 a 2000ppm;
- ✓ Em compensação, a quantidade disponível às plantas é extremamente baixa;

Solo Cerrado Comum → 1ppm de P disponível = 7 kg ha⁻¹ de P₂O₅

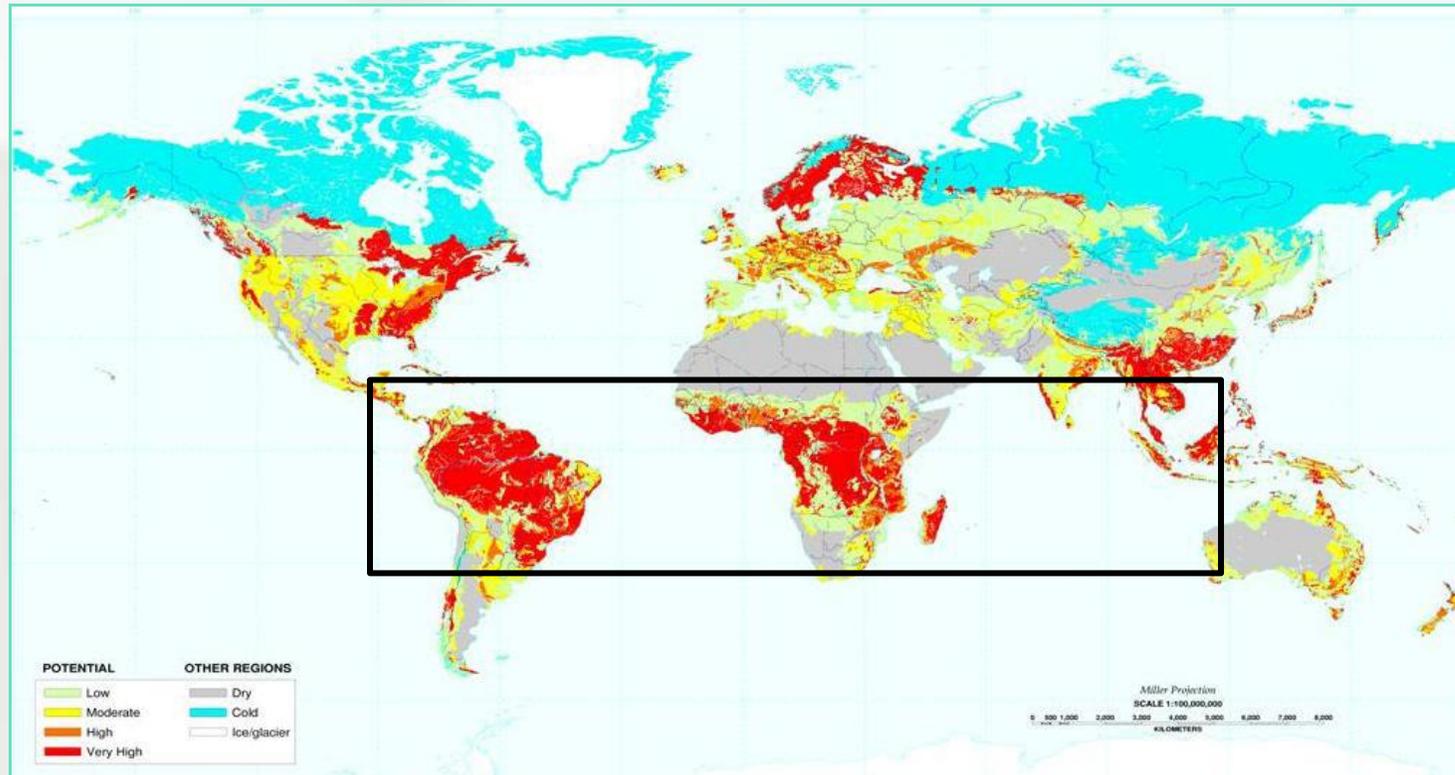
- ✓ Macronutriente menos exigido pelas plantas (20 a 30 kg ha⁻¹ P₂O₅), mas aplicado em maior quantidade nas adubações (60 a 120 kg ha⁻¹ P₂O₅);

FIXAÇÃO

Desafio agrônômico

- A produção agrícola para atender a crescente demanda da população por alimentos resultou no uso de terras improdutivas marginais (normalmente, mesmo com alta capacidade de fixação de P)

Potencial de fixação de P



Fonte: Gaume, 2000; Sanchez et al 2003 (FAO)

Fatores que afetam a disponibilidade do P

$$\textit{DISPONIBILIDADE} = \textit{FATOR I} + \textit{FATOR C}$$

(1) Solo

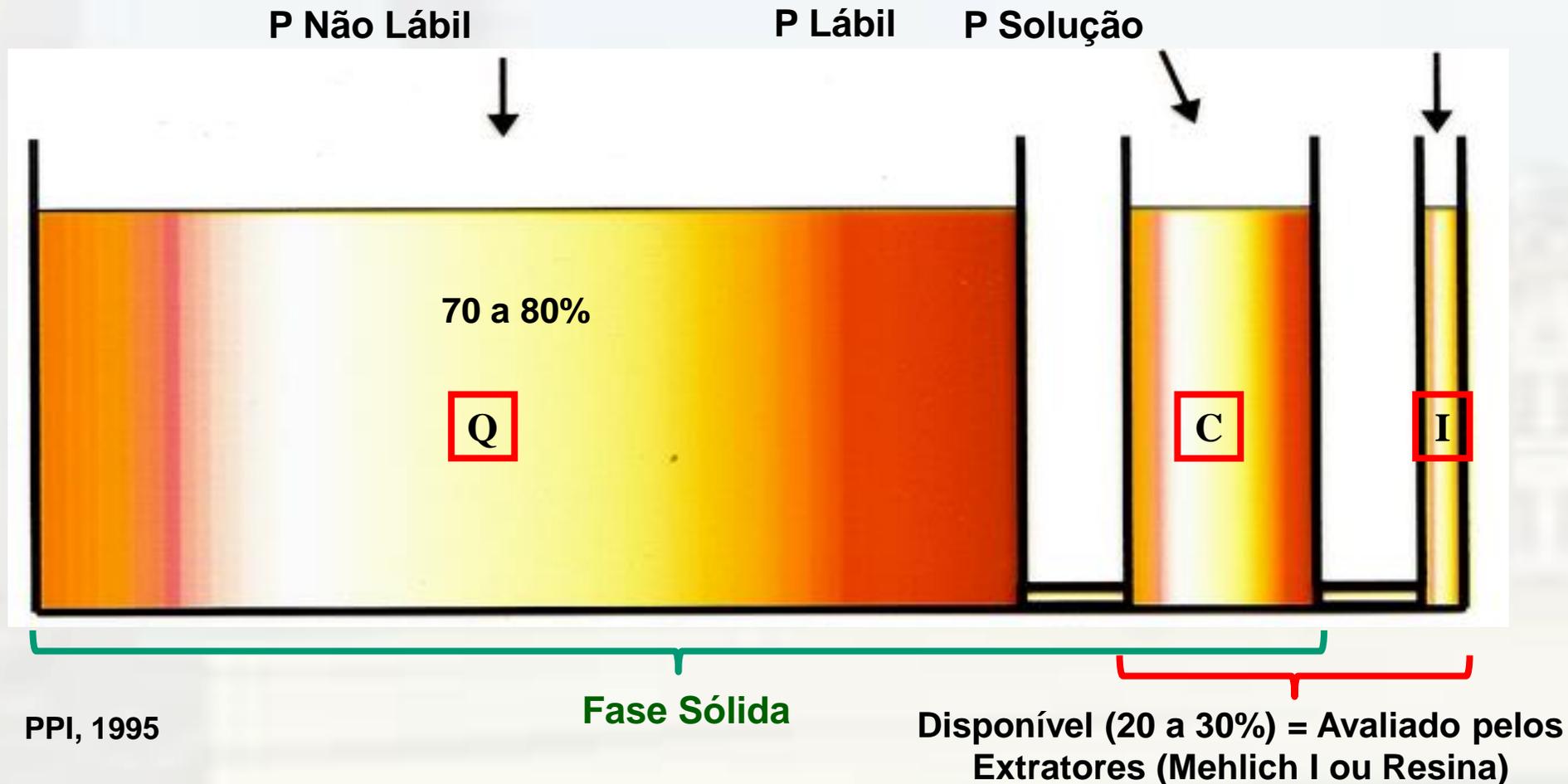
(2) Clima

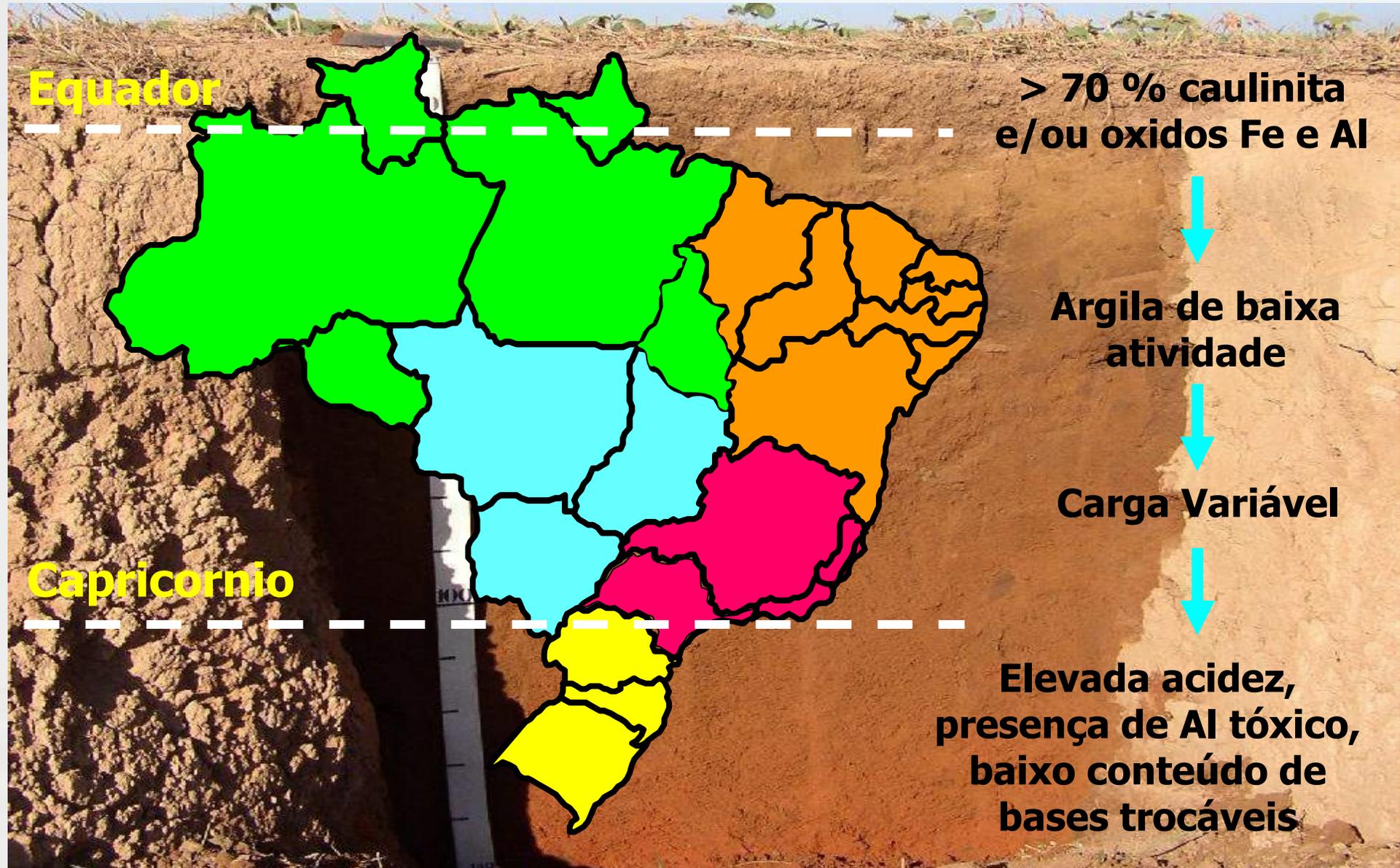
(3) Planta

(4) Fertilizantes fosfatados

Fósforo Disponível nos Solos

Grande parte do fósforo do solo não está disponível para ser absorvido. Por isso é muito importante o manejo das fontes a serem utilizadas na adubação.





SOLOS TROPICAIS

DESSILICATIZAÇÃO

BAIXO K_i

$$K_i = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$$

BAIXO K_r

$$K_r = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$K_i \approx 2,0$: Minerais de argila 1:1

$K_i < 1,8$: Argila 1:1 + Al-amorfo + Gipsita

Composição química dos solos minerais (%)

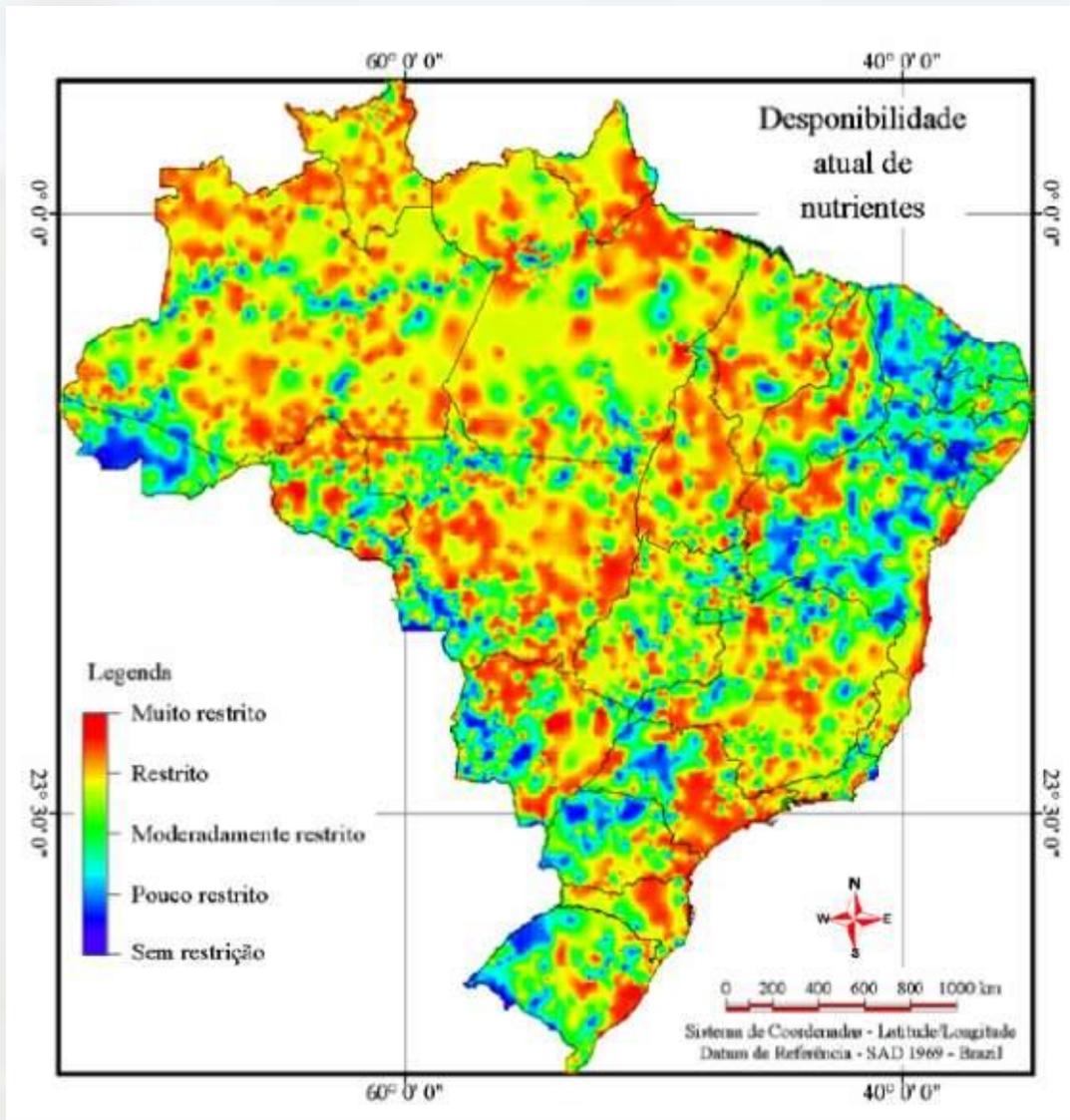
Óxidos	Clima Temperado ⁽²⁾	Clima Tropical ⁽²⁾	Argissolo ⁽³⁾	Latossolo ⁽³⁾
SiO ₂	60 - 95	3 - 30	48,3	14,0
Al ₂ O ₃	2 - 20	10 - 40	28,8	32,7
Fe ₂ O ₃	0,5 - 10	10 - 70	7,2	31,6
MnO ₂	0,005 - 0,5	0,1 - 1,5	0,06	0,2
TiO ₂	0,3 - 2	0,5 - 15	0,9	6,0
CaO	0,3 - 2	0,05 - 0,5	0,2	0,5
MgO	0,05 - 1	0,1 - 3	0,4	0,3
K ₂ O	0,1 - 4	0,01 - 1	0,9	0,05
Na ₂ O	0,1 - 2	0,01 - 0,5	0,06	0,05
P ₂ O ₅	0,03 - 0,3	0,01 - 1,5	0,14	1,40

Obs: Os teores de elementos expressos em forma de óxidos.

(2) Fried & Broehart (1967)

(3) Verdade (1972)

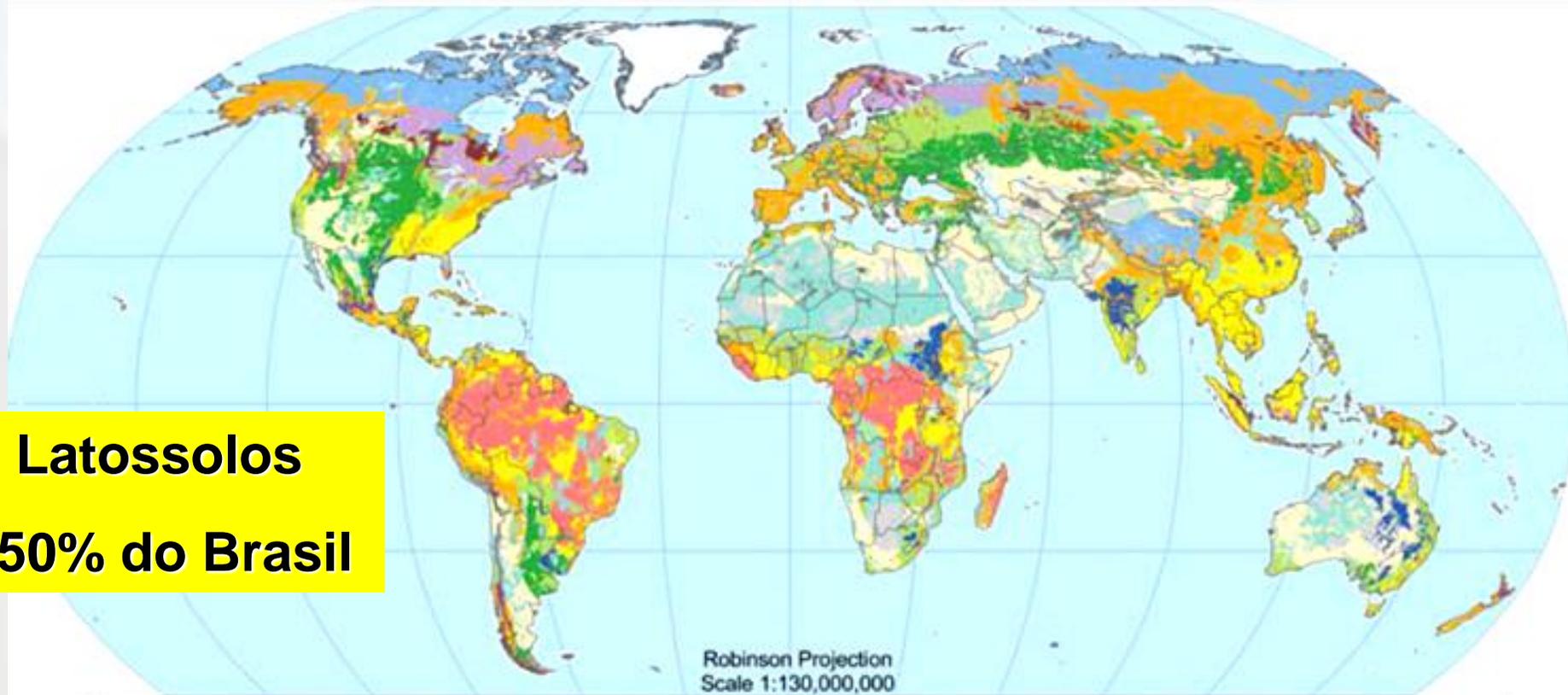
Classes de restrição dos solos brasileiros em relação à fertilidade do solo



Sparovek et al., 2003

- Acidez (superfície e subsuperfície)
- Baixa Fertilidade
- Elevada **Fixação de Fósforo (P)**
- **Perdas** de potássio e **Enxofre**
- Pobre em micronutrientes

Distribuição dos Solos pelo mundo



**Latosolos
+50% do Brasil**

Soil Orders				
 Alfisols	 Entisols	 Inceptisols	 Spodosols	 Rocky Land
 Andisols	 Gelisols	 Mollisols	 Ultisols	 Shifting Sand
 Aridisols	 Histosols	 Oxisols	 Vertisols	 Ice/Glacier

Oxissolos (latossolos)

Ultissolos (Argissolo* distrófico V% < 30% Hor. B)

Alfissolos (Argissolo* V% > 50% Hor. B + Nitossolo)**

Entissolos (Neossolo* + Litossolo)**

Inceptissolos (Cambissolos)

***Argissolo = Podzólicos**

****Nitossolo = Terra Roxa Estruturada**

***** Neossolo = Areia Quartzosa**

Mesotrófico → V% → 30 a 50

Principais ordens de solos do Brasil

Área e percentual de ocorrência das Ordens de solos, corpos d'água e tipos de terreno, em ordem decrescente, no território brasileiro.

Ordens de solo	Área	
	km ²	%
Latossolos	2.691.563	31,61
Argissolos	2.281.135	26,79
Neossolos	1.130.776	13,28
Plintossolos	580.715	6,82
Cambissolos	462.358	5,43
Gleissolos	391.684	4,60
Luvissolos	239.268	2,81
Planossolos	235.011	2,76
Espodossolos	168.595	1,98
Nitossolos	102.179	1,20
Chernossolos	39.168	0,46
Vertissolos	17.881	0,21
Organossolos	2.544	0,03
Águas	156.674	1,84
Afloramento de Rocha (AR)	11.069	0,13
Dunas	4.257	0,05
TOTAIS	8.514.877	100,00

+ 70%

Resumo das características químicas mais indesejáveis observadas em 518 amostras subsuperficiais de solos no Cerrado brasileiro

Característica química	Nível Crítico ^(A)	% abaixo do Nível Crítico	Mediana	Teores mais comuns	
				Teor	% do total
pH em água	5,0	48	5,0	4,8	48
Ca trocável (cmol _c /dm ³)	1,5	96	0,25	< 0,4	76
Mg trocável (cmol _c /dm ³)	0,5	90	0,09	< 0,2	74
Al trocável (cmol _c /dm ³)	0,25	91 ^(B)	0,56	0,25	64
P Mehlich (mg/dm ³)	10,0	99	0,4	0,2	79
Zn Mehlich (mg/dm ³)	1,0	95	0,6	0,5	69

(A) De acordo com os laboratórios de análise de solos para Minas Gerais.

(B) % acima do nível crítico

Extensão geográfica e as principais limitações para as regiões agrícolas na América Tropical.

Limitações	Milhões de ha	% da Área Total
Físicas		
Falta de chuva (> 3 meses)	299	29
Químicas		
Deficiência de fósforo	1002	96
Baixa CTC efetiva	577	55
Deficiência de zinco	645	62
Alta fixação de fósforo	672	74

Solo	V	SB	m	Al ³⁺	RC
Eutrófico	≥ 50	≥ 1,5			
Mesotrófico	30 - 50	≥ 1,2			
Distrófico	< 30		< 50		> 1,5
Ácrico					≤ 1,5
Mesoálico			15 - 50	≥ 0,4	
Álico			> 50	0,3 - 4,0	
Alumínico			≥ 50	> 4,0	

¹V = saturação por bases (%);

SB = soma de bases (cmol_c kg⁻¹ de solo);

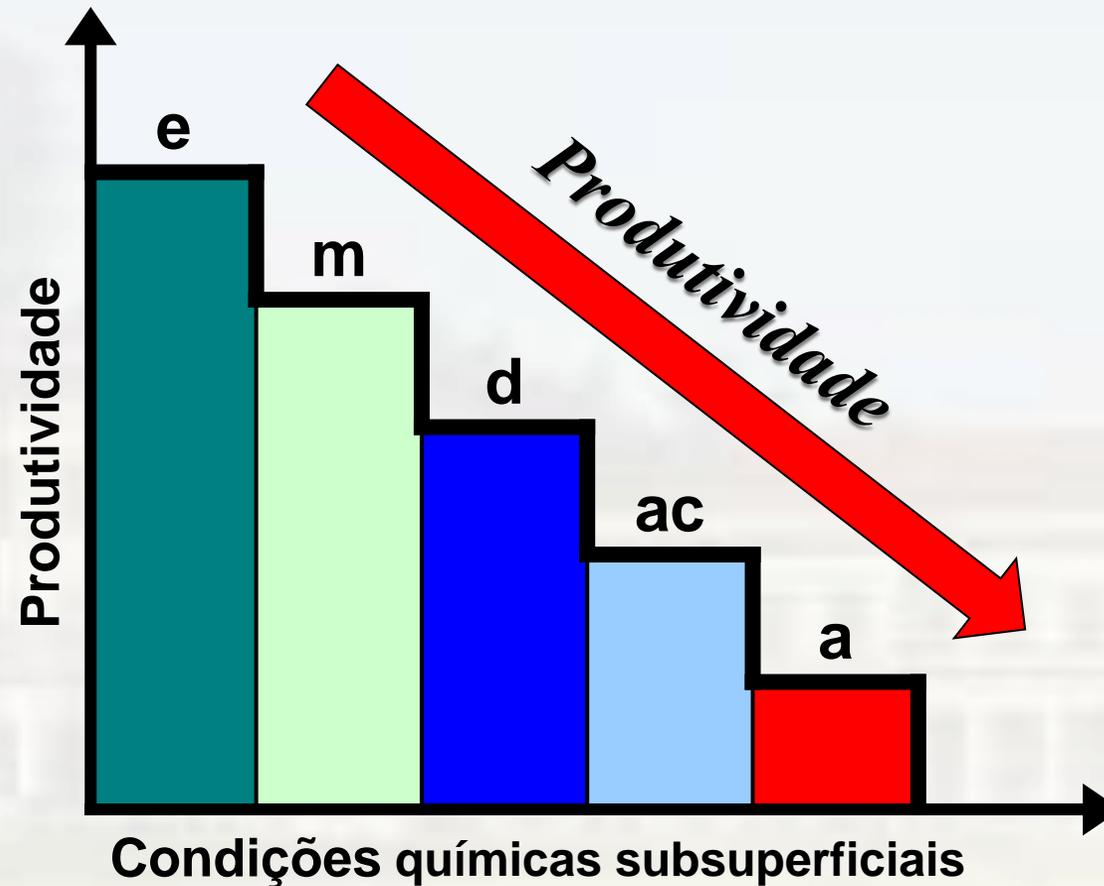
m = saturação por alumínio (%);

RC = retenção de cátions (cmol_c kg⁻¹ de argila).

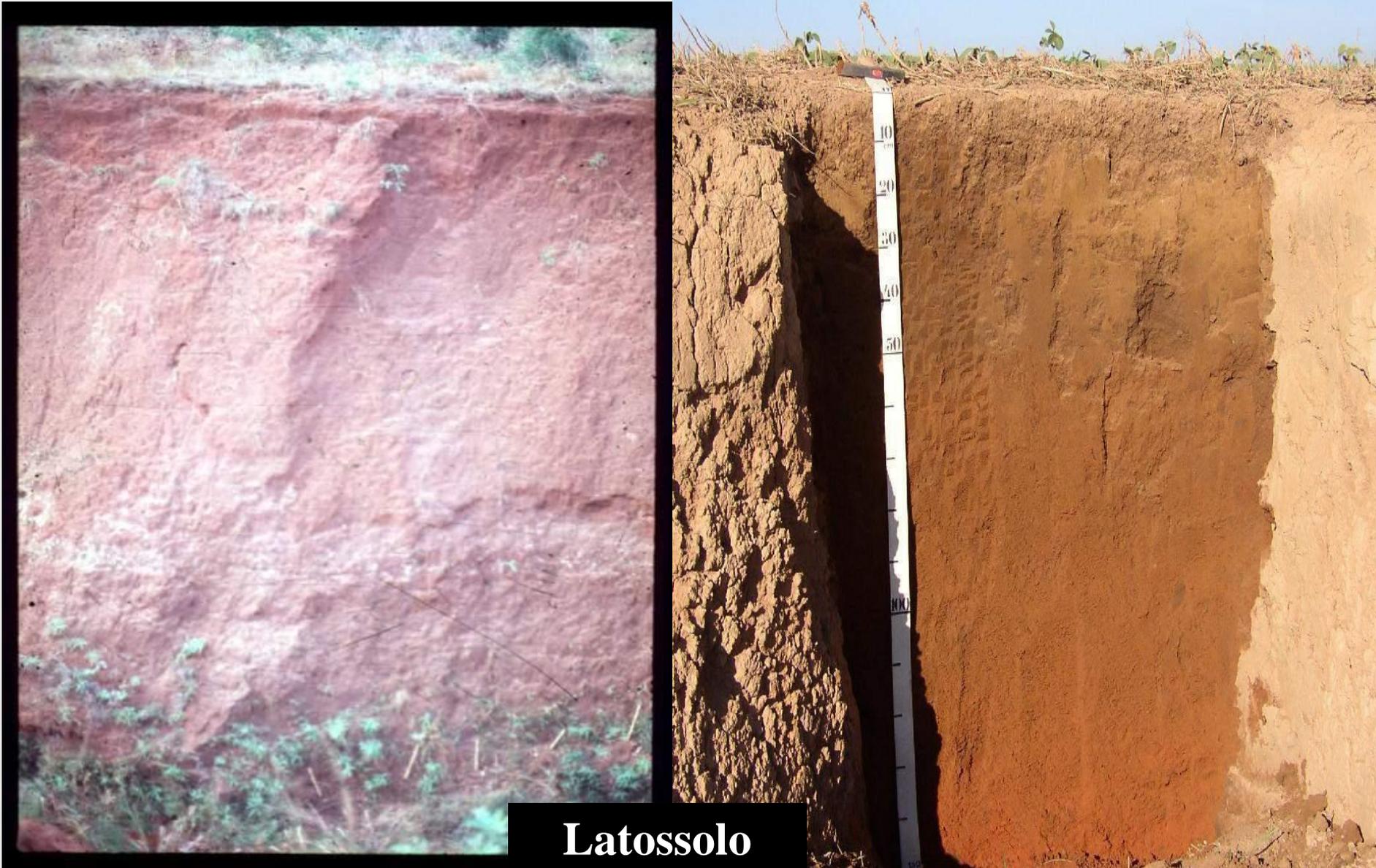
RC = (SB+Al)x100 / Argila (g/kg)

Influência das condições químicas pedológicas subsuperficiais na produtividade

Legenda	
e	= eutrófico
m	= mesotrófico
d	= distrófico
ac	= ácrico
a	= álico

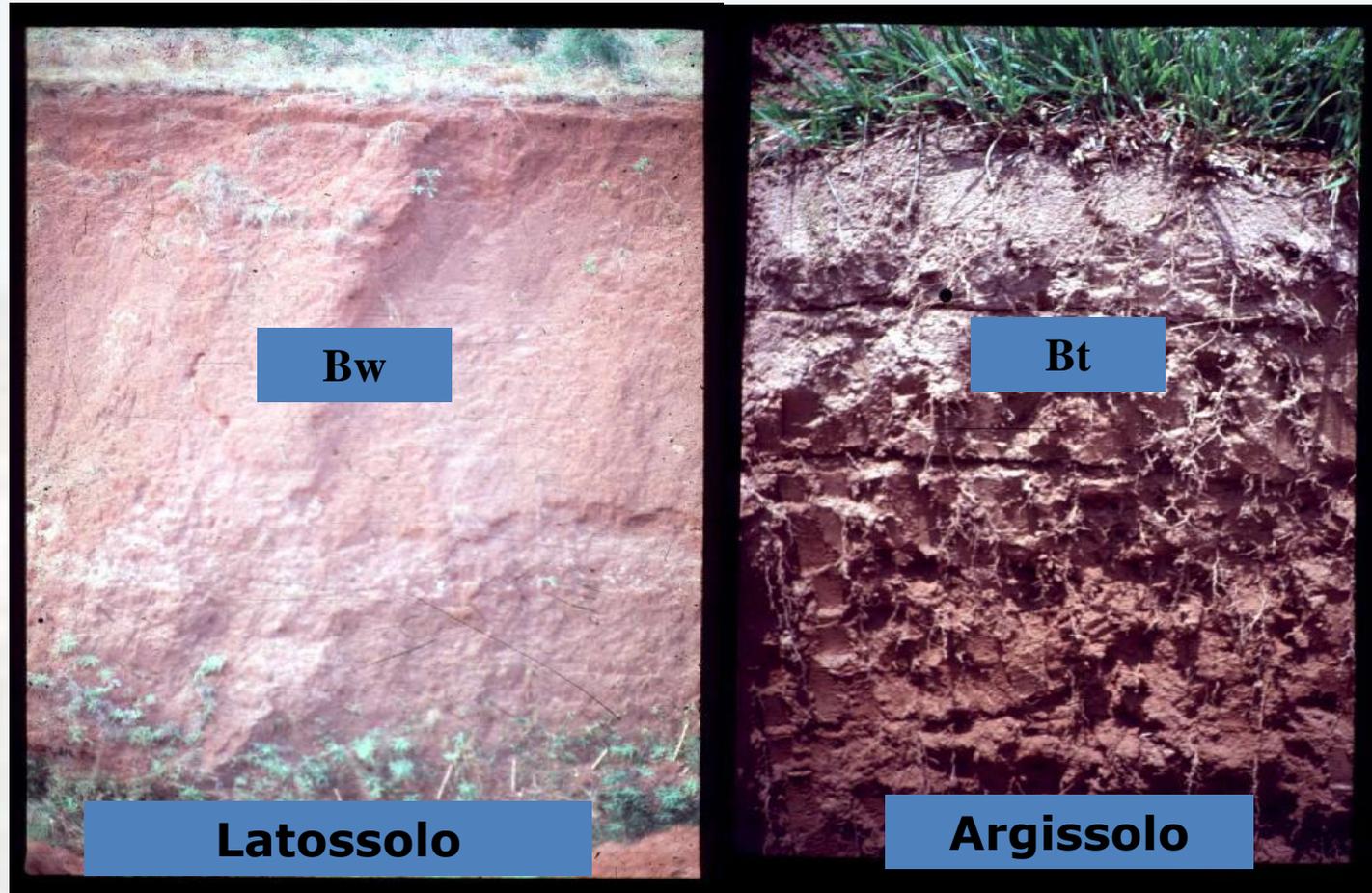


SOLOS TROPICAIS

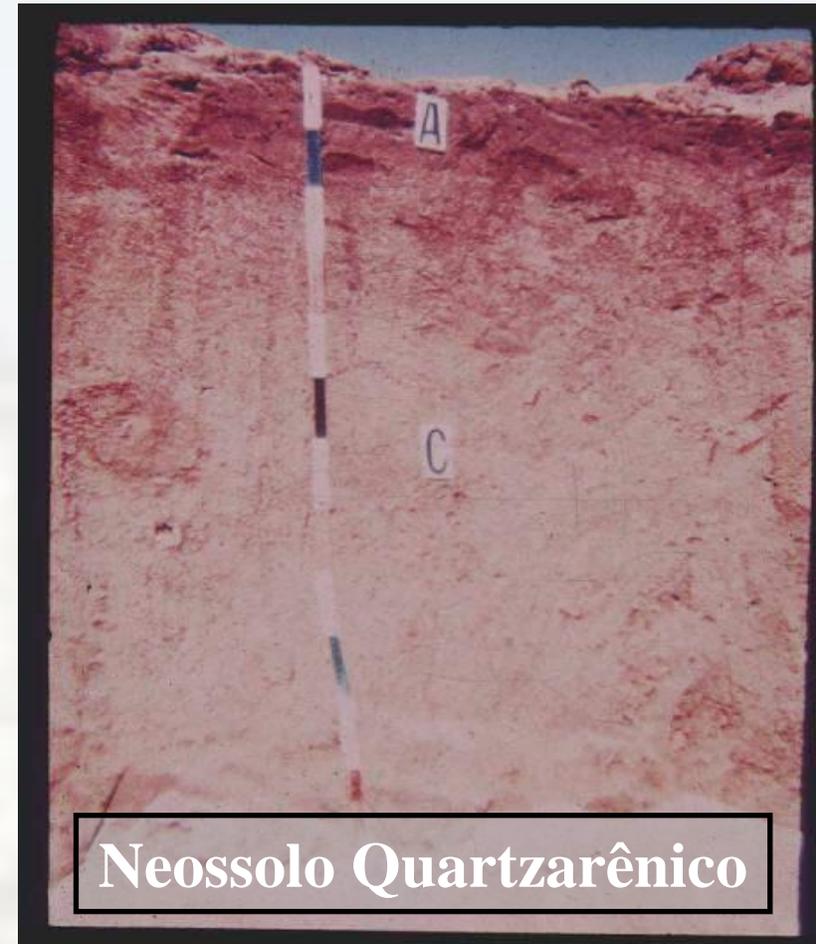
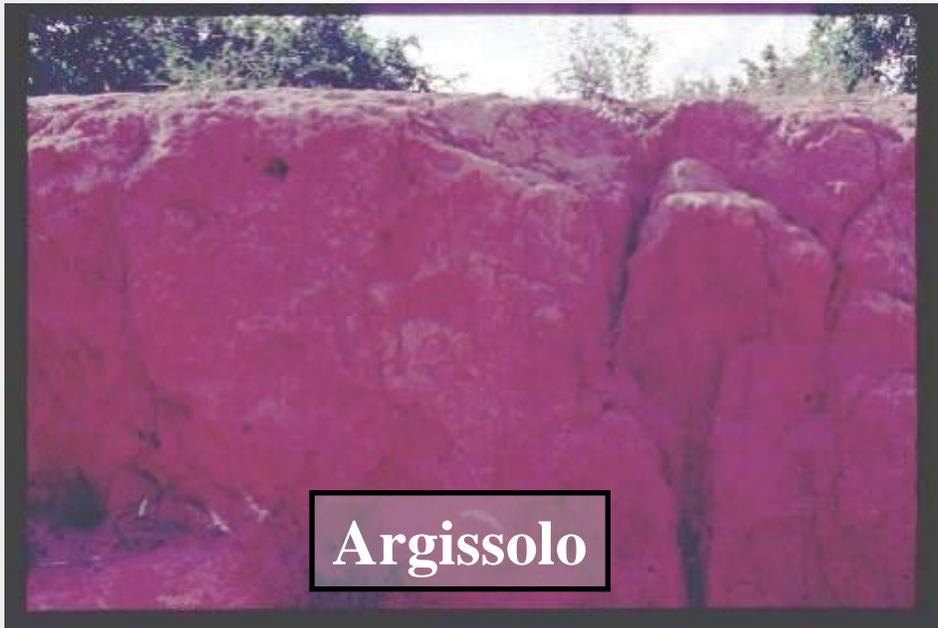


Latossolo

Solos Tropicais



SOLOS TROPICAIS



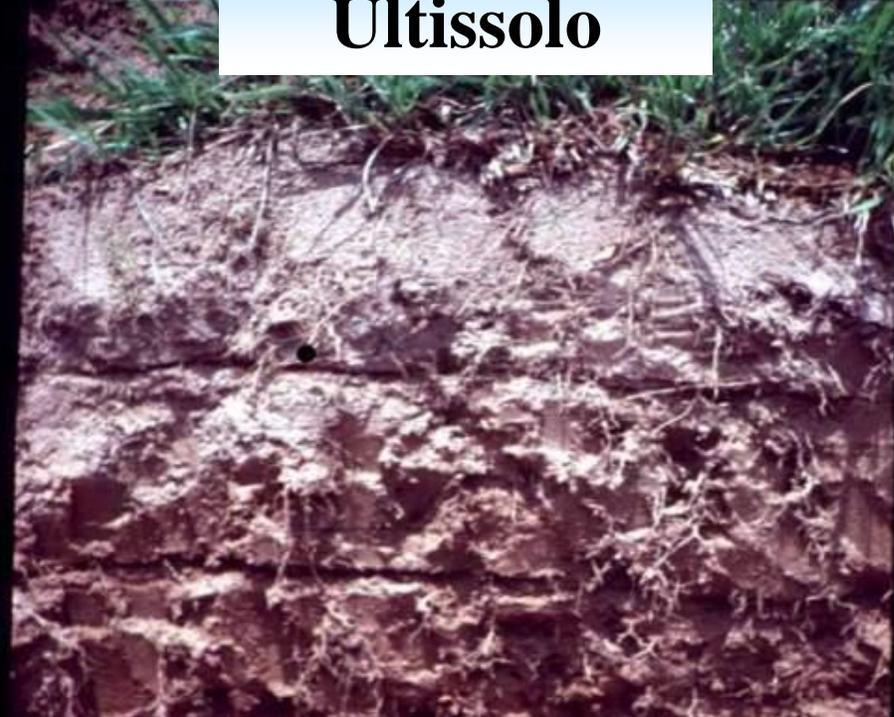
Argissolos

Alfissolo



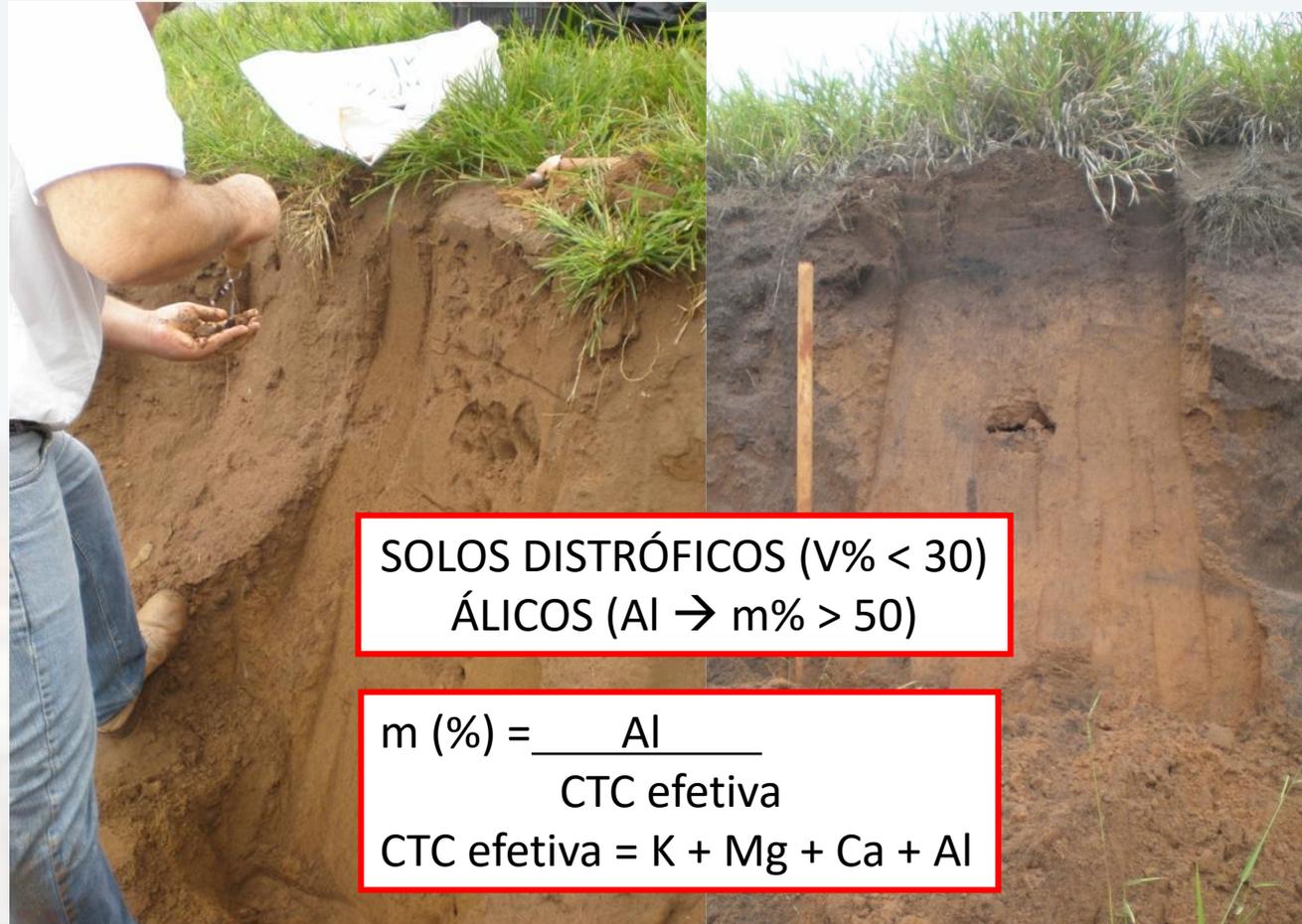
Eutrófico: $V\% > 50$

Ultissolo



- **Distrófico: $V\% < 30$**
- **Álico: $Al (m\%) > 50$**
- **Não Álico: $Al (m\%) < 50$**

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DOS SOLOS ARENOSOS: QUÍMICA, FÍSICA E BIOLÓGICAS



SOLOS DISTRÓFICOS ($V\% < 30$)
ÁLICOS ($Al \rightarrow m\% > 50$)

$$m (\%) = \frac{Al}{CTC \text{ efetiva}}$$

$$CTC \text{ efetiva} = K + Mg + Ca + Al$$

Latossolo Vermelho-Amarelo
Pirassununga-SP

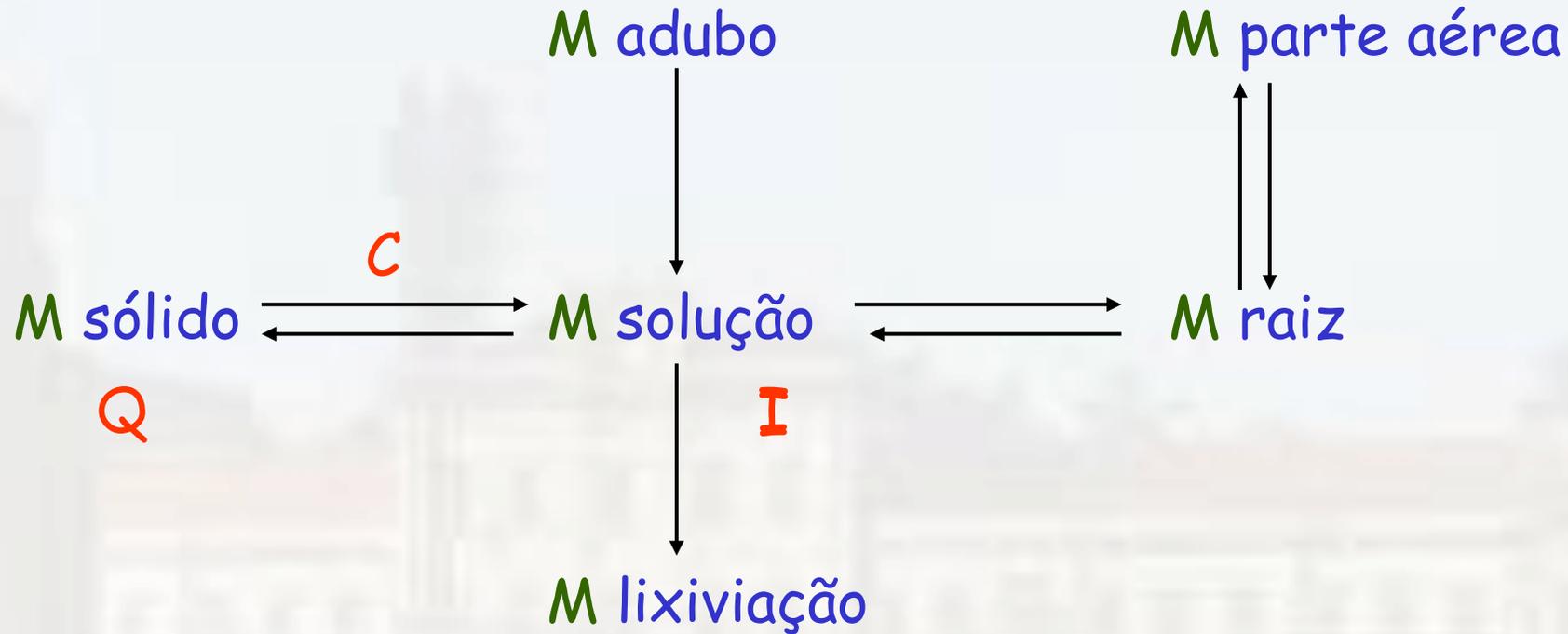
Neossolo Quartzarêmico
Analândia-SP

Solo Eutrófico x Álico



Foto: Antonio Carlos M. Vasconcelos

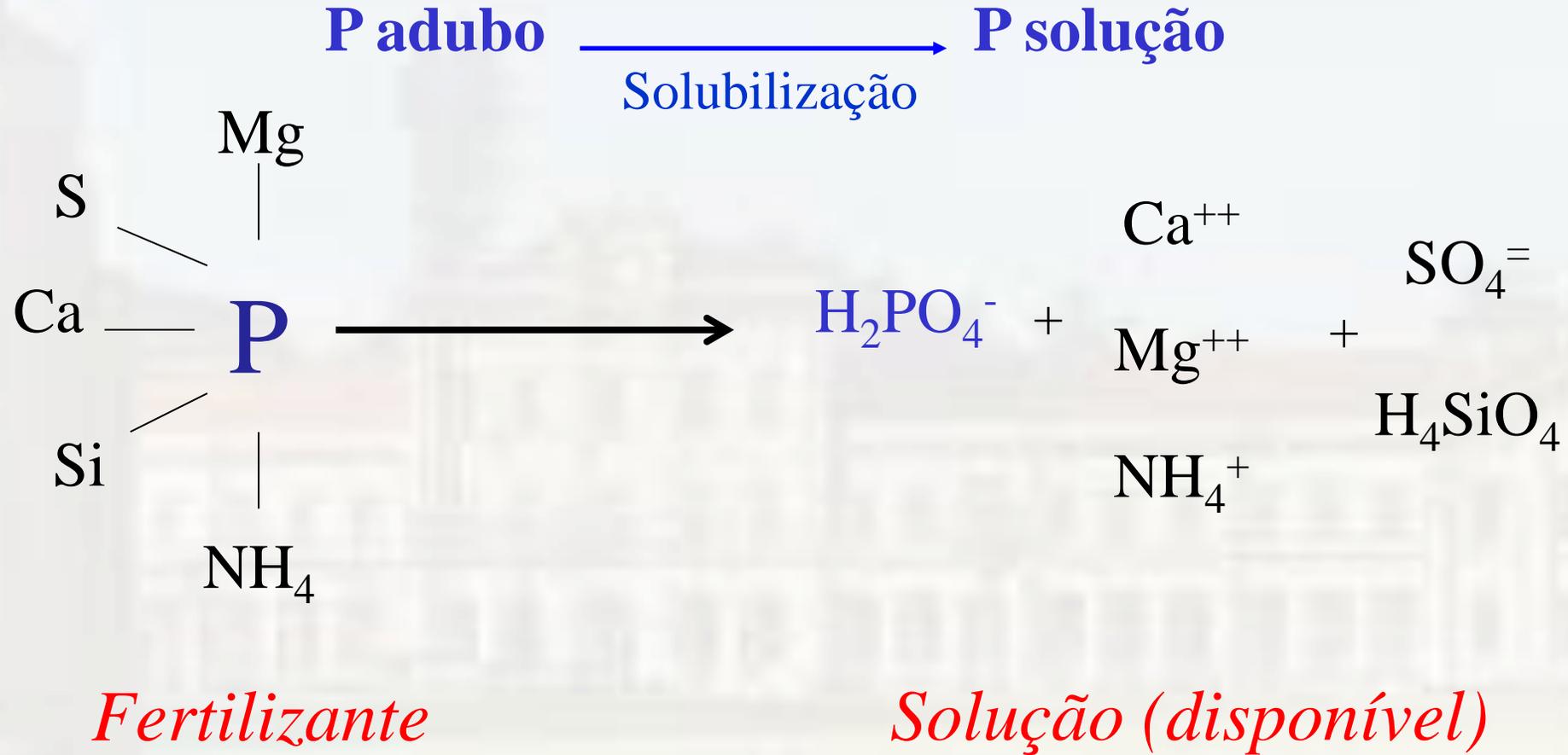
Dinâmica (equilíbrio) de Nutrientes no Solo



Q = Quantidade
I = Intensidade
C = Capacidade

Poder Tampão = Q/I
M = Nutriente

Relação Solo - Planta



Propriedades do Solo que afetam a passagem do M sólido para M solução



1. Troca de cátions e ânions
2. Adsorção química (Fixação)
3. Reações de precipitação e solubilização
4. Oxirredução
5. Atividade microbiana, reação do solo e interação entre nutrientes

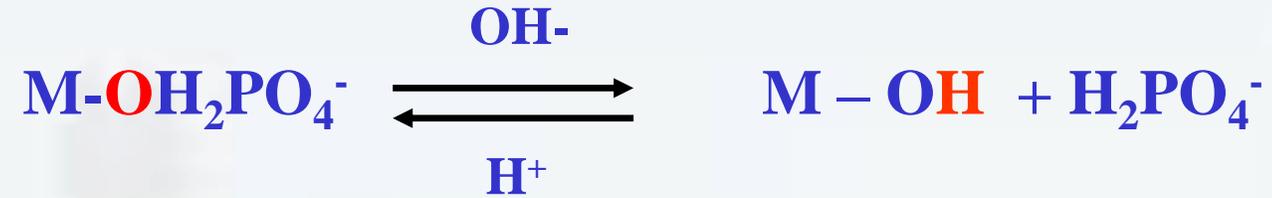
a) Cátions metálicos: Zn^{++} , Mn^{++} , Cu^{++} , Fe^{++} , Co^{++} e Ni^{++}

Ânions: $H_2PO_4^-$, H_4SiO_4

b) Fatores:

- **pH:** quanto maior o pH, maior a fixação de cátions metálicos, e menor fixação de fósforo
- Composição mineralógica: maior óxidos (Fe e Al), maior fixação de fósforo
- Matéria orgânica: maior matéria orgânica, menor fixação do fósforo.

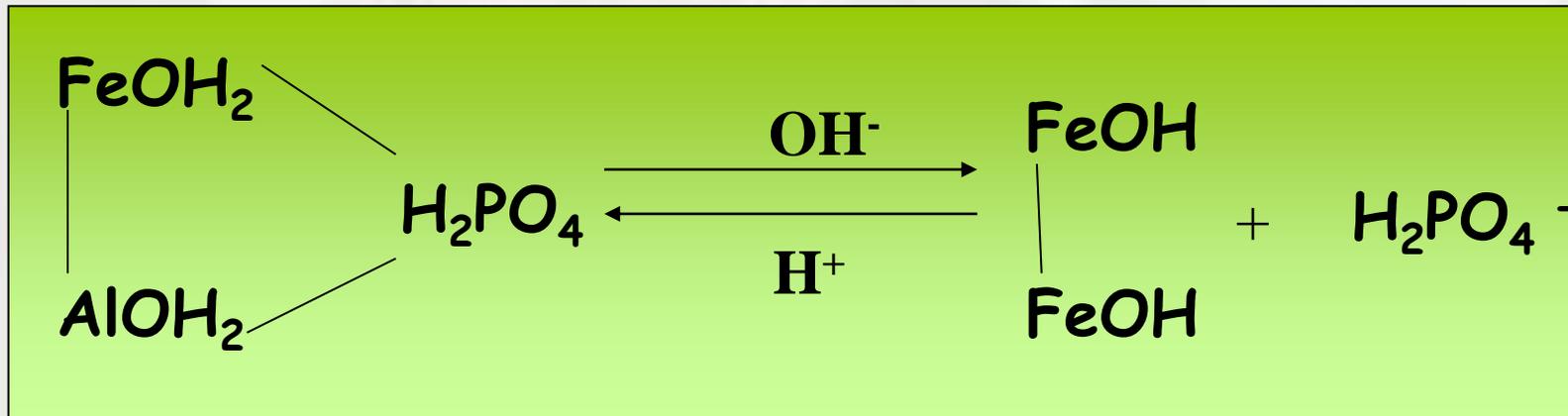
Fósforo fixado por adsorção específica ou química



pH + ácido

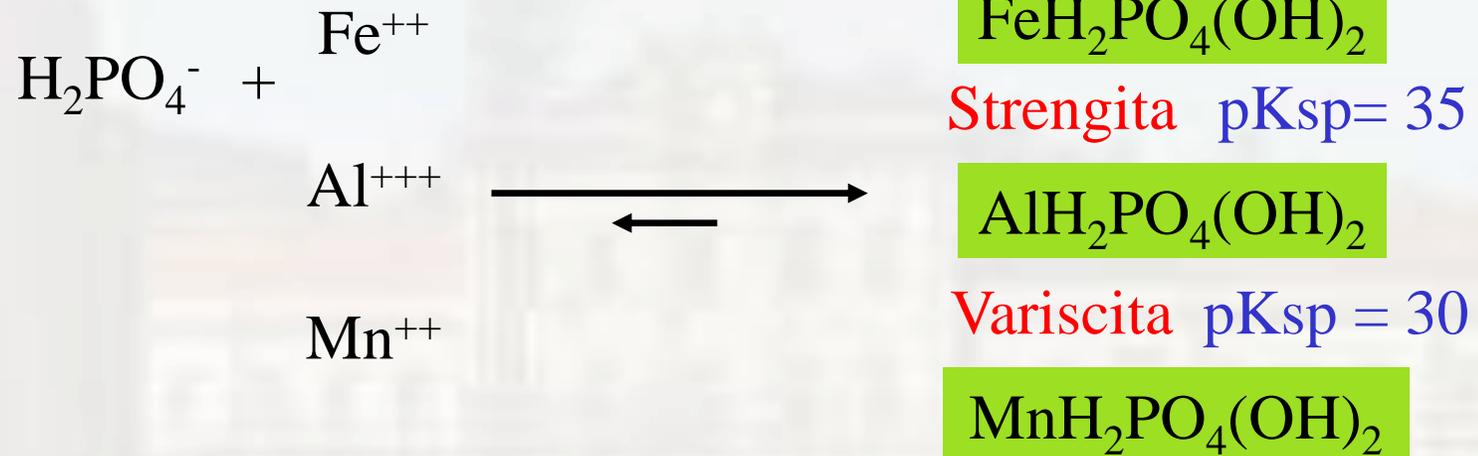
M = Si, Fe, Al

pH - ácido



Fixação do P por Precipitação

a) Precipitação do H_2PO_4^- em solução \rightarrow P não Labil (P-ocluso)



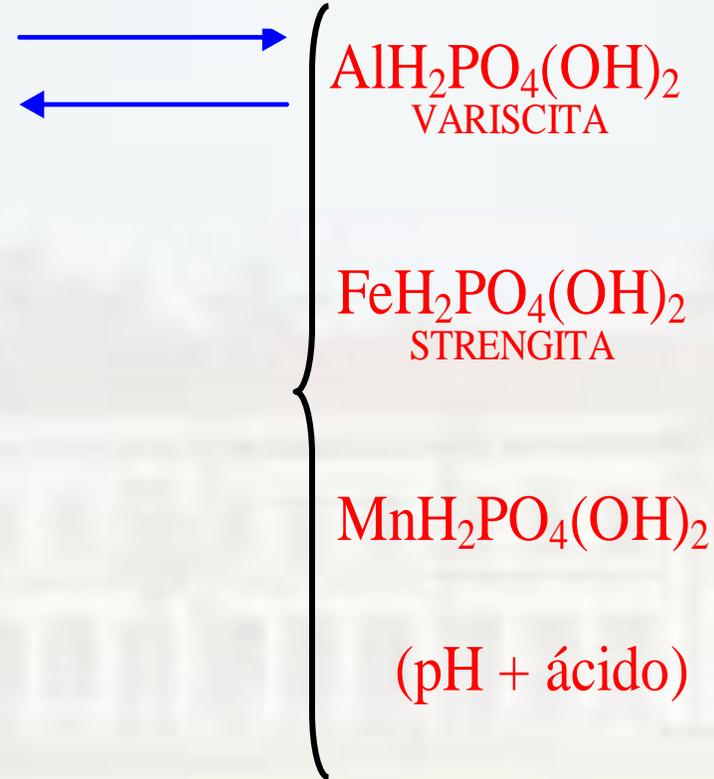
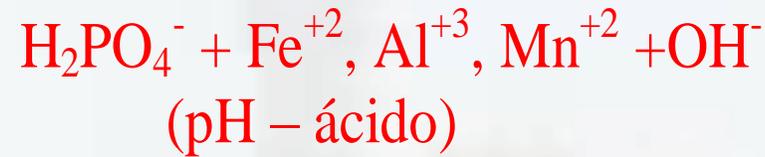
pH - ácido

pH + ácido

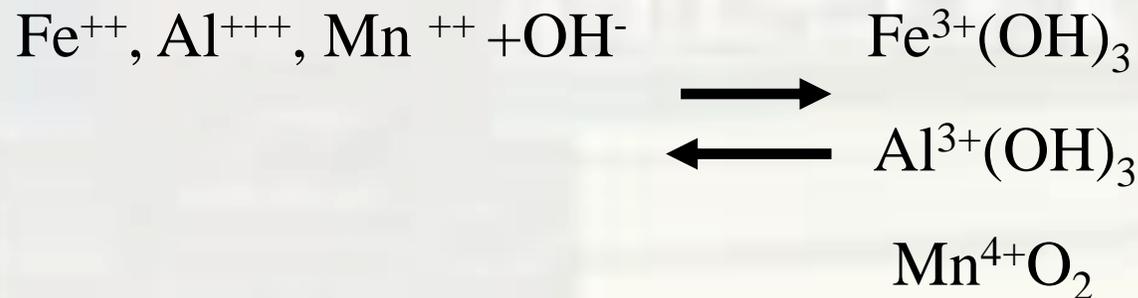
Precipitação do P em solução

O fósforo da solução do solo precipita com o Al, o Fe e o Mn (pH baixo). Quando o pH é corrigido, esses elementos se precipitam e o fósforo fica disponível.

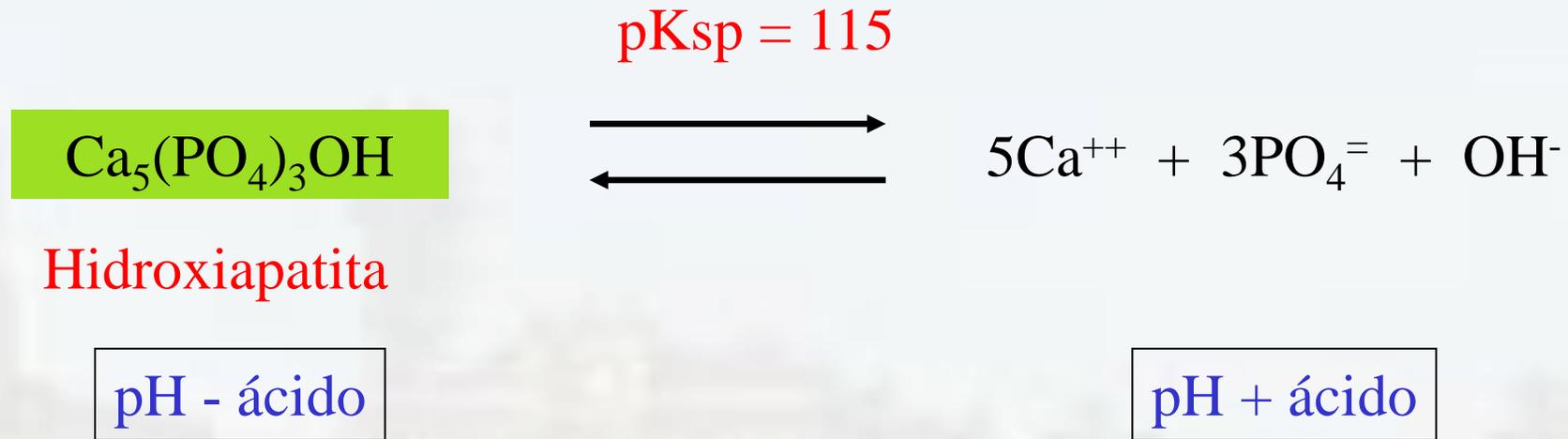
Sem calagem



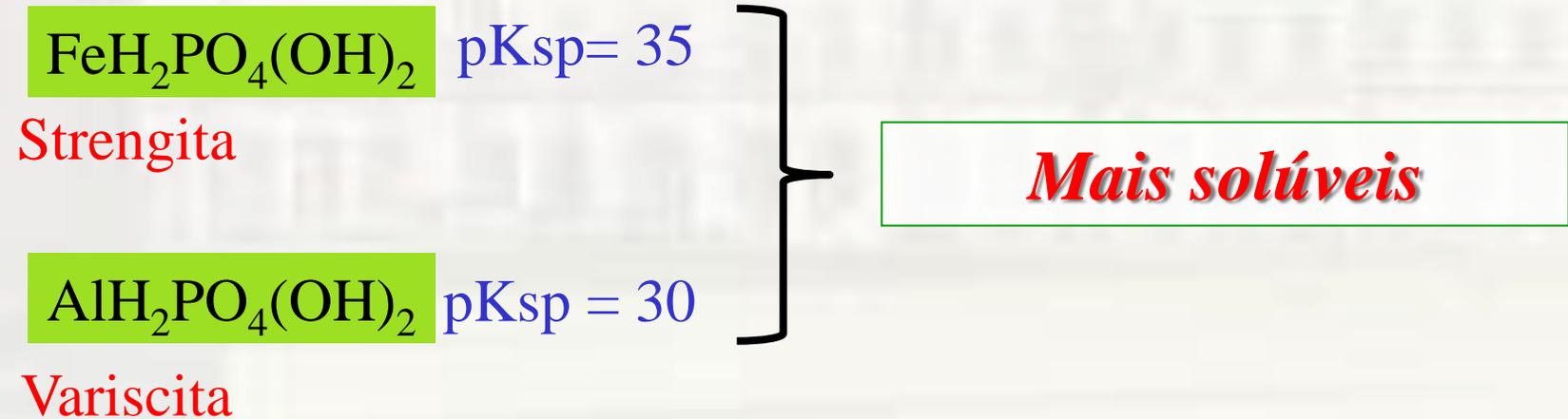
Com calagem



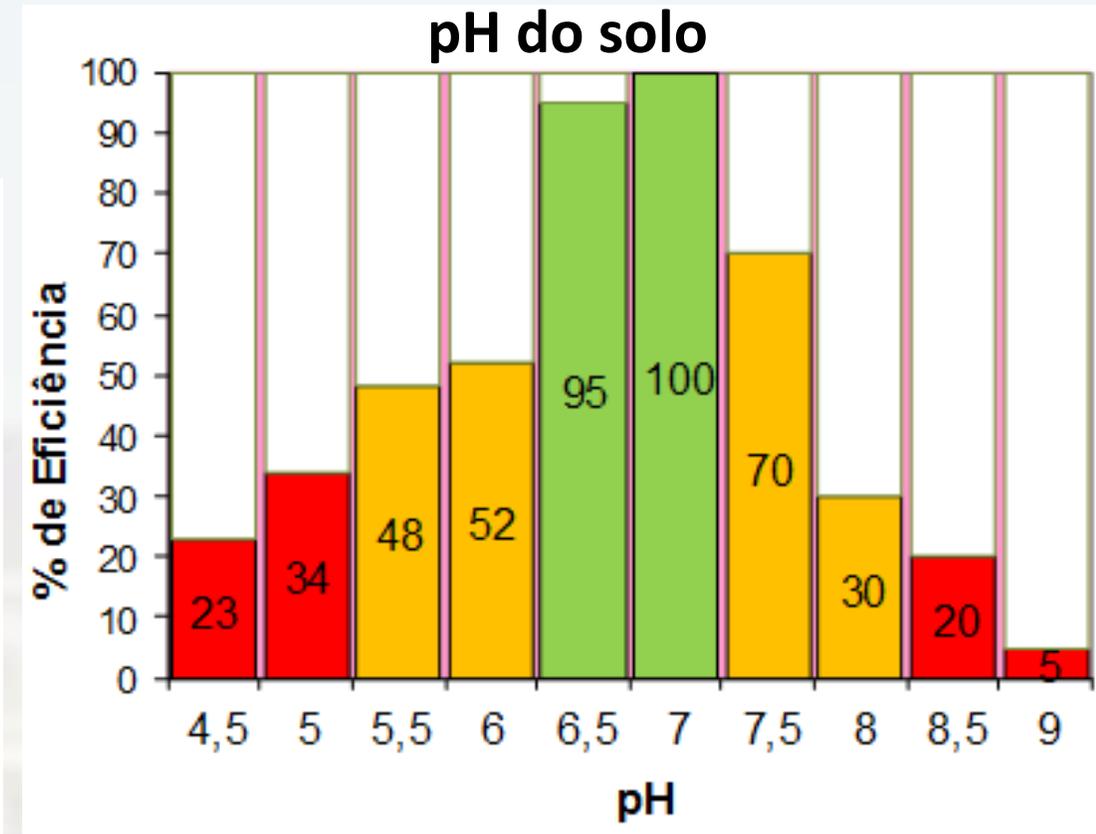
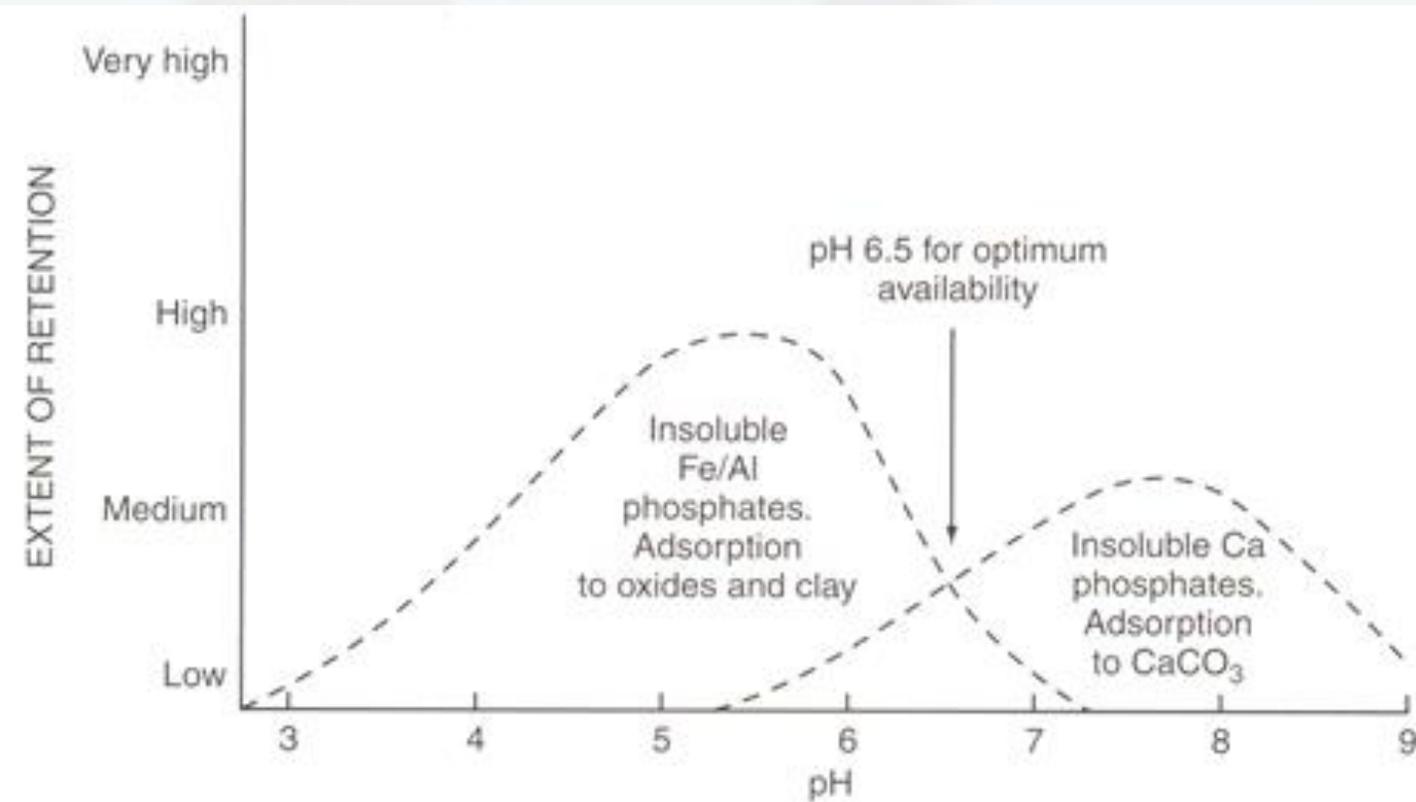
Fixação do P por Precipitação em pH alcalino



Maior pK_{sp} -> menor concentração de P em solução



pH x disponibilidade de P

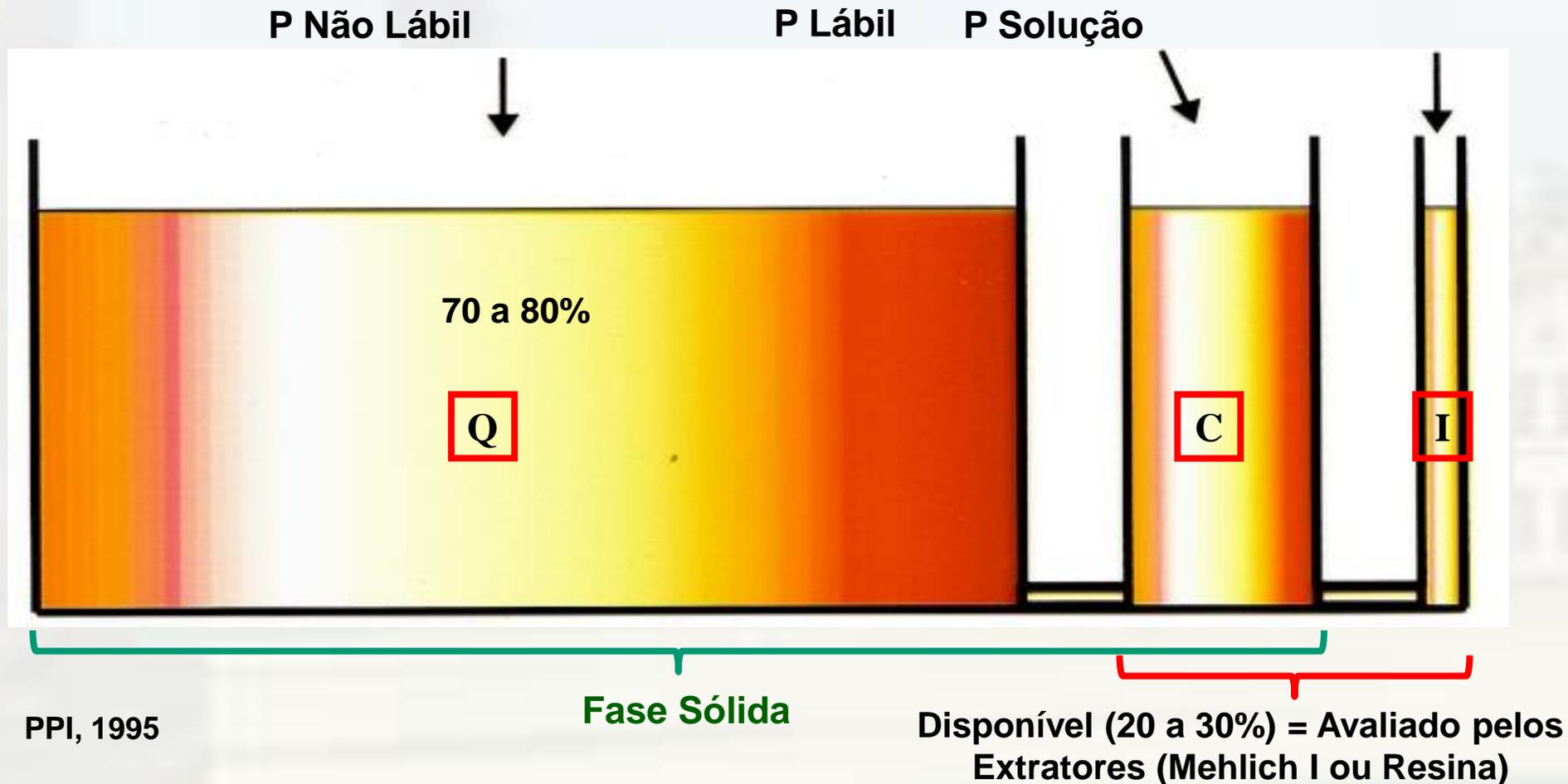


Efeito do pH na adsorção e precipitação de P.

(adaptado de Stevenson, 1986, Ciclos do solo, John Wiley e Sons.)

Fósforo Disponível nos Solos

Grande parte do fósforo do solo não está disponível para ser absorvido. Por isso é muito importante o manejo das fontes a serem utilizadas na adubação.



Fatores que afetam a disponibilidade do P

$$\textit{DISPONIBILIDADE} = \textit{FATOR I} + \textit{FATOR C}$$

(1) Solo

(2) Clima

(3) Planta

(4) Fertilizantes fosfatados

Solo

Poder tampão em P (PTP)

TEXTURA

QUALIDADE DA ARGILA

ARGILAS **SESQUIOXÍDICAS**
(ÓXIDOS Fe e Al)

>

ARGILAS SILICATADAS
1:1 (CAULINITA)

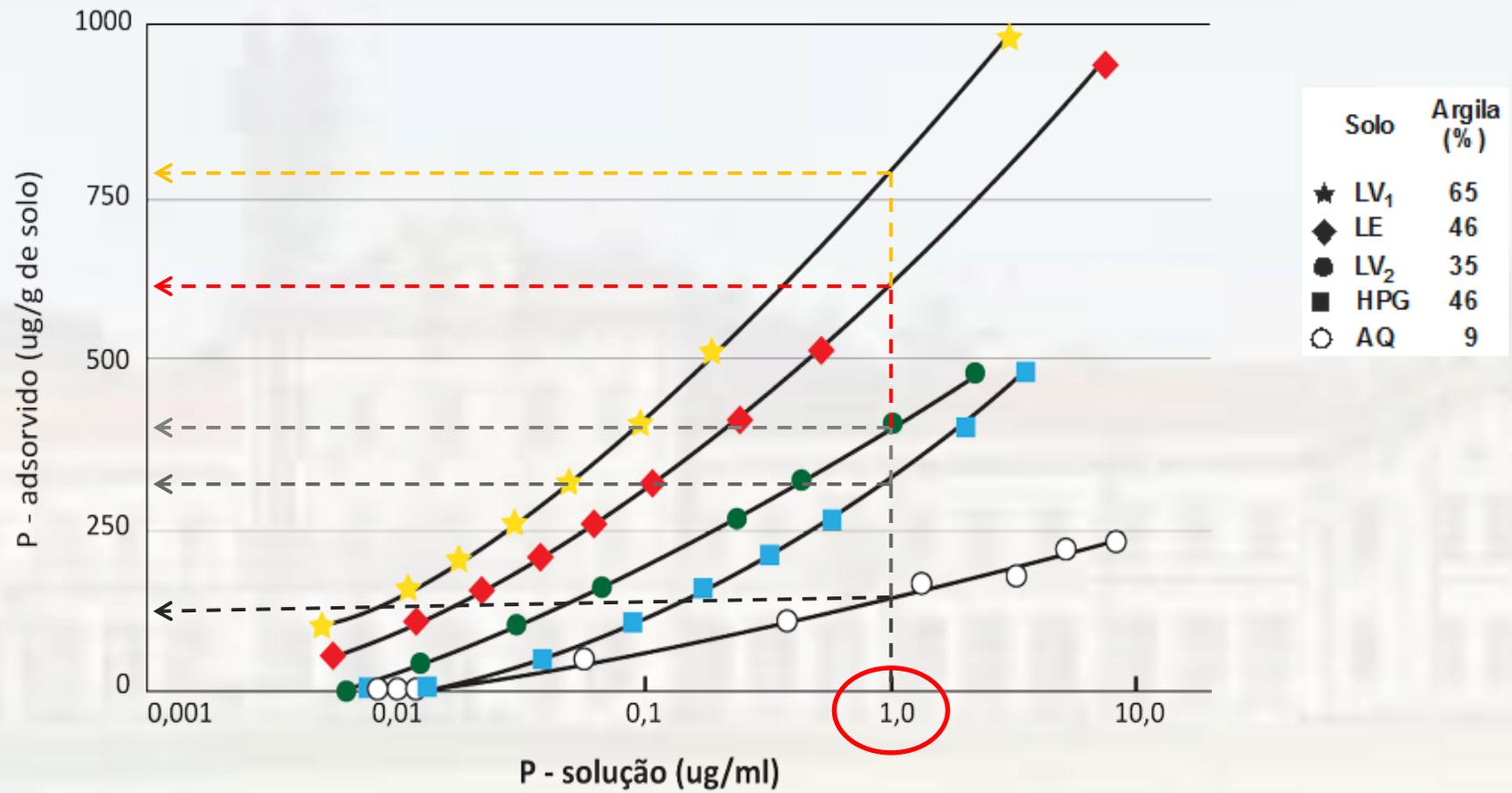
>

ARGILAS SILICATADAS 2:1
(MONTMORILONITA)

Portanto:

**ARGILOSOS > ARENOSOS
LATOSSOLOS > ARGISSOLOS**

P solução X P adsorvido



Solo

TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA

A M.O melhora a disponibilidade de P por uma série de motivos:

a) Fonte de P (20 a 60% P total)



Temp, umidade,
C/P ≤ 150

b) Formação de complexos fosfo-húmicos facilmente assimiláveis

c) Fosfatos orgânicos são mais fracamente retidos

d) Diminuição do contato fosfato/argila

SOLO

TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA

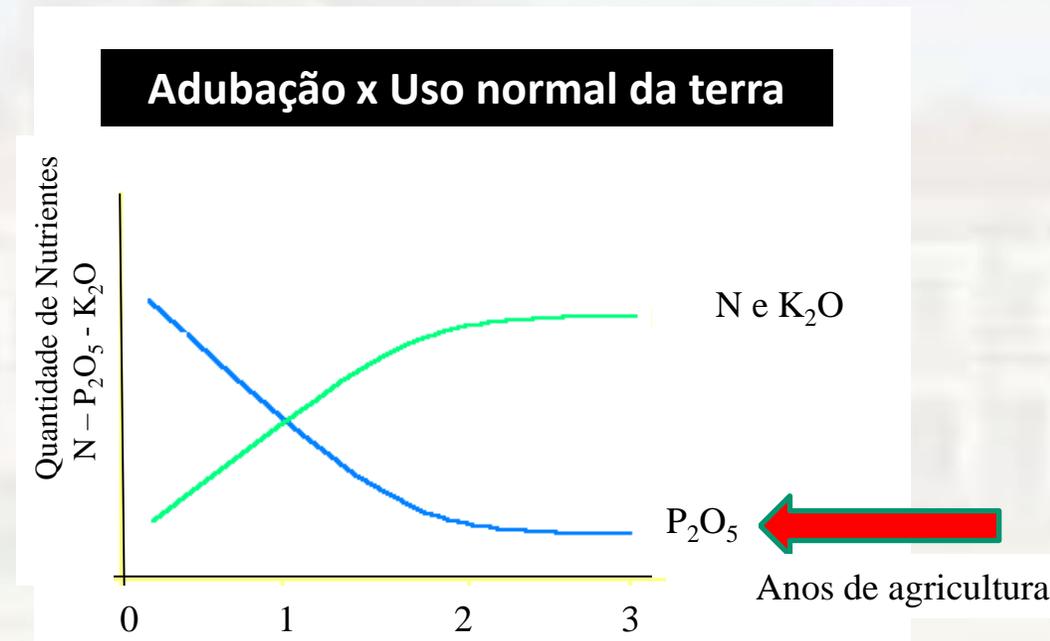
- ✓ **Formação de complexos fosfo-húmicos facilmente assimiláveis**
- ✓ **Fosfatos orgânicos são mais fracamente retidos**
- ✓ **Diminuição do contato fosfato/argila**

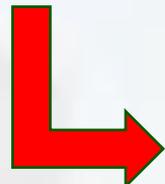
MÉTODO	% P FOLHAS VINDA DO ADUBO	EFICIÊNCIA RELATIVA
1. Cobertura em faixa*	10,2	100
2. Sulco circular	2,4	23,5
3. Sulco semicircular	1,7	16,6
4. Pulverização foliar	38,8	372,4

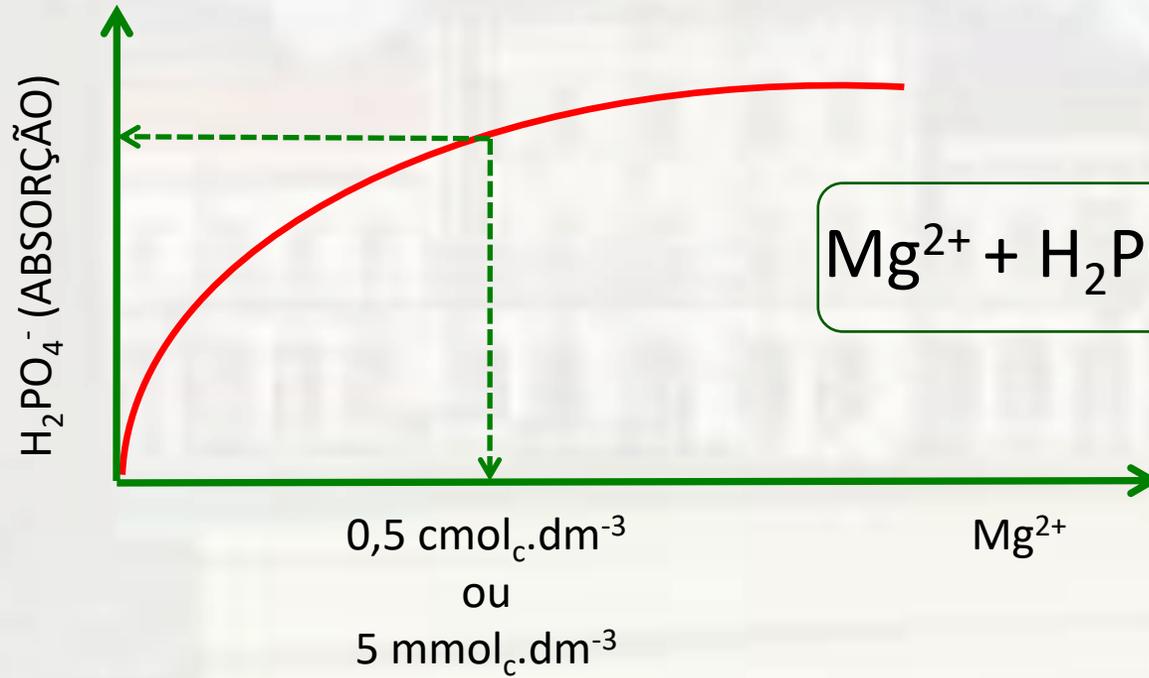
Solo

TEMPO DE USO DO SOLO

Uso do solo: Quantidade de P previamente fixado




SOLO
 TEOR DE Mg DO SOLO



Efeito do magnésio na absorção e transporte do fósforo

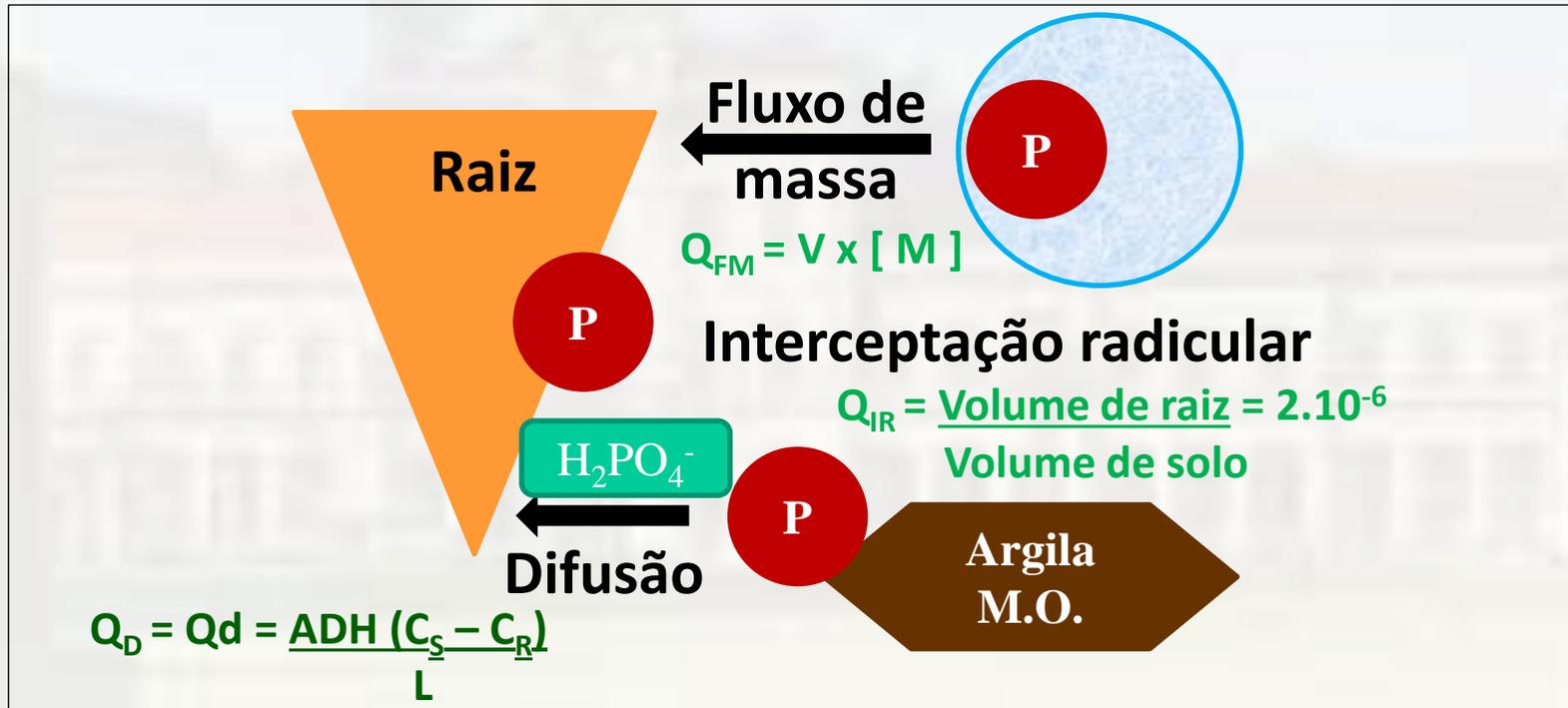
Mg = Carregador de P

Dose de Mg (ppm)	P absorvido (ppm)
0,0	70
2,0	120
5,0	150

Fatores que afetam a disponibilidade do P

Clima

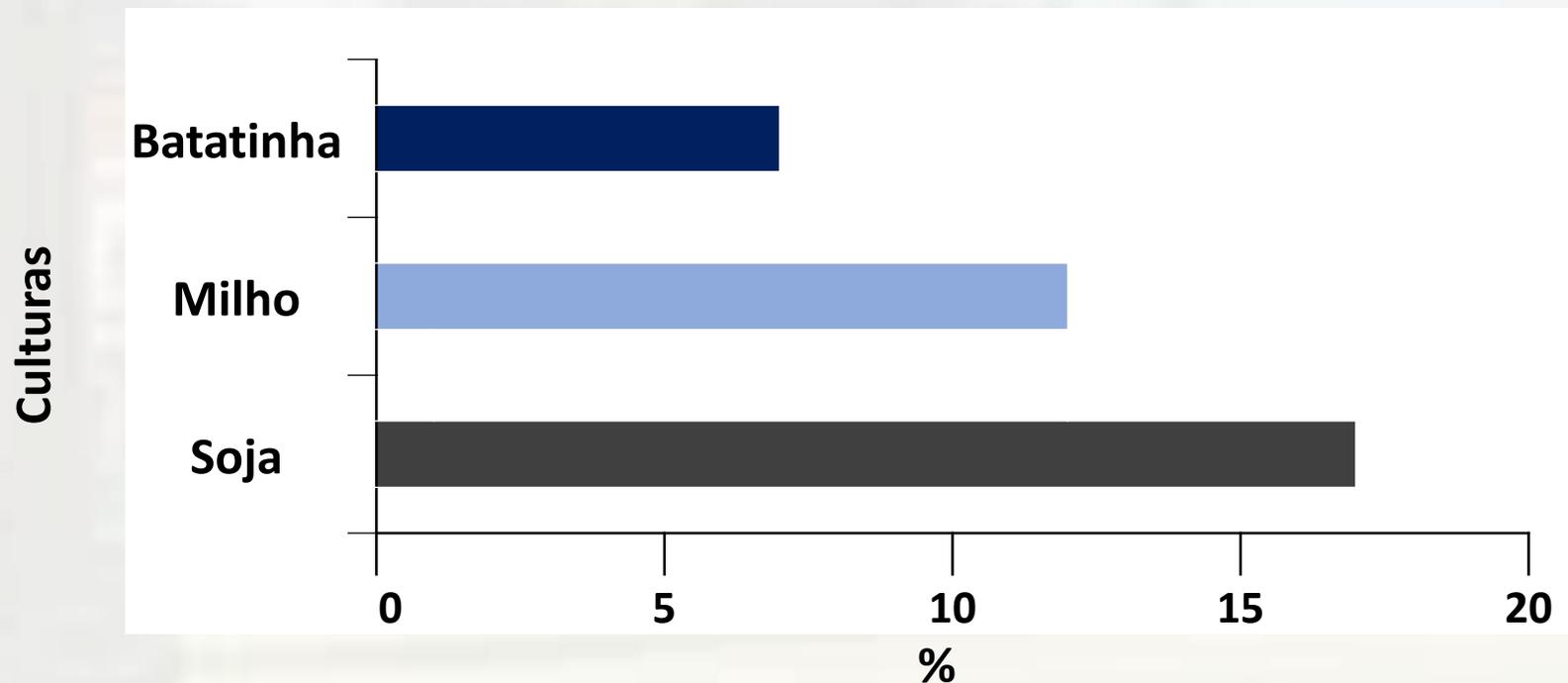
ABSORÇÃO: CONTATO ÍON - RAIZ



Planta

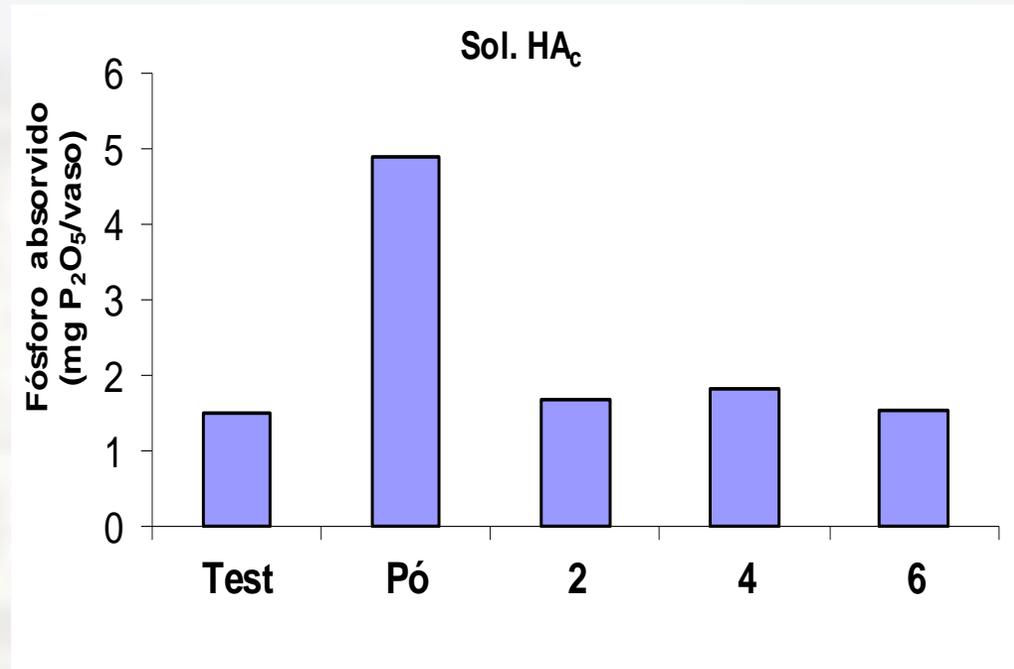
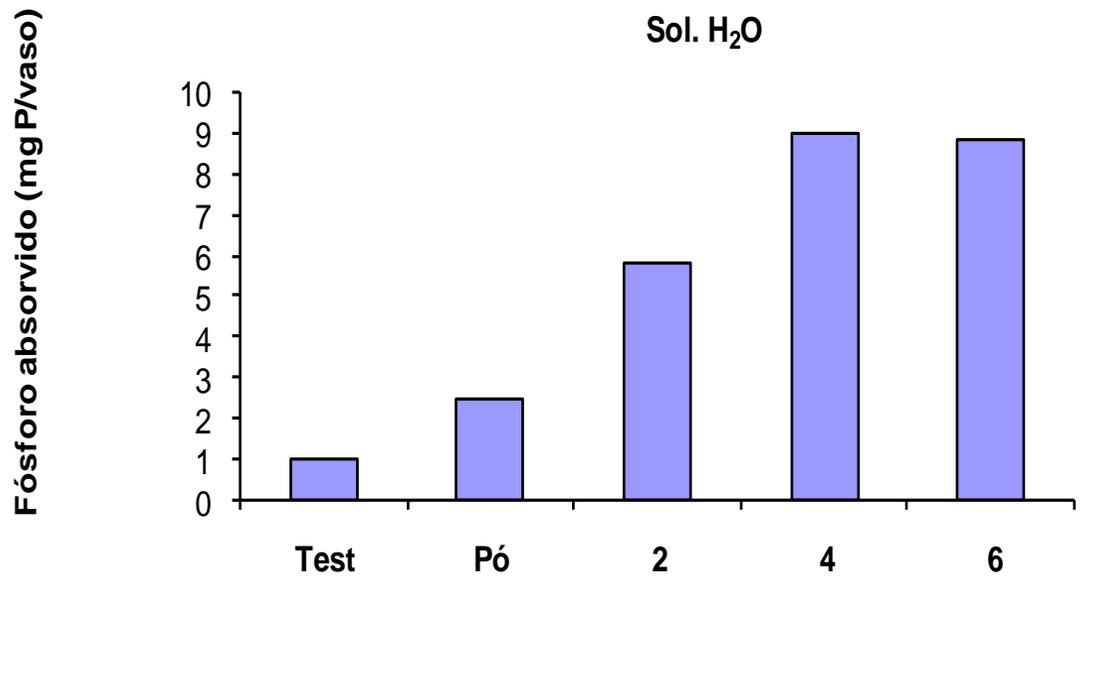
As plantas possuem diferentes capacidades de aproveitamento.

% de aproveitamento do Pi do adubo no ano de aplicação por diferentes culturas:



Fertilizantes fosfatados

Utilização de fontes de P_2O_5 solúveis em água mais citrato neutro de amônio na forma granulada e localizada



Panorama da indústria mundial de fertilizantes



	<u>Nitrogênio</u>	<u>Fósforo</u>	<u>Potássio</u>
Reservas Mundiais	Prontamente Disponível	Limitadas	Grande Limitação
Países Produtores/ Empresas	Mais de 75 / + 200 (base amônia) # 1 – China # 2 – EUA # 3 – Índia # 4 – Rússia	44 / + 100 (base P ₂ O ₅) # 1 – USA # 2 – Marrocos # 3 – Rússia # 4 – China	12 / ~20 (base KCl) # 1 – Canadá # 2 – Rússia # 3 – Alemanha # 4 – Bielo-Rússia
Características do Mercado	Global, Muitos Players	Global, Players Mundiais	Global, Poucos Players Mundiais
Posição Brasileira	Produção: 1 % Consumo: 2 %	Produção: 4 % Consumo: 9%	Produção: 1 % Consumo: 13 %
Investimentos Programados	China, Catar, Omã, Vietnam	China, Brasil, África do Sul, Marrocos, Peru	Em Estudo: Laos, Argentina e Tailândia

^(a) Inclui rocha fosfática, ácido sulfúrico, ácido fosfórico e MAP/DAP.

Panorama da indústria mundial de fertilizantes

		<i>Tempo para implantação de um novo projeto</i>	<i>Custo de um novo Projeto*</i>	<i>Principais Novas Capacidades</i>		
				2007	2008	
N	3 anos	US\$ 1 bilhão** para 1 milhão de toneladas de NH ₃	China	2,2	4,2	
			Iran	1,1	1,7	
			Oman	0,0	1,1	→ MMt Uréia
			Egito	0,7	0,7	
			Subtotal	3,9	7,7	
P	3-4 anos	US\$ 1,5 bilhões para 1 milhão de toneladas de P ₂ O ₅	China	0,9	1,3	
			Marrocos	0,1	0,6	
			Rússia	-0,7	0,0	→ Ac. Fosf MM t P ₂ O ₅
			EUA	-1,1	0,0	
			Subtotal	-0,8	1,9	
K	5-7 anos	US\$ 2,5 bilhões*** para um mina de 2 milhões de toneladas	Rússia	0,4	0,4	
			Canadá	1,3	0,0	→ MMt KCL
			China	0,5	0,0	
			Subtotal	2,2	0,4	

*base dos custos Canadá – Saskatchewan

**Complexo Amônia/Uréia

***Não inclui custos com ferrovia, estradas, infra-estrutura portuária.

Posição do Brasil no ranking mundial

O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do Mundo, mas representa apenas 6% da produção mundial, sendo assim um grande importador.

Ranking Mundial do Consumo de Fertilizantes - 2010

	<u>NPK</u>	<u>Part.</u>	<u>Nitrogênio</u>	<u>Part.</u>	<u>Fósforo</u>	<u>Part.</u>	<u>Potássio</u>	<u>Part.</u>
1°	China	30%	China	33%	China	29%	China	19%
2°	Índia	16%	Índia	16%	Índia	20%	EUA	16%
3°	EUA	12%	EUA	11%	EUA	10%	Brasil	14%
4°	Brasil	6%	Indonésia	3%	Brasil	9%	Índia	14%
5°	Indonésia	3%	Paquistão	3%	Pasquitão	2%	Indonésia	4%
6°	Paquistão	2%	Brasil	3%	Autrália	2%	Malásia	4%
milhões de t de nutrientes	171		104		40		27	

Participação do Brasil:

Consumo:	6%	3%	9%	14%
Produção:	2%	1%	4%	1%

DECISÕES POLÍTICAS

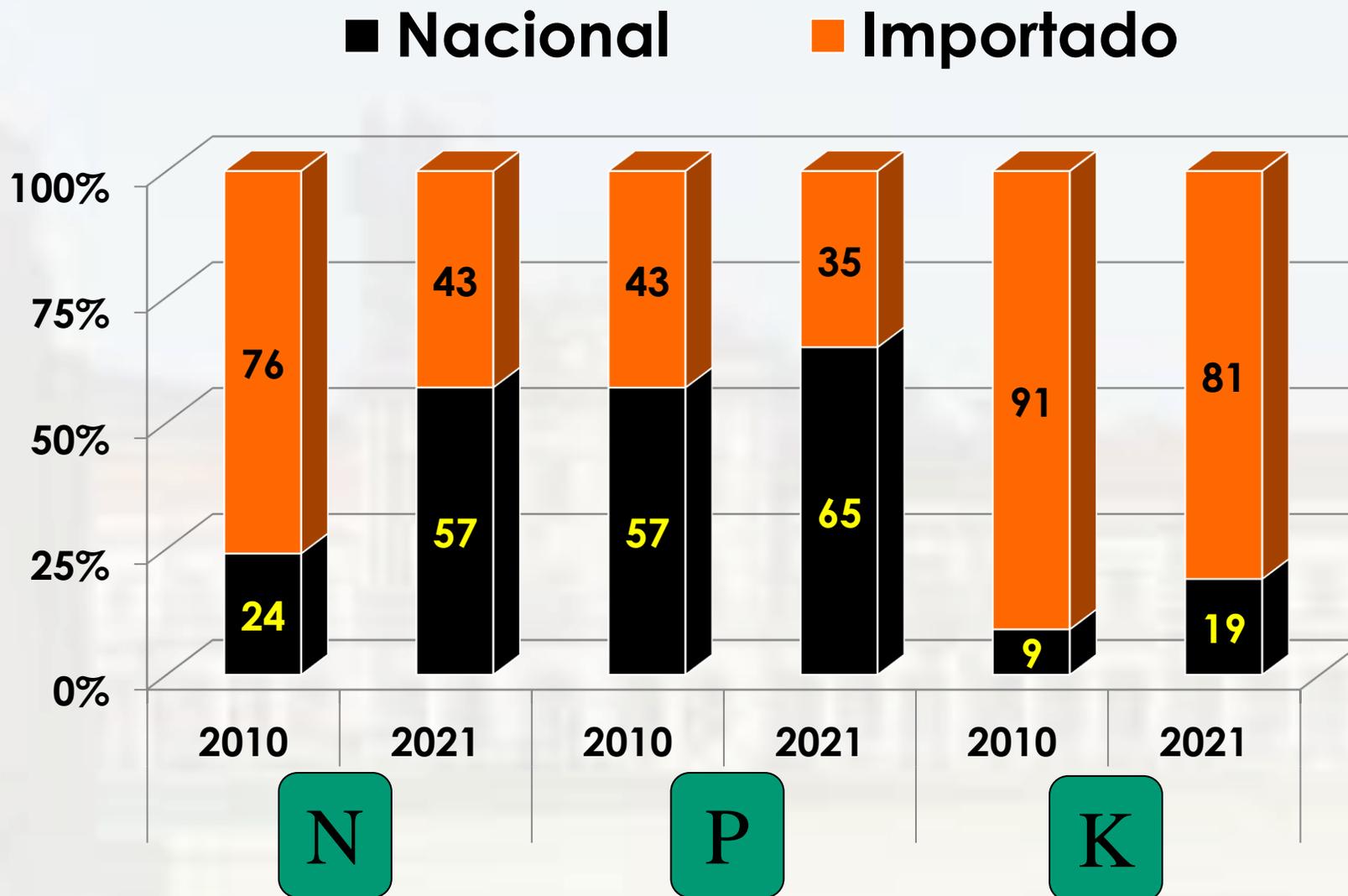
PRODUÇÃO INTERNA DE FERTILIZANTES

FERTILIZANTES → **PRINCIPAL FRAGILIDADE DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO**

IMPORTAÇÃO: **75% DOS FERTILIZANTES NITROGENADOS**
47% DOS FERTILIZANTES FOSFATADOS
90% DO CLORETO DE POTÁSSIO

O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do Mundo, mas representa apenas 2% da produção mundial, sendo assim um grande importador.

Brasil: projeção e demanda de fertilizantes



FONTE: MB AGRO, BLUM/OUTLOOK BRASIL ANDA . ELABORAÇÃO: FIESP/DEAGRO E MB AGRO

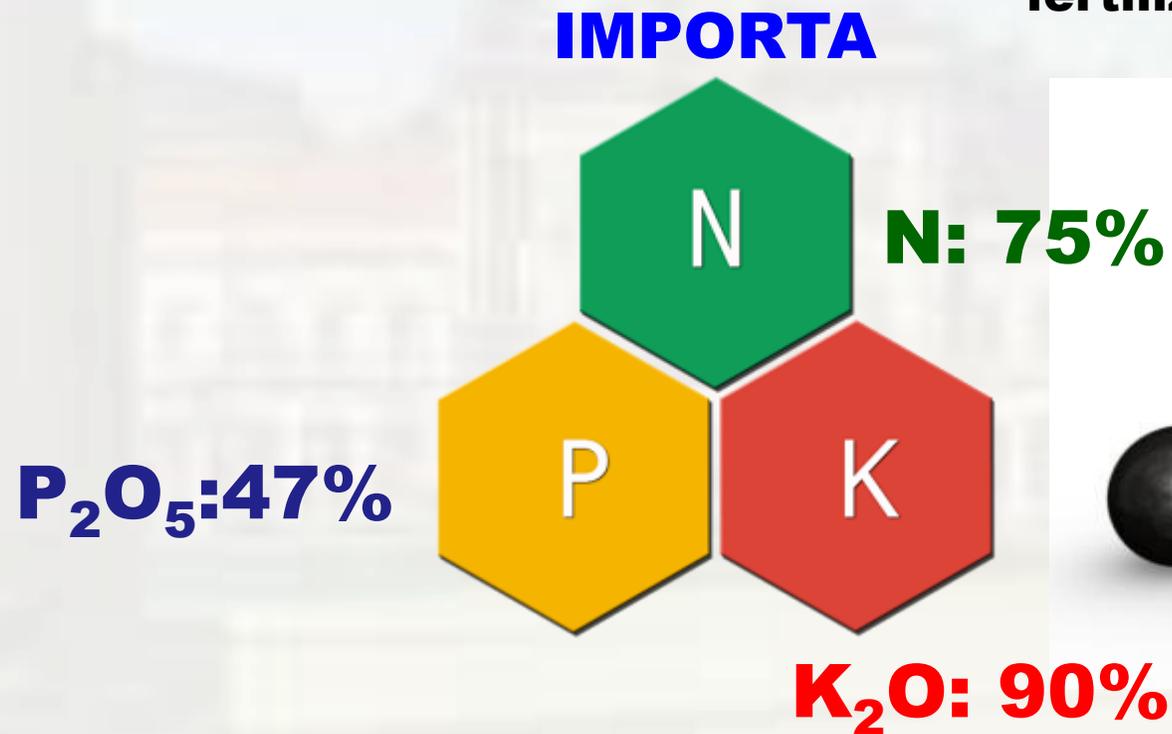
Medidas a serem tomadas

FERTILIZANTES

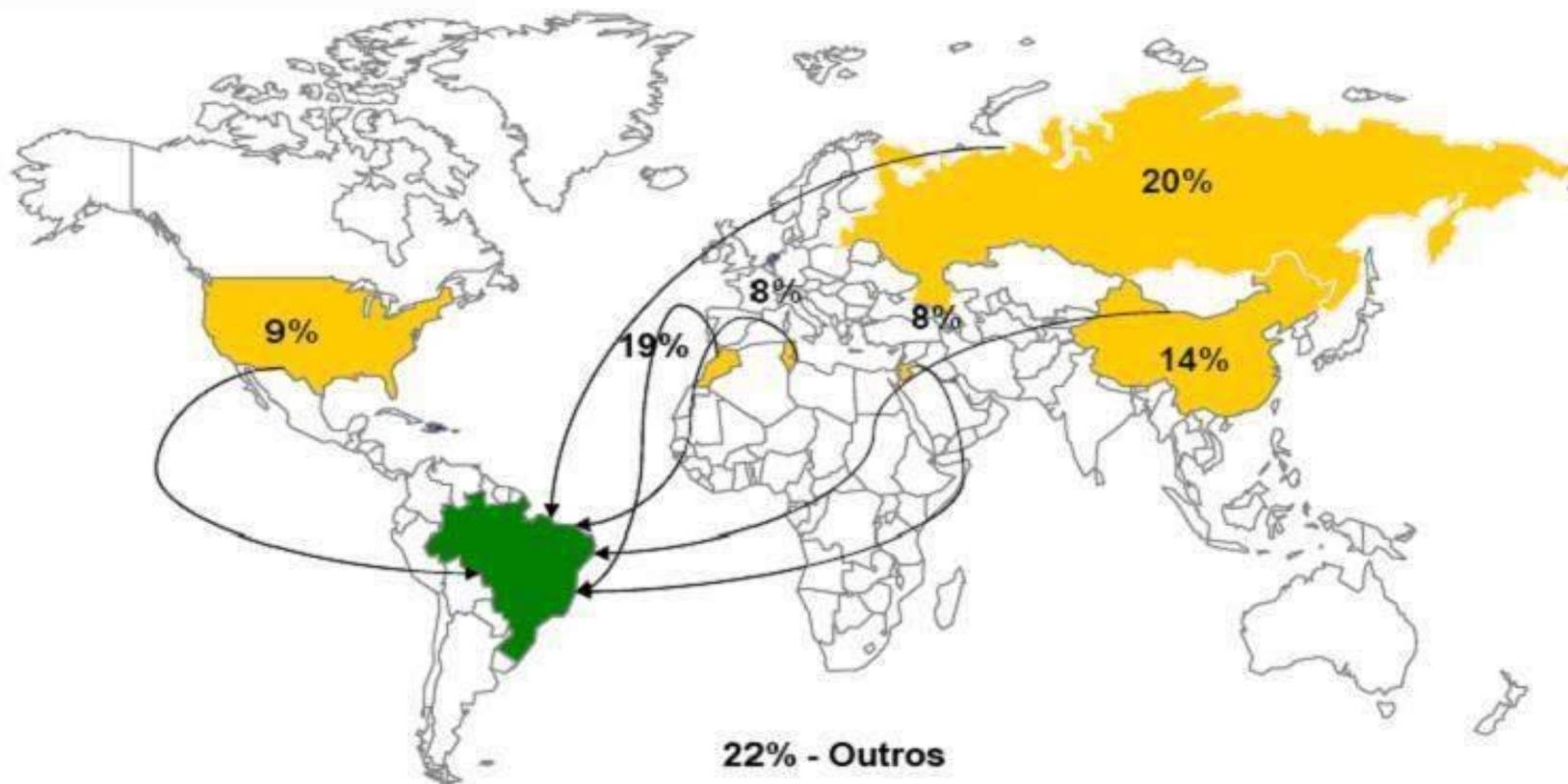
Fraquezas da Agricultura Brasileira

Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo.

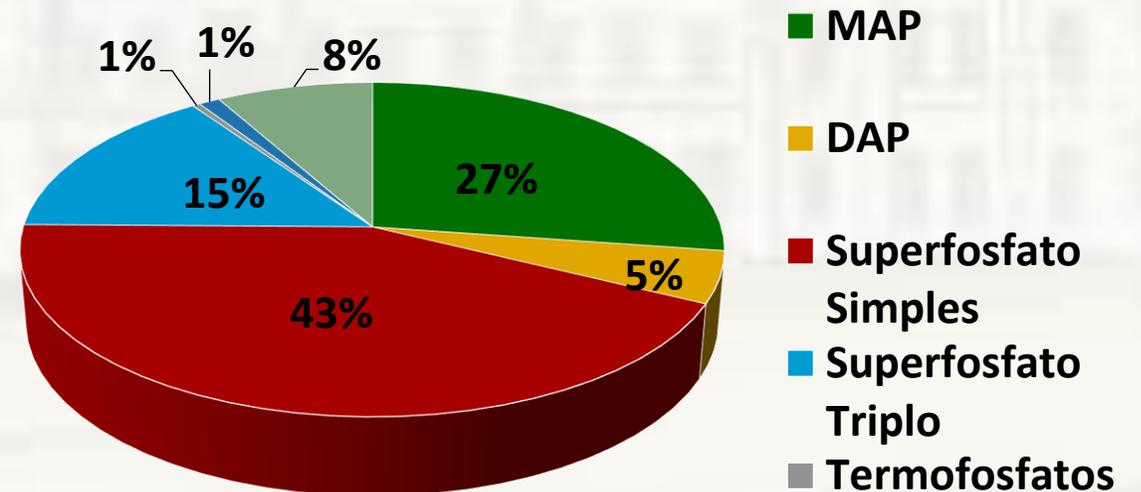
Brasil produz 2% dos fertilizantes do mundo.



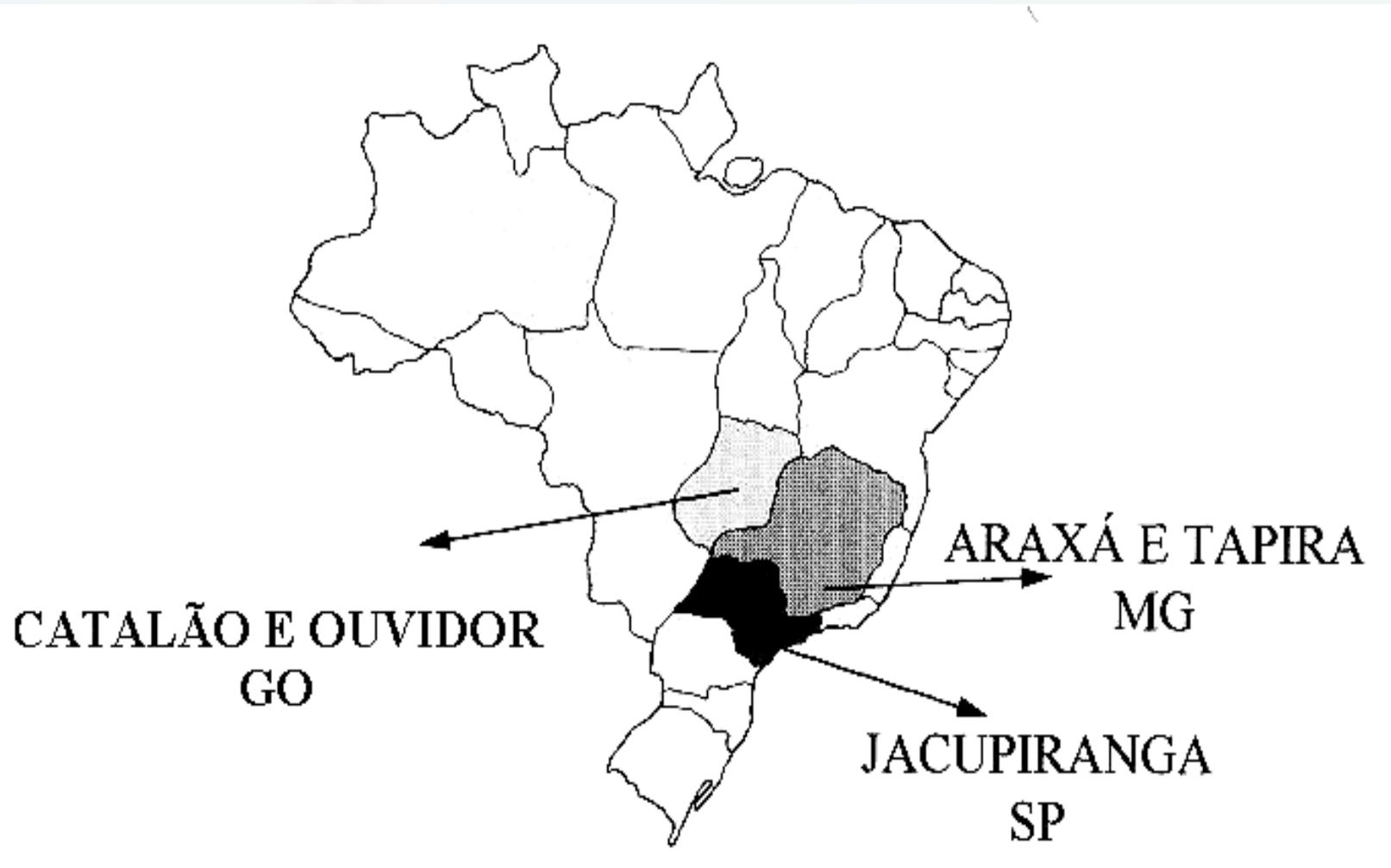
A Rússia e a China estabeleceram impostos de exportação para os fertilizantes fosfatados em 2008



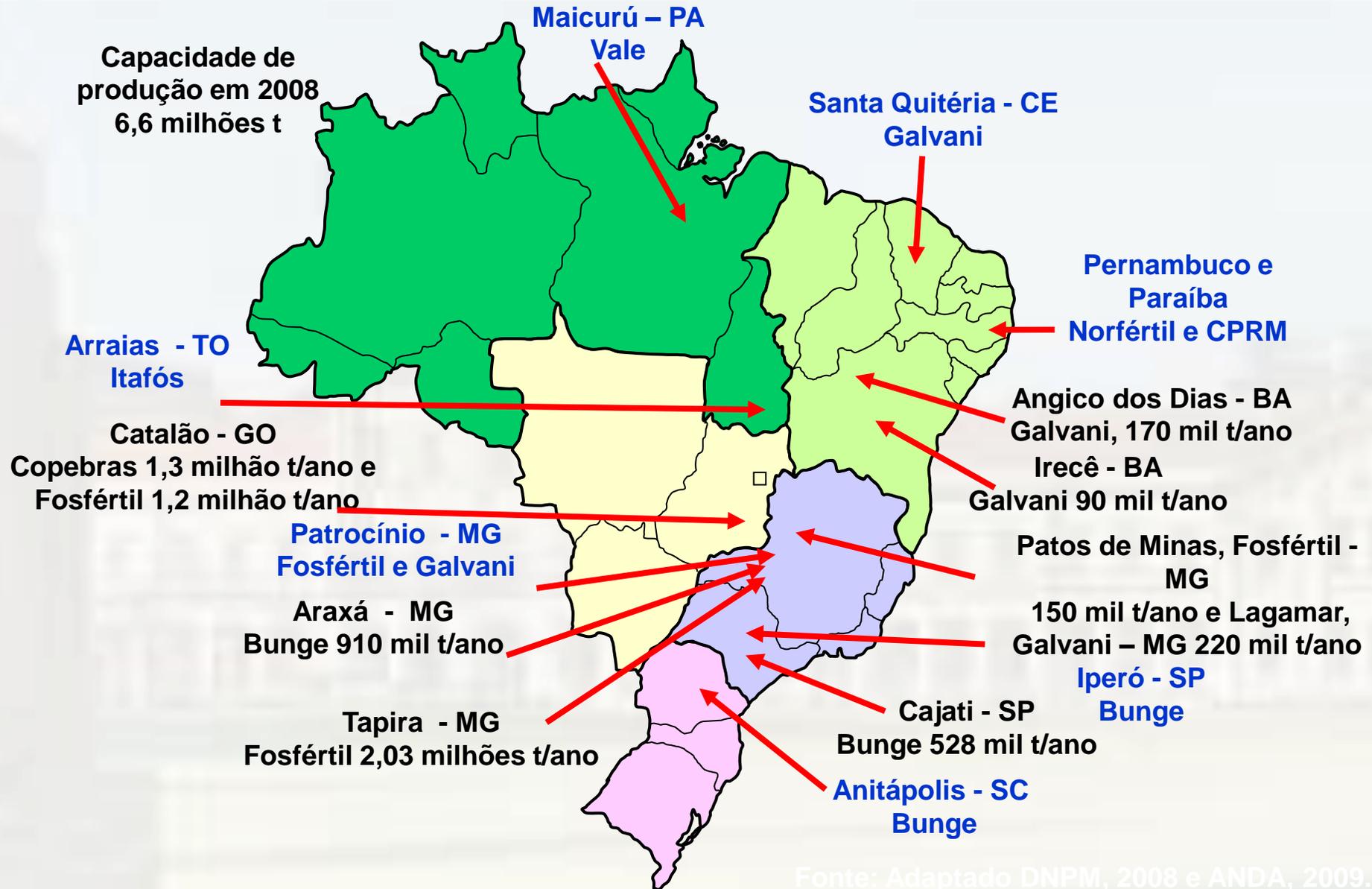
Fertilizante	Produção		Importação		TOTAL	
	000 t	%	000t	%	000 t	%
MAP	1.306	35,5%	2.370	64,5%	3.676	27,3%
DAP	0	0,0%	670	100,0%	670	5,0%
Superfosfato Simples	4.931	85,0%	871	15,0%	5.802	43,0%
Superfosfato Triplo	936	46,0%	1.097	54,0%	2.033	15,1%
Termofosfatos	50	100,0%	0	0,0%	50	0,4%
Outros	150	100,0%	0	0,0%	150	1,1%
Binários (outros NK)	0	0,0%	1.102	100,0%	1.102	8,2%
TOTAL	7.373	54,7%	6.110	45,3%	13.483	100,0%



Apatitas (Ígneas, vulcânicas, cristalinas duras)



Principais depósitos de rochas fosfáticas no Brasil



Ígneas (Apatita)

- Rochas cuja formação deve-se a solidificação do magma de erupções vulcânicas. A formação, portanto, ocorre em altas temperaturas, ocasionando cristais muito duros;

Metamórficas (Fosforita)

- Oriundas da modificação do estado sólido de rochas pré-existentes. Essa modificação é devido a ação da temperatura, assim como da pressão.

Sedimentares (Fosforita)

- Rochas que se formam em função do acúmulo e consolidação de materiais degradados de rochas pré-existentes, ou devido ao acúmulo de restos orgânicos (ossadas, esqueletos de animais), por exemplo, no fundo de águas calmas, como lagunas;

(FOSFATOS REATIVOS)

Rochas fosfáticas quanto a:

COMPOSIÇÃO:

Minerais fosfáticos que compõem as rochas fosfáticas - um ou mais complexos de flúor contendo fosfatos de cálcio.

ORIGEM:

- a) Ação vulcânica ao longo de zonas de fraqueza na crosta terrestre (apatitas – Brasil, Canadá, Rússia e África do Sul).**
- b) Depósitos sedimentares no leito dos oceanos, usualmente nas áreas costeiras rasas que subsequentemente tornaram-se terra (fosforitas – Norte da África, China, Oriente Médio e EUA).**

85% da produção mundial de fósforo vêm de depósitos sedimentares e **15%** de depósitos magmáticos.

Atualmente, **75%** da produção mundial de rochas fosfáticas vem de minas de superfície.

a) origem ígnea, rochas cristalinas duras

APATITA



Solubilidade diminuir



X = F - Fluorapatita;

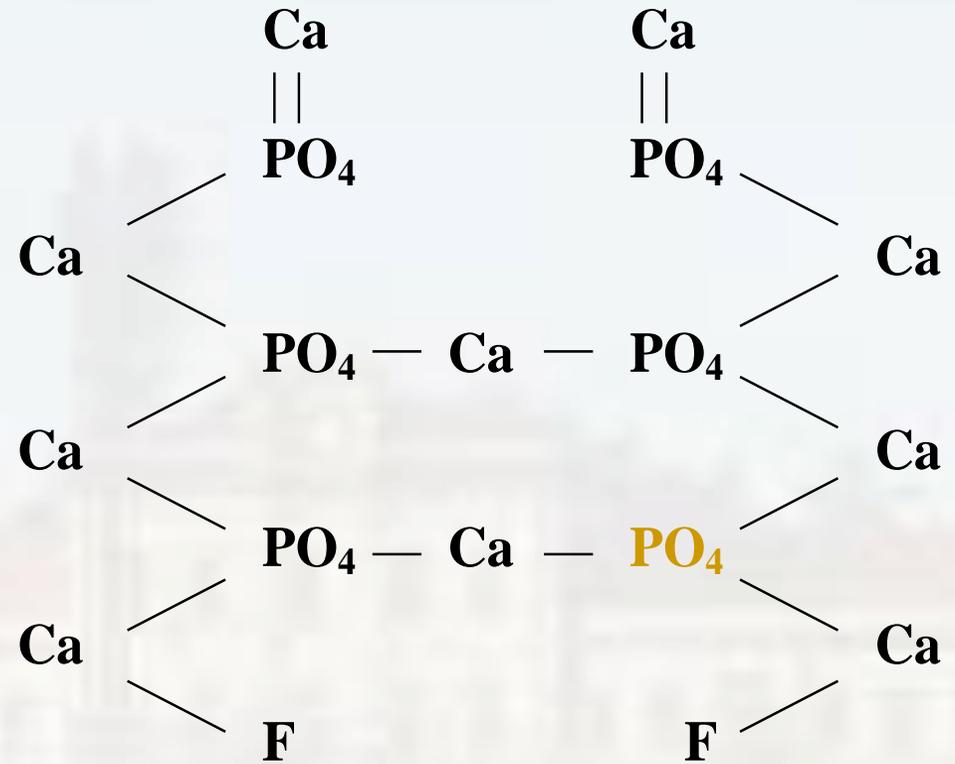
X = Cl - Cloroapatita;

X = OH - Hidroxiapatita;

X = CO₃ - Carbonatoapatita

Tapira/MG; Araxá/MG; Jacupiranga/SP; Catalão/GO

Fluorapatita - $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$



Fosfatos Duros

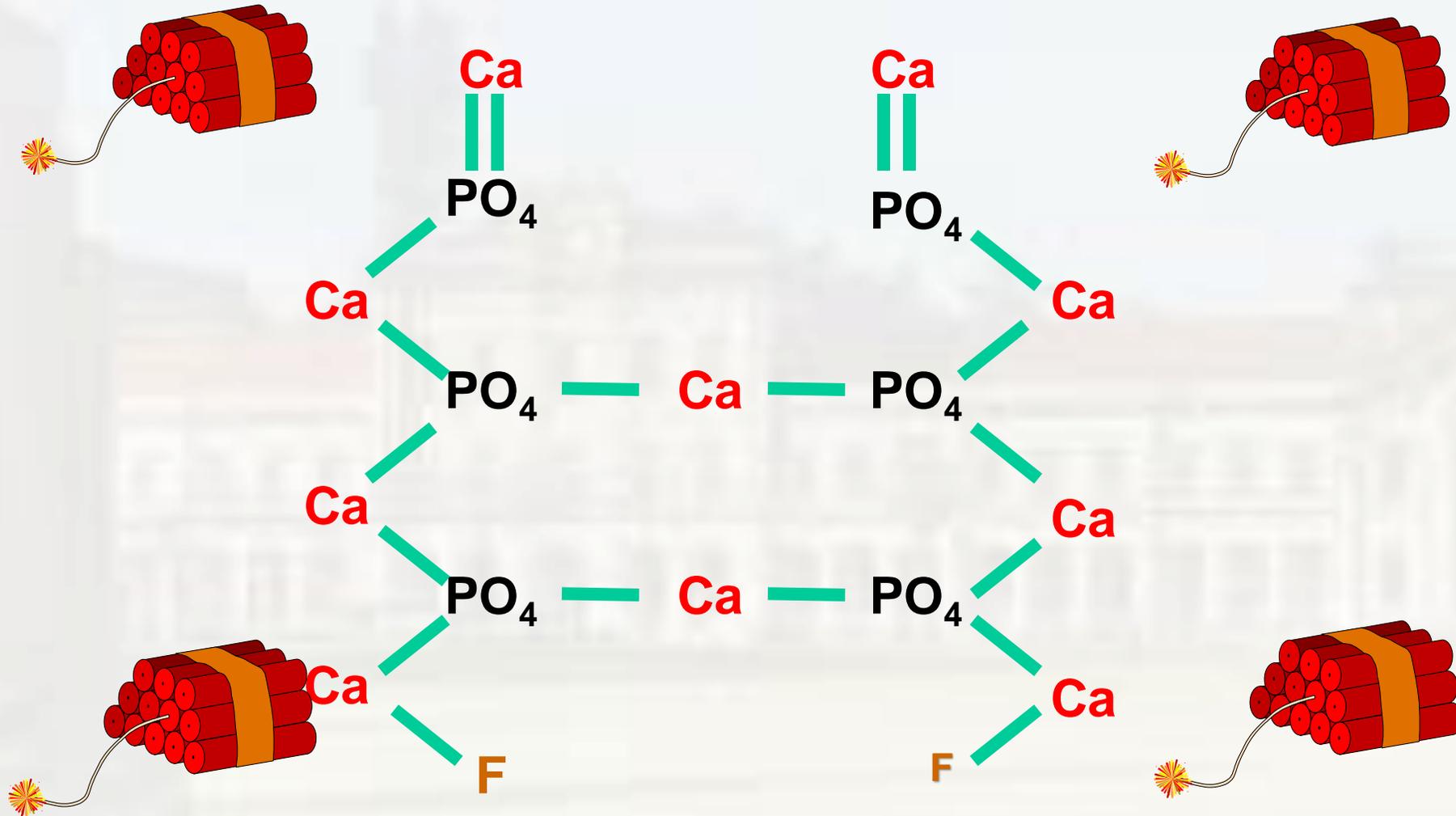
Fosfatos Naturais

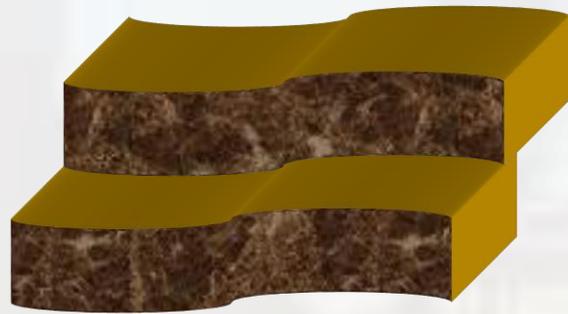
FOSFATOS ÍGNEOS: Apatita

FOSFATO DE ARAXÁ



APATITAS



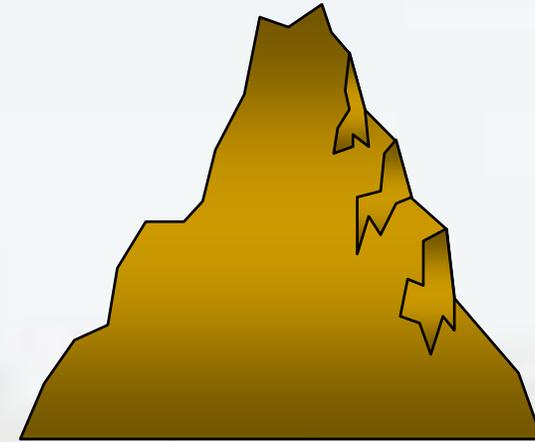


Rocha Fosfatada

Ígnea = Apatitas

- ✓ Minas profundas, rochas duras, baixa reatividade. Nacional

Mineração, britagem
Moagem, secagem



Fosfato Natural

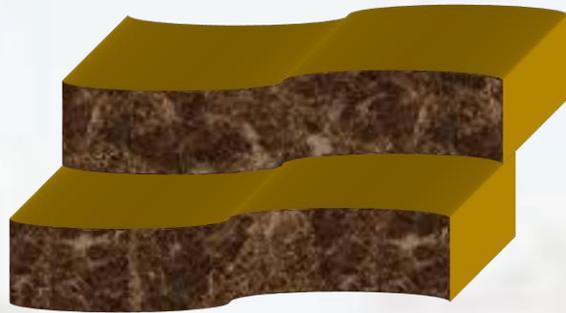
(uso in natura)

ou

Concentrado fosfático

(Fabricação de fertilizantes solúveis)

Rotas de produção de fertilizantes fosfatados



✓ **Rocha Fosfatada**

✓ **Ígnea = Apatitas**

- ✓ Minas profundas, rochas duras, baixa reatividade. Nacional

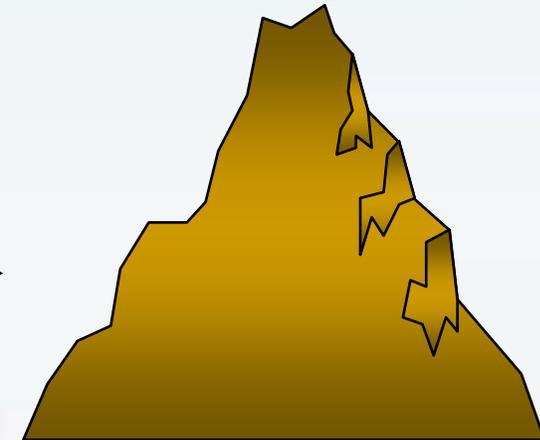
✓ **Metamórfica = Fosforitas**

- ✓ Minas superficiais, rochas moles, média reatividade. Nacional

✓ **Sedimentar = Fosforitas**

- ✓ Minas superficiais, litorâneas, rochas moles, alta reatividade. Importadas

Mineração, britagem
Moagem, secagem



Fosfato Natural

(uso in natura)

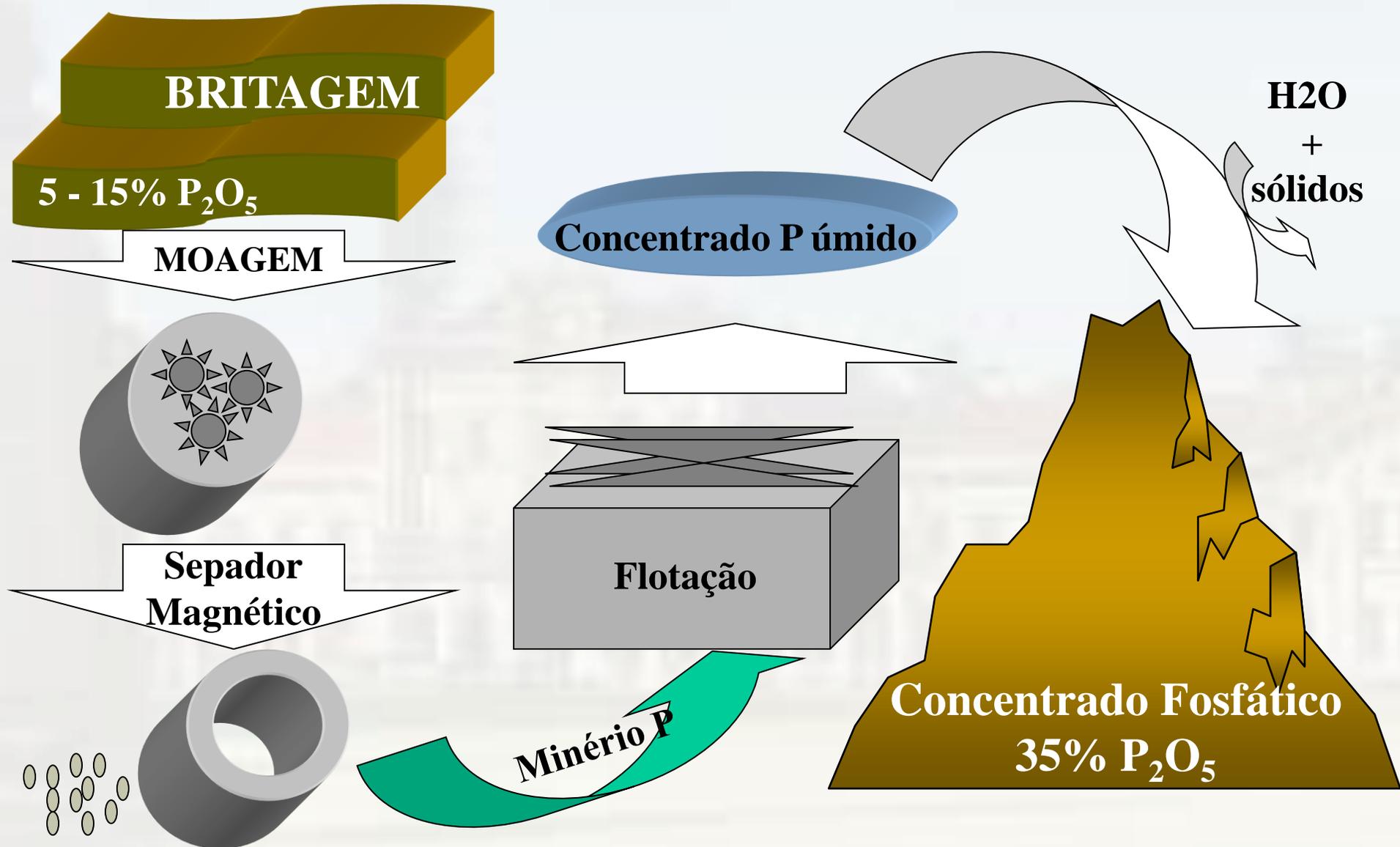
ou

Concentrado fosfático

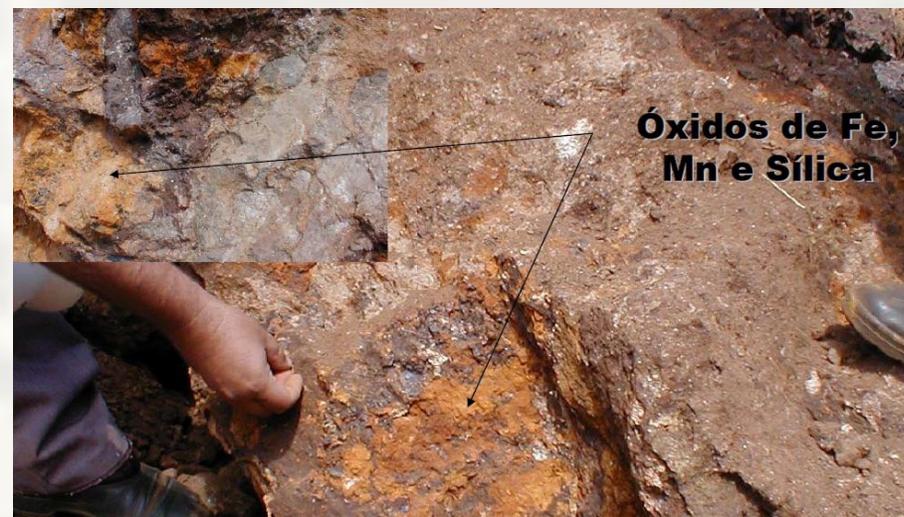
(Fabricação de fertilizantes solúveis)

Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção
Fosfato Natural	5% P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ total E no mínimo de 15% do teor total, solúvel em HCl 2%. Granulometria 85% passante peneira 0,075mm (ABNT nº 200)	Beneficiamento mecânico de fosfatos naturais mediante moagem fina

Concentrado Fosfático



Fosfatos Apatíticos Brasileiros



Fosfatos Apatíticos Brasileiros



Fosfatos Apatíticos Brasileiros



Amido



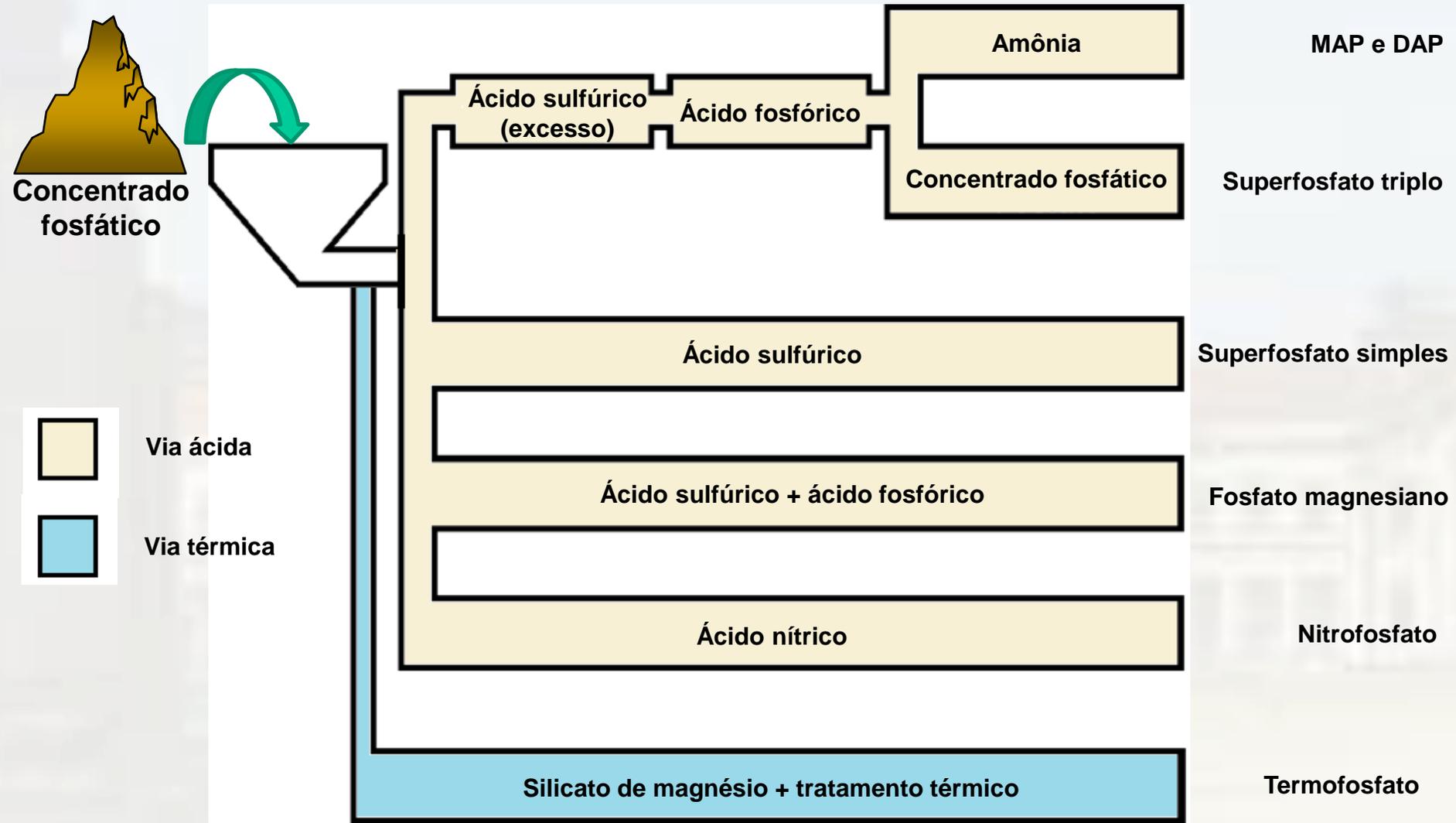
Soda

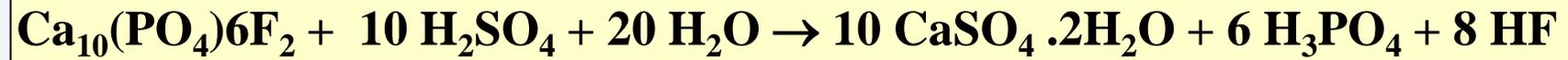
Flotação

Processo Simplificado de obtenção do Concentrado Fosfático



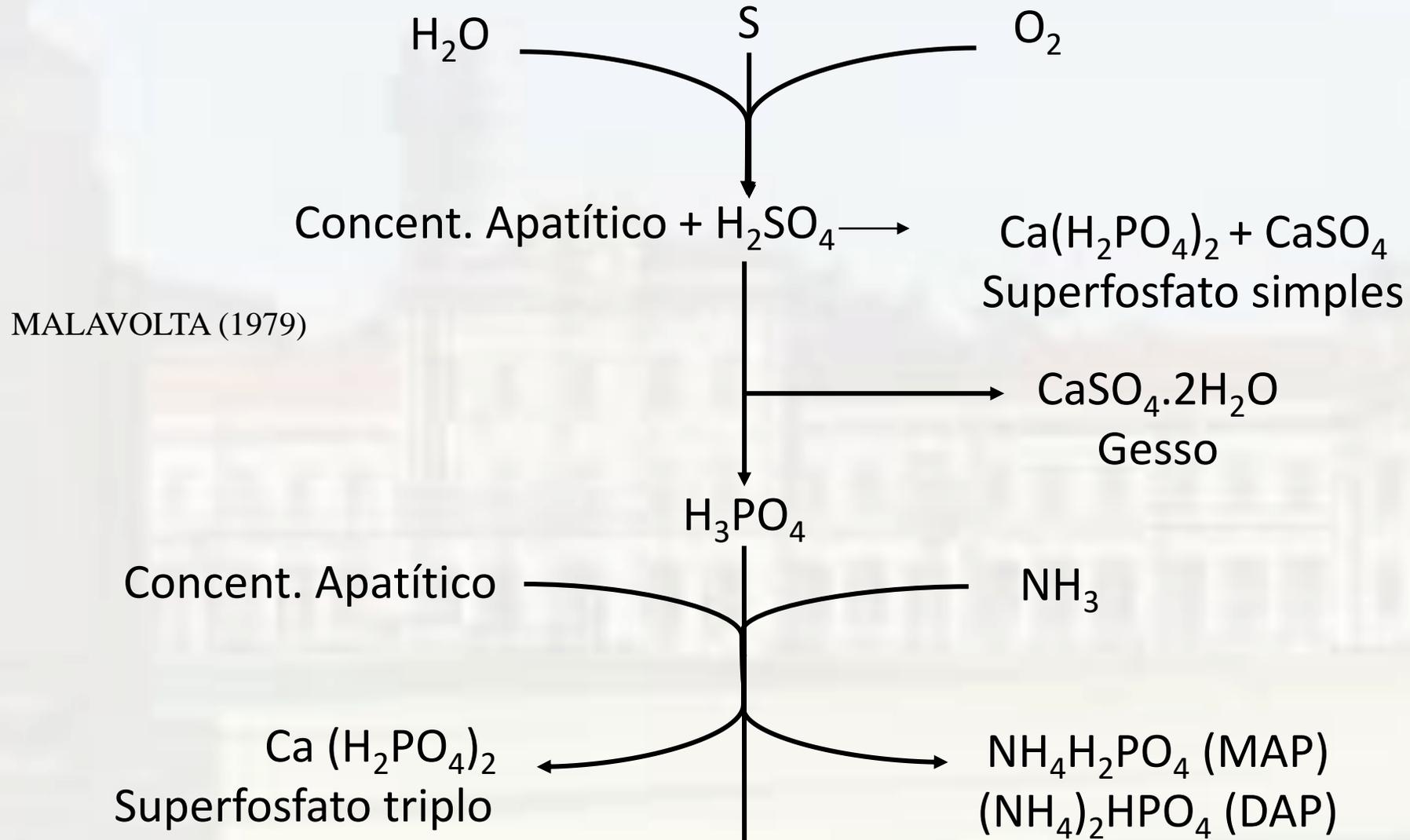
Rotas de Produção de Fertilizantes Fosfatados



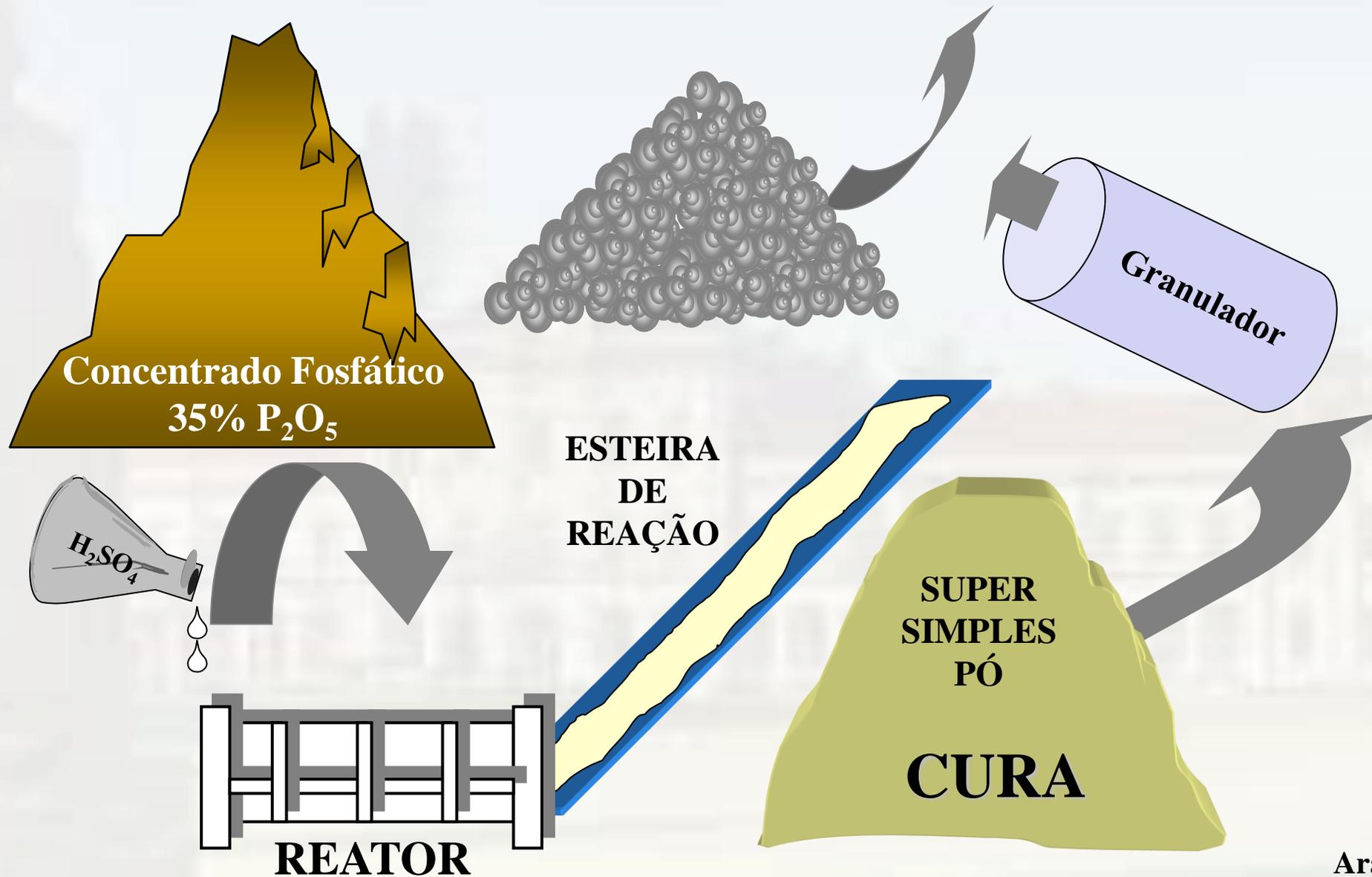


- Base da produção de superfosfato triplo, MAP e DAP
- Uso direto na adubação líquida, porém é uma prática não muito recomendada, devido a dificuldade e perigo no manuseio

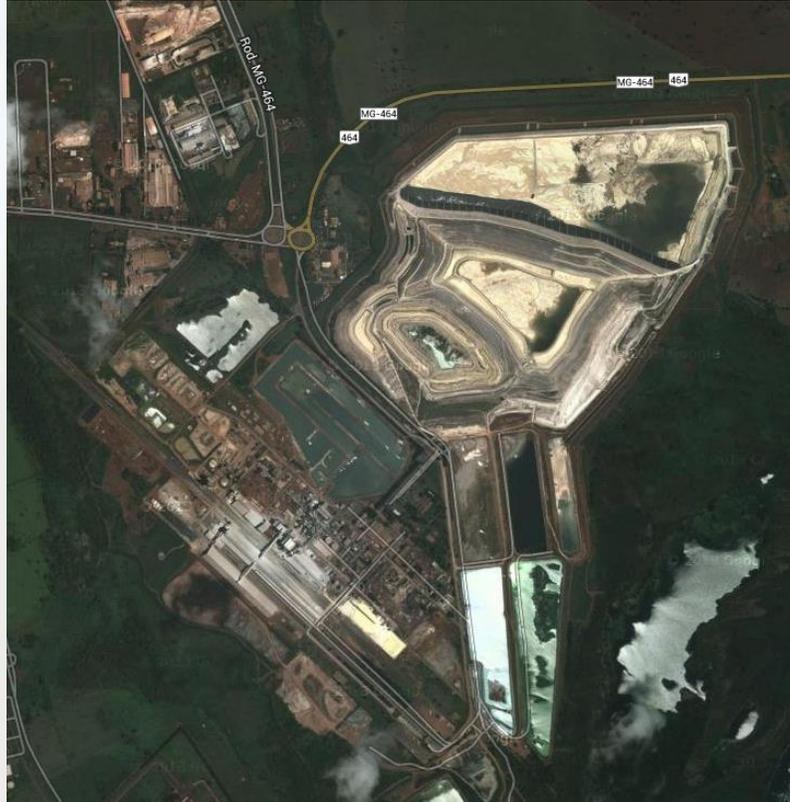
Via Ác. Sulfúrico



Superfosfato Simples



Gesso Agrícola



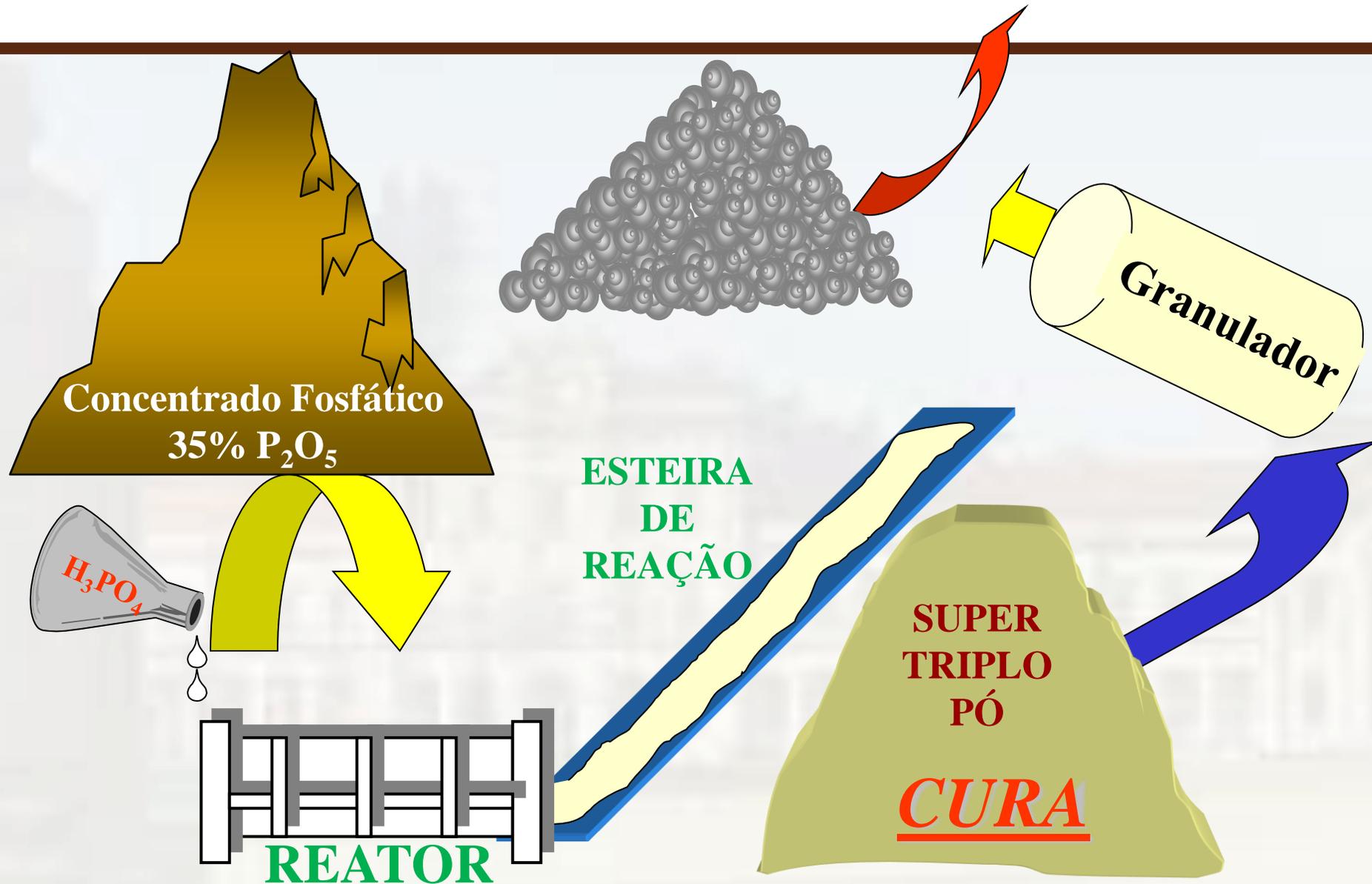
ATERO DE FOSFOGESSO A CEU ABERTO





- **Principal fertilizante fosfatado utilizado no Brasil.**
- **Forma pó ou na granulada (predominante)**
- **Alta solubilidade em água (maior que 80%)**
- **Concentração (18% de P_2O_5), gerando discussões sobre substituições por TSP ou MAP**
- **Fonte de S (12%) e Ca (19%)**
- **No processo granulação do superfosfato simples é comum a adição de uma quantidade de amônia no processo, com o objetivo de acelerar o processo de eliminação da acidez livre do produto, gerando o superfosfato simples amoniado (2-19-00, 2-17-00)**

Superfosfato Triplo

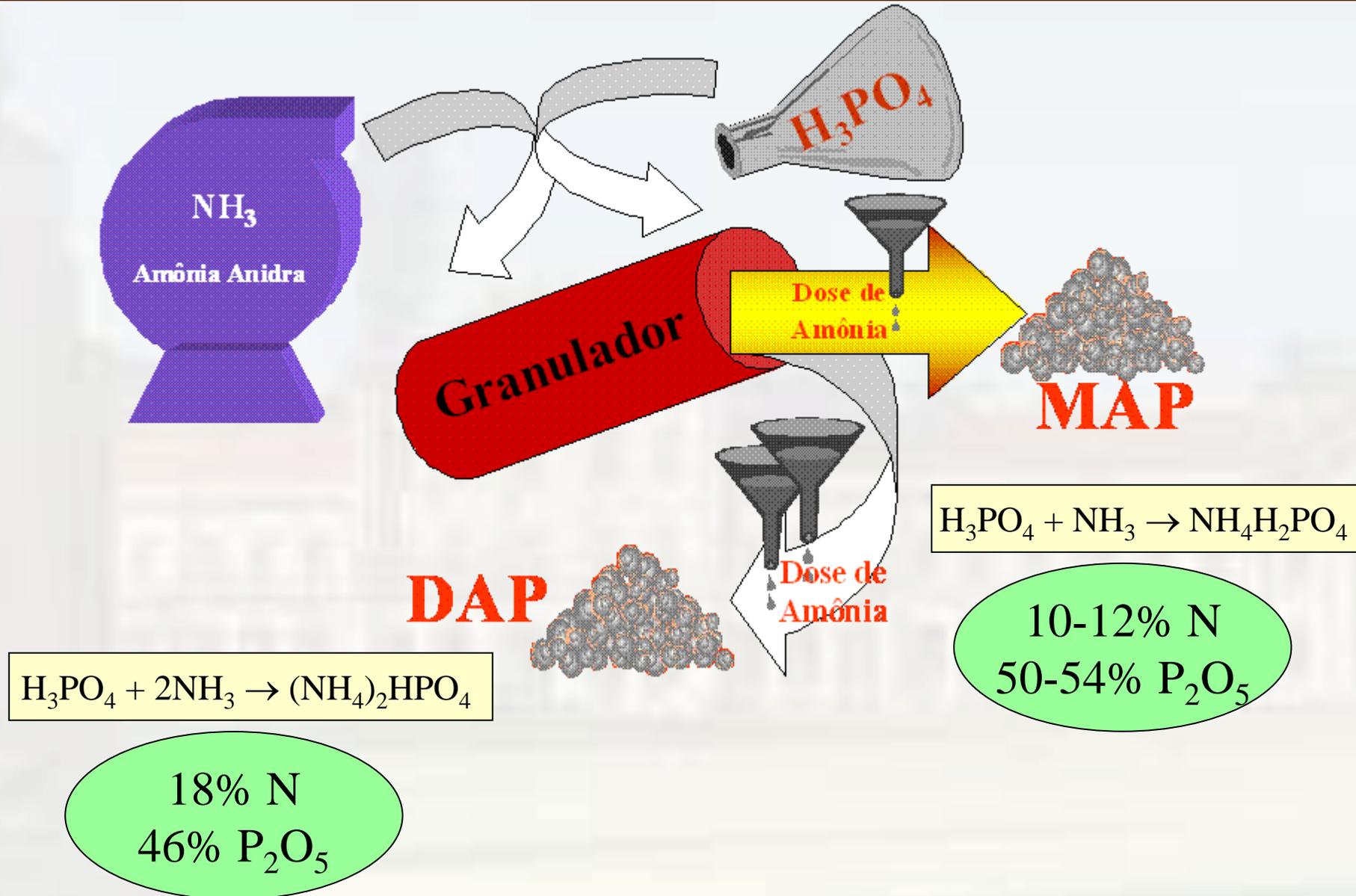


Superfosfato Triplo



- Forma pó ou na granulada (predominante)
- Boa solubilidade em água (maior que 85%)
- Alta concentração (45-46% de P_2O_5)
- Fonte de Ca (13%)

Fosfatos de Amônio (MAP e DAP):



Fosfatos de Amônio (MAP e DAP):

- * Alta concentração N e P_2O_5
- * Propriedades físicas e químicas satisfatórias
- * Não possuem Cálcio e Enxofre;
- * Aumenta Pressão Osmótica do solo

Fertilizante	Garantias	Características
Solução de Ac. Fosfórico	40% P_2O_5	Fósforo solúvel em água (H_3PO_4)
Superfosfato Simples (SPS)	18% P_2O_5	Fósforo determinado como P_2O_5 solúvel em CNA mais água e mínimo de 15% em água.
Superfosfato Triplo (SPT)	41% P_2O_5	Fósforo determinado como P_2O_5 solúvel em CNA mais água e mínimo de 36% em água.
Fosfato Monoamônico (MAP)	48% P_2O_5	Fósforo determinado em P_2O_5 solúvel em CNA mais água e mínimo de 44% solúvel em água.
Fosfato Diamônico (DAP)	45% P_2O_5	Fósforo determinado em P_2O_5 solúvel em CNA mais água e mínimo de 38% solúvel em água.



Insolúvel em água
Alta Eficiência

Rotas não convencionais

Termofosfato magnesiano

700 kg Rocha - P Araxá (32% de P_2O_5)

350 kg Escória níquel (32% MgO)

50 kg Perda ao fogo



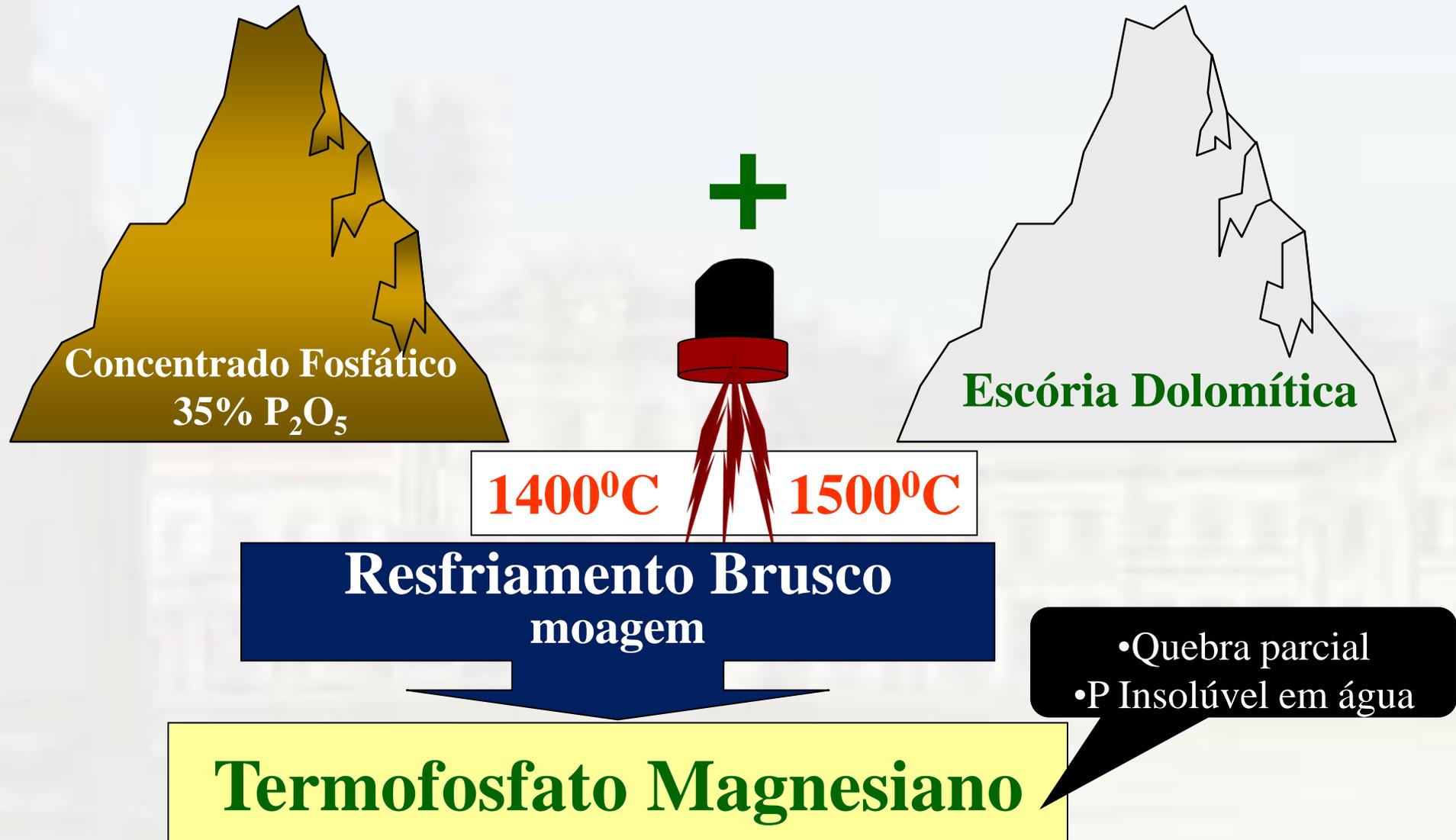
1500°C

1000 Kw h/t

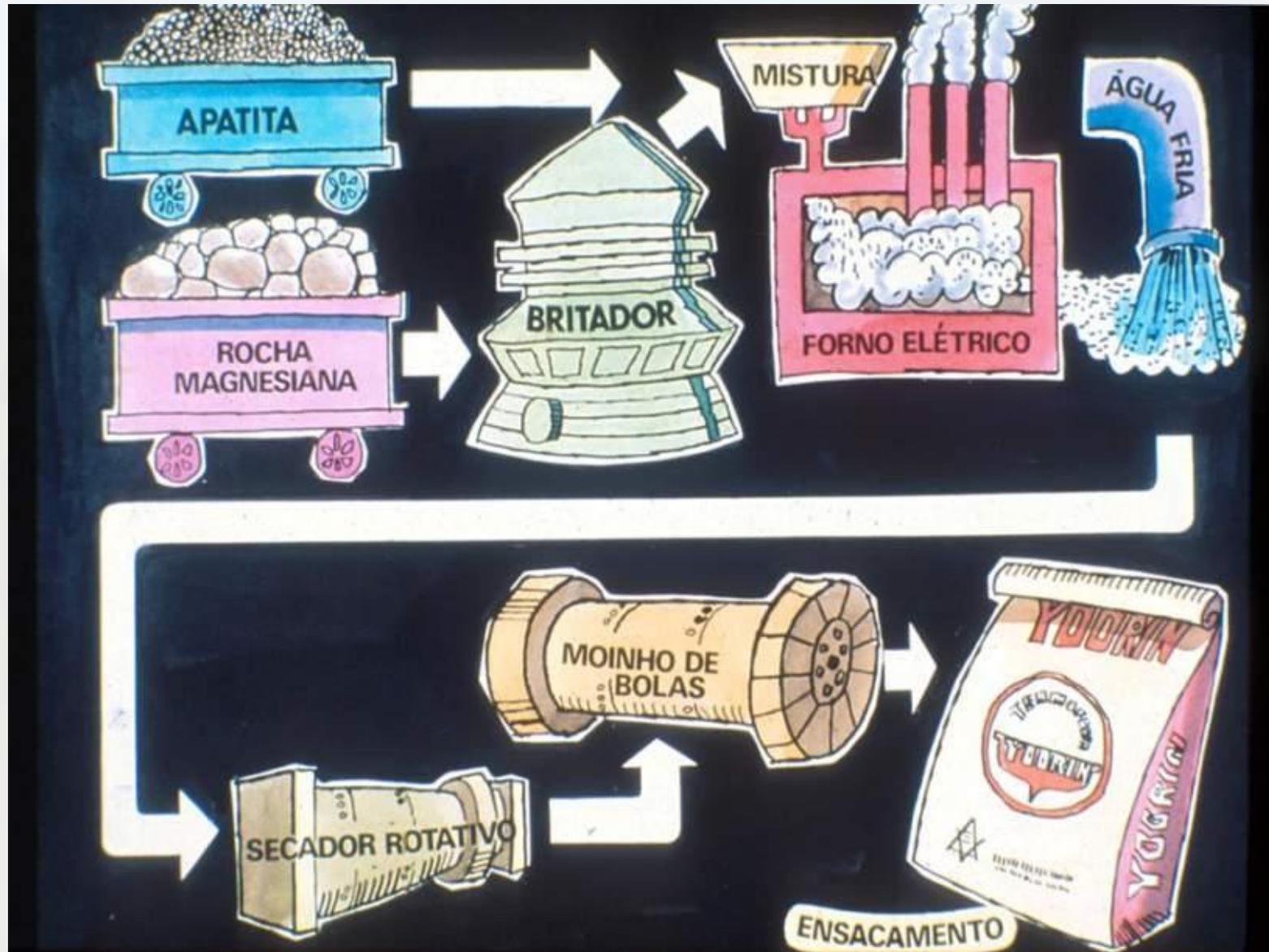
Termofosfato Magnesiano

	P_2O_5	Ca	Mg	SiO_2
Total	HCl		%	
19	16	20	9	25

Solubilização Térmica



Solubilização Térmica



Fertilizantes	Garantias mínimas	Características	Obtenção
Termofosfato Magnésiano	17% P ₂ O ₅ 4% Mg 16% Ca 8% Si	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ total e mínimo de 11% do teor total solúvel em Ácido Cítrico a 2% na relação 1:100. Granulometria: partículas deverão passar 75% na peneira de 0,15mm (ABNT nº 100)	<ul style="list-style-type: none">• Tratamento térmico da rocha fosfática, concentrado apatítico ou outras fontes de fósforo com adição de compostos magnesianos e silícicos.• Apresenta também característica de corretivos de acidez.

Comparação via térmica e úmida Termofosfato x Super Simples

Via térmica	Via úmida
Tolera o uso de matérias primas menos puras e mais disponíveis	Há pouca tolerância em relação a impurezas
Tecnologicamente sofisticada, quanto à operação de fusão	Processo basicamente simples no caso do SPS
Independente de matéria primas importadas	Dependente do Enxofre, que é importado
Alto consumo energético, produção sensível ao custo e disponibilidade de energia elétrica	Altamente sensível ao custo das matérias primas
Alto investimento	SPS requer investimento relativamente menor
Produto interessante do ponto de vista agrônômico (alcalino, liberação lenta)	Produto altamente solúvel, podendo ocorrer perdas de nutriente
Em alguns casos, há incompatibilidade na produção de grãos NPK	Produto normalmente aplicado na forma granulada NPK
O produto contém, além de fósforo outros macronutrientes como cálcio e magnésio	O SPS contém além de Fósforo, Cálcio e Enxofre como macronutrientes

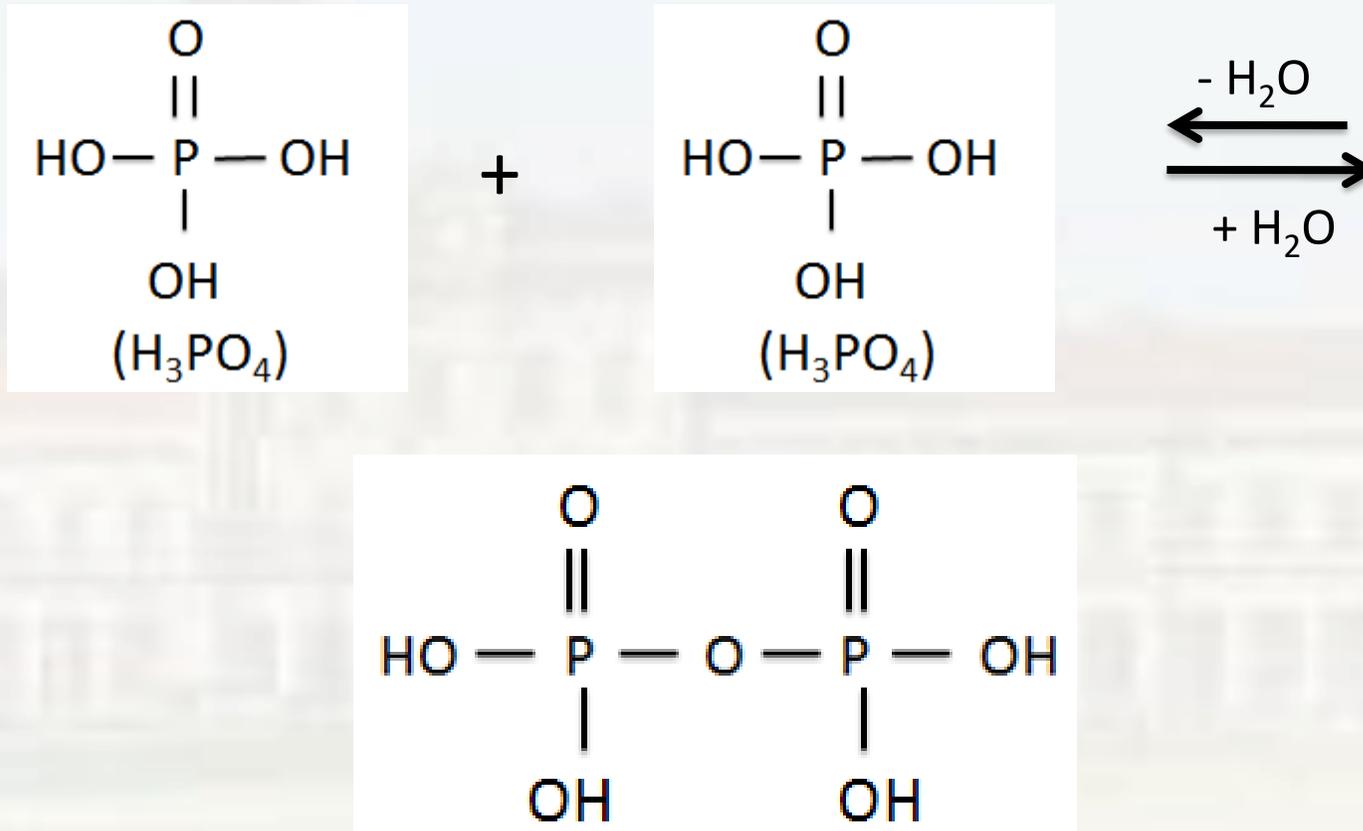
Ácido nítrico → **Nitrofosfato**

- Solubilização do Concentrado Apatítico e Formação de Nitrato de Cálcio



Fertilizantes	Garantias mínimas	Características	Obtenção
Nitrofosfato	18% P ₂ O ₅ 14% N 6% Ca	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ solúvel em CNA + H ₂ O; mínimo de 14% de P ₂ O ₅ solúvel em H ₂ O, N na forma nítrica cálcio total	Reação entre rocha fosfatada moída com o Ac. Nítrico, ou misturas de ácidos.

POLIFOSFATO (P – P)



Ortofosfatos

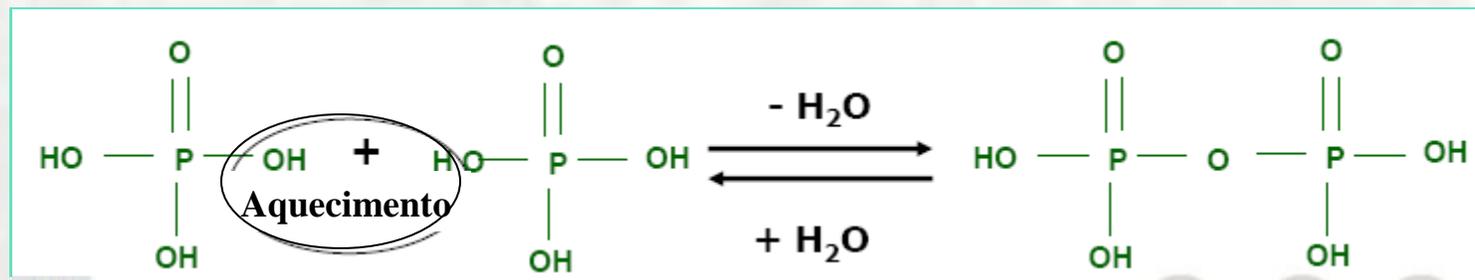
- ✓ Fosfato mono-calcio
- ✓ Fosfato mono-amônio
- ✓ Fosfato di-amônio
- ✓ Fosfato di-calcio

P – Solúvel em água

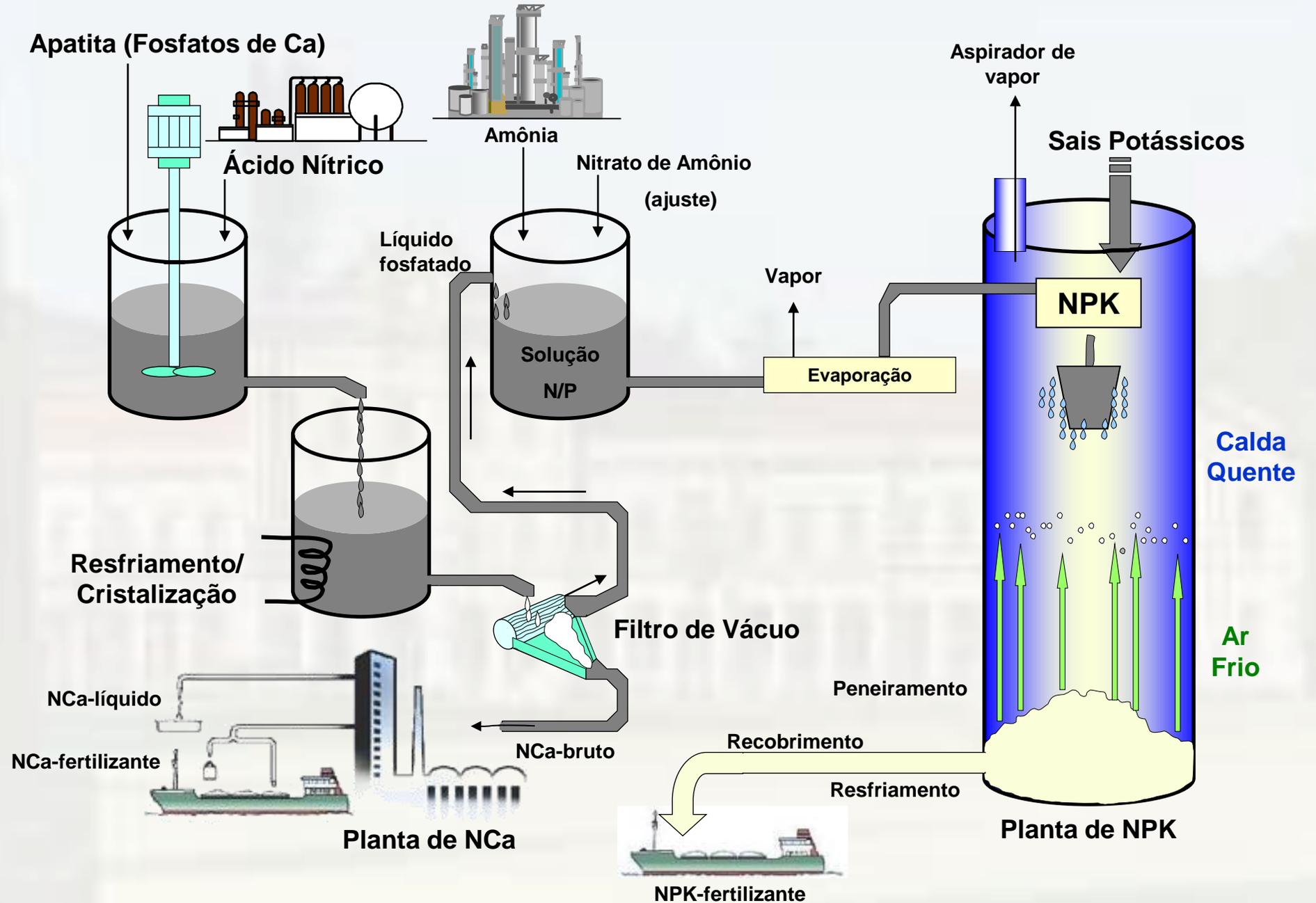
- (MCP) $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ +
- (MAP) $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ +
- (DAP) $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ +
- (DCP) CaHPO_4 -

Polifosfatos

- ✓ Polifosfatos são oriundos do aquecimento de ortofosfatos
- ✓ A água é dividida na da ligação de íons orto em cadeias de vários tamanhos, este processo é usado para a produção de grânulos NPK tipo “prills” (complexo).



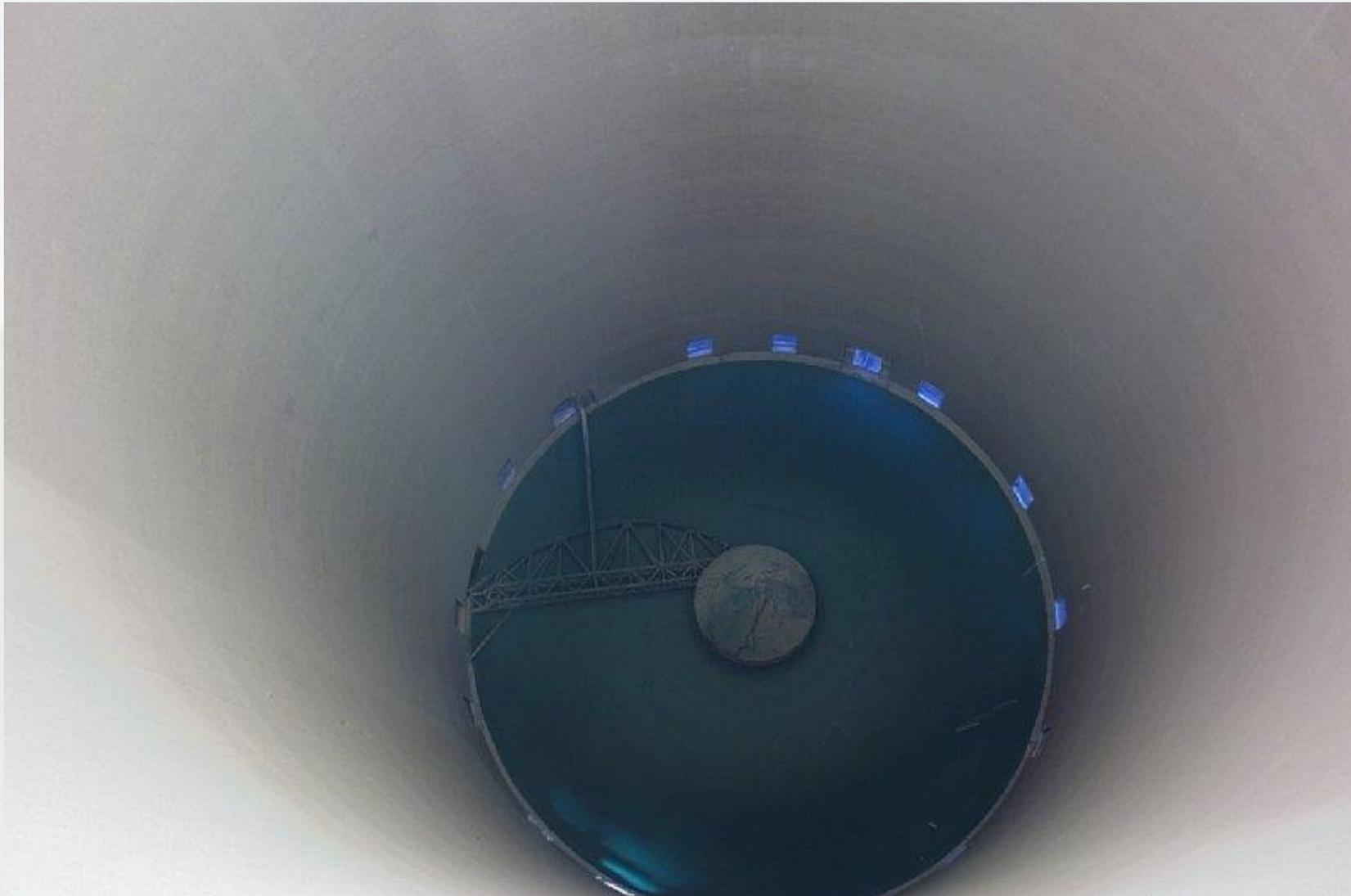
Obtenção do YaraMila (processo Yara)



Detalhe da unidade de perolação (prilling tower)



Detalhe da unidade de perolação (prilling tower)



Detalhe da unidade de perolação (prilling tower)



II - Fosforita do Brasil

Origem **metamórfica**, amorfo, forma mais “mole”

Principais jazidas:	P ₂ O ₅	
	Total	Solúvel HCl
	%	
Registro/SP (Nutrivale);	23	7
Registro/SP (Hinove);	29,5	14,2
Arrais/TO (PTEC)	16	8
Pratápolis/MG (Morro Verde);	15	6
Bonito/MS (EDEM);	15,2	7,4

Fosforita de Registro/SP



Pratápolis - MG



Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção
Fosfato Natural Reativo	12% P ₂ O ₅ 10% Ca	P ₂ O ₅ total E no mínimo de 30% do teor total, solúvel em HCl 2%. Granulometria 100% passante peneira 4,8 mm (ABNT nº 4), mínimo 80% 2,8 mm (ABNT nº 7).	Extração e moagem da fosforita metamórfica.

BAUXITA FOSFOROSA

Ilhas Trauíra e Piracaua - Maranhão

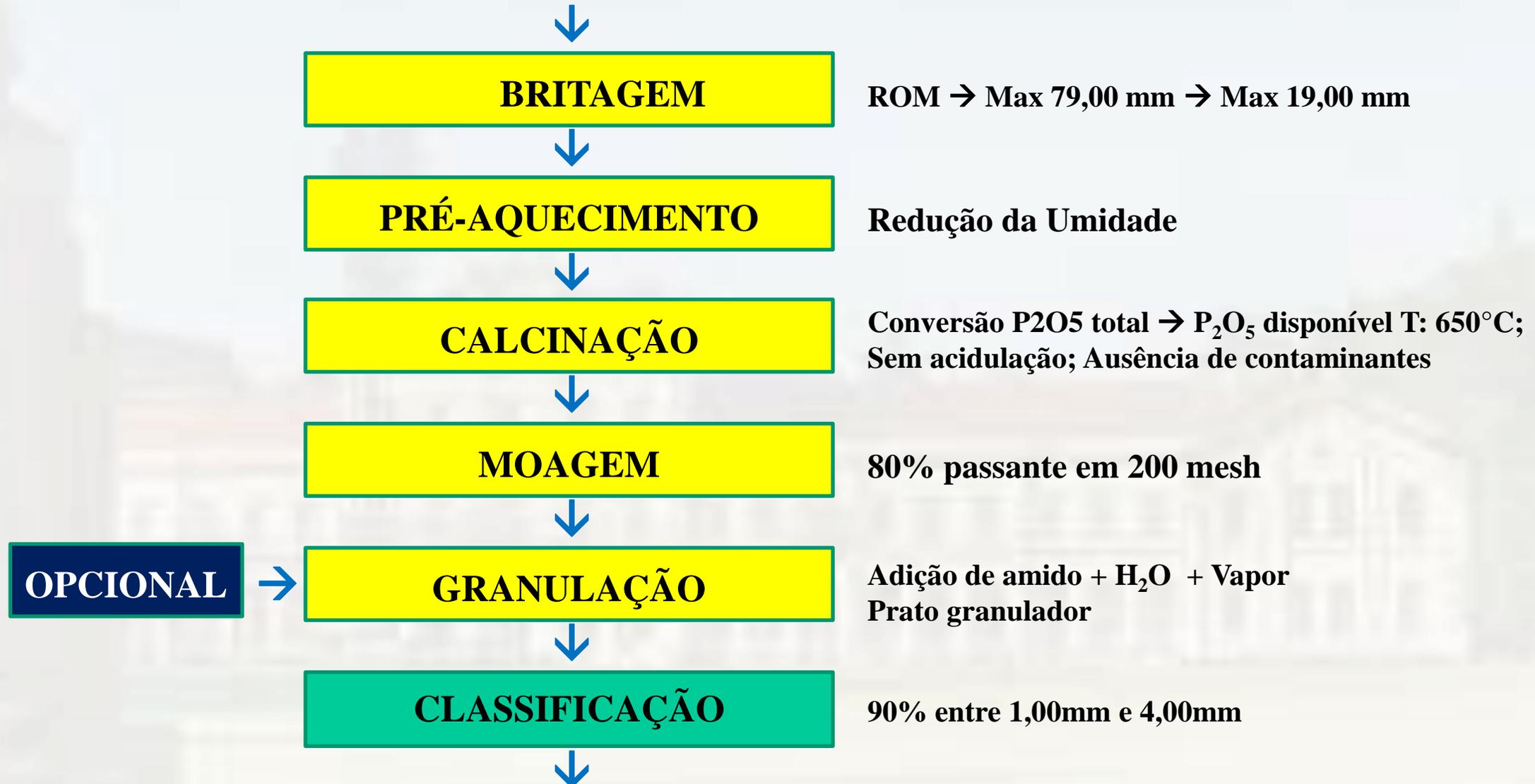
PHOSPAL (Taíba) – Senegal

Phosfaz: Bonito-Pará

CRANDALITA - $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot (\text{H}_2\text{O})$



CRANDALITA



P_2O_5 Total: 23%; P_2O_5 CNA+ H_2O : 20%; Acidez: 0%.

Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção
Fosfato Calcinado	18% P_2O_5	P_2O_5 total E no mínimo de 14% do teor total, solúvel em CNA + água.	Calcinação da rocha fosfática em temperaturas superiores a 650° C e inferiores a 1000° C

IV - Fosfatos Parcialmente Acidulados

Produto	Empresa	P ₂ O ₅		Ca	Mg	S
		Total	CNA+ água	%		
		%				
HiPhós 20	HINOVE	20	19	14	2	3
HiPhós 21	HINOVE	21	20	14	2	5
HiPhós 28	HINOVE	28	16	14	1	6

Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção
Fosfato Natural Parcialmente Acidulado	20% P ₂ O ₅ 16% Ca	P ₂ O ₅ total P ₂ O ₅ CNA + H ₂ O (mínimo 9%) P ₂ O ₅ H ₂ O (mínimo 5%)	Acidulação parcial do fosfato natural com ácido sulfúrico, clorídrico ou fosfórico.

V - Fosfato Precipitado

Produto	Empresa	P ₂ O ₅		Origem
		Total %	CNA + água	
Agrofós	Agronelli	14	9	Uberaba - MG
Superfós	Consube	14	9	Uberaba - MG
Supraphós	Nutrion	14	9	Catalão - GO

Legislação

Fertilizantes	Garantias mínimas	Características	Obtenção
Fosfato precipitado	7 % P ₂ O ₅ 12% Ca	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ total e mínimo de 3% do teor total solúvel em CNA+H ₂ O.	Resultante do tratamento de efluentes da solubilização de rochas fosfáticas

Origem sedimentar (animais marinhos)

Norte da África:

GAFSA, DAOUI, ARGÉLIA, MARROCOS

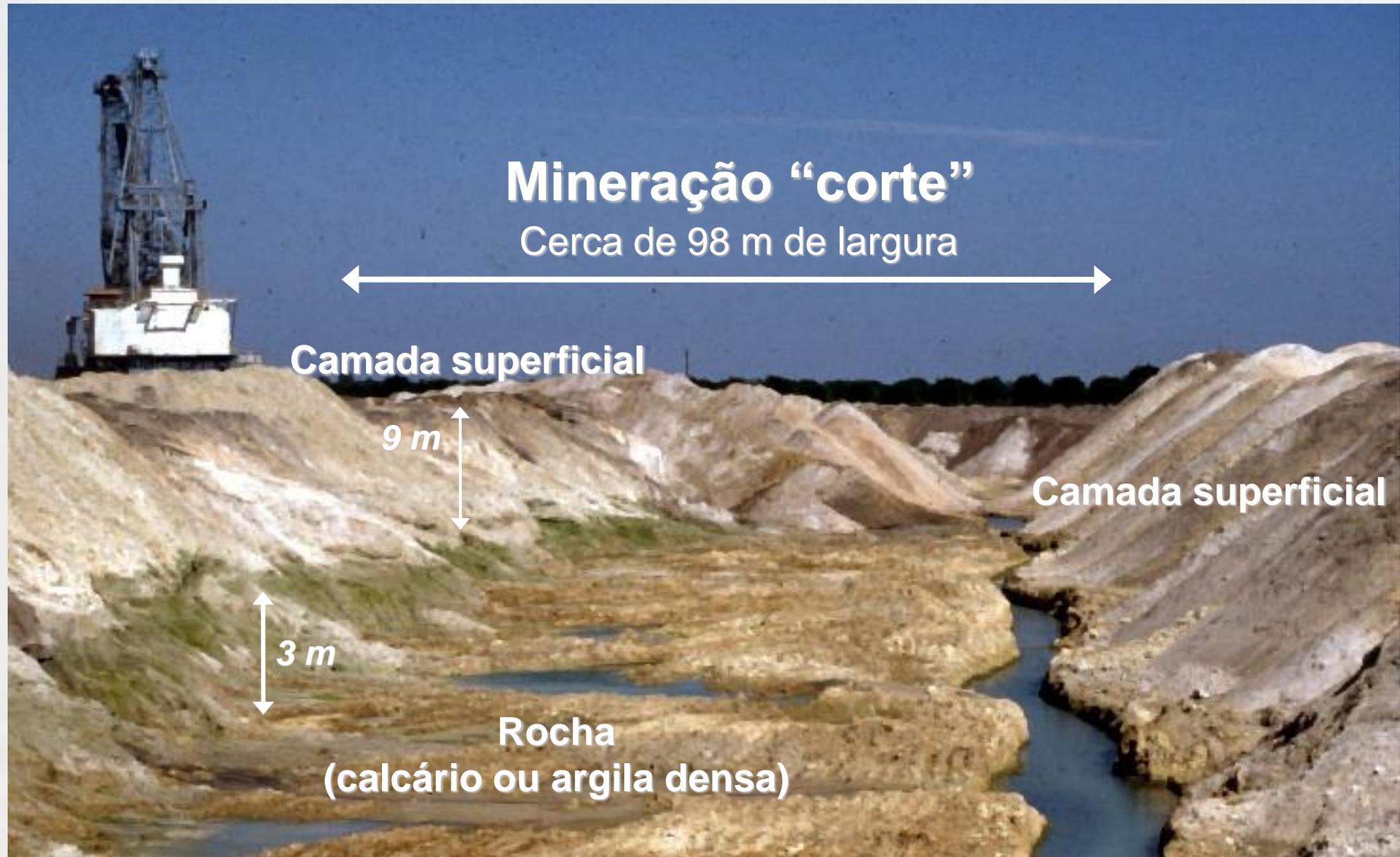
Israel: ARAD

USA: Carolina do Norte

Peru: Bayóvar

Marrocos: OCP

Egito: FNE



GAFSA - Tunísia



Bayovar – Peru → 14 % P_2O_5 HCl



LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE FERTILIZANTES

- Mínimo de 27% de P_2O_5 total e 28% de Ca
- Mínimo de 30% do P_2O_5 total solúvel em ácido cítrico a 2% (1:100) –
min. 8,1% de P_2O_5 em ac. cítrico
- **Optativo** - Mínimo de 55% do P_2O_5 total solúvel em ácido fórmico a
2% (1:100) - min. 14,8% de P_2O_5 em ac. fórmico



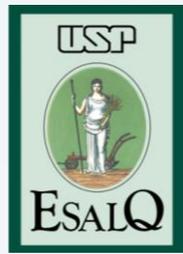
FNR Bayovar – 30% P_2O_5 total; 15,5% P_2O_5 HCl; 22,2% P_2O_5 ácido fórmico; 34% Ca

Jazida de ARAD - Deserto de Negev Israel



OCP - Marrocos





OCP - Marrocos



Fosfato Natural do Egito



Característica química de alguns fosfatos naturais reativos comercializados no Brasil, determinados em amostras moídas para análise química (100% < 0,063 mm)

Fosfato Natural	P ₂ O ₅ Solubilidade Relativa (%)		
	Total	P ₂ O ₅ Ac. Cítrico	P ₂ O ₅ Ac. Fórmico
Arad	33	35 (11,5)	58
Djebel Onk (Argélia)	29	38 (10,0)	68
Daoui (Khouribga/Marrocos)	32	31 (10,0)	59
Gafsa (Tunísia)	29	41 (11,9)	72
Bayóvar (Peru)	29	48 (14,0)	72

Fonte: D.M.G de Souza et all (1999) – EMBRAPA Cerrados

Cor vermelha = % P₂O₅ HCl 2%

FNR ↑ eficiência agronômica

Fosfatos de origem ígnea ↓ eficiência agronômica

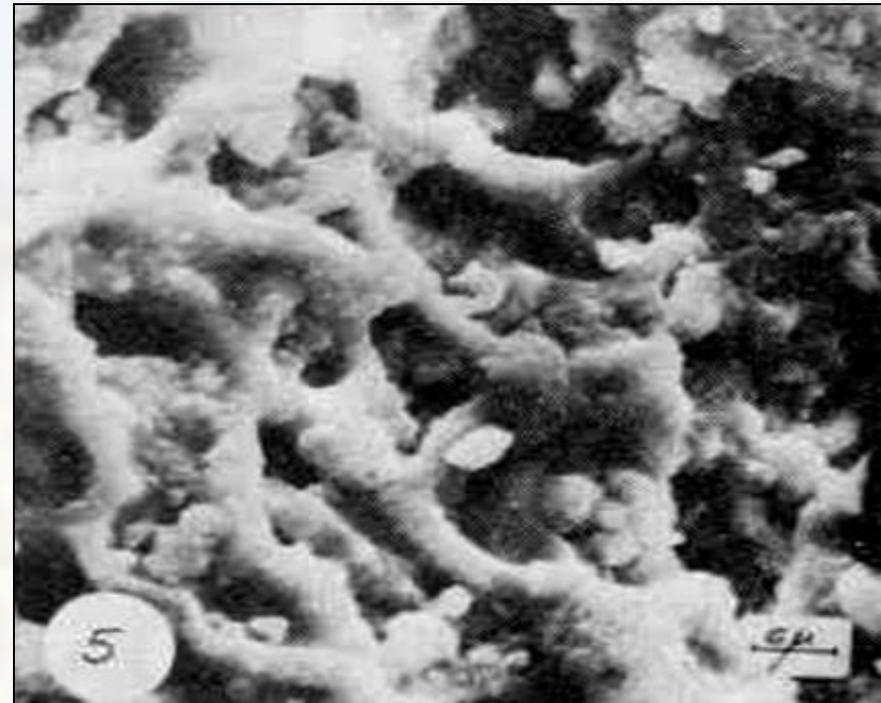
Origem SEDIMENTAR (ex.: FNR Bayovar)	Origem ígnea
Formação de fósseis animais	Formação vulcânica
Alta porosidade	Baixa porosidade
Alto grau de substituições isomórficas	Baixo grau de substituições isomórficas
Alta solubilidade no extrator	Baixa solubilidade no extrator
ELEVADA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA	BAIXA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA

FOSFATOS SEDIMENTARES x FOSFATOS ÍGNEOS

FOSFATO DE ARAXÁ



FOSFATO REATIVO

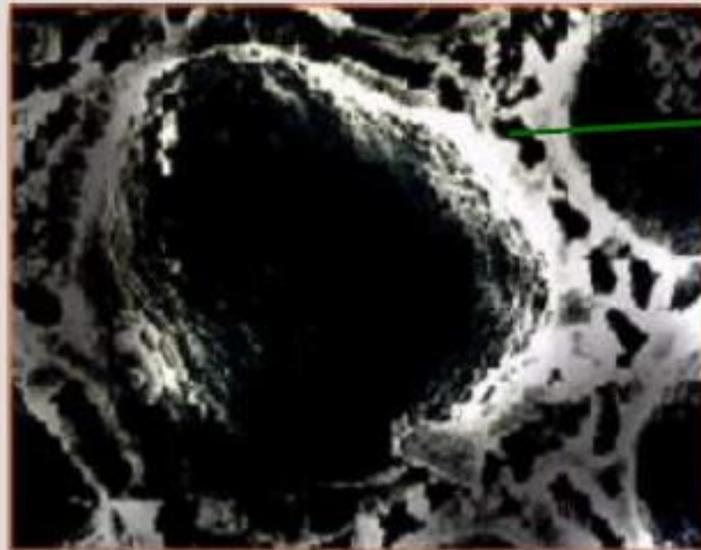


Fertilizantes Fosfatados

Origem Geológica

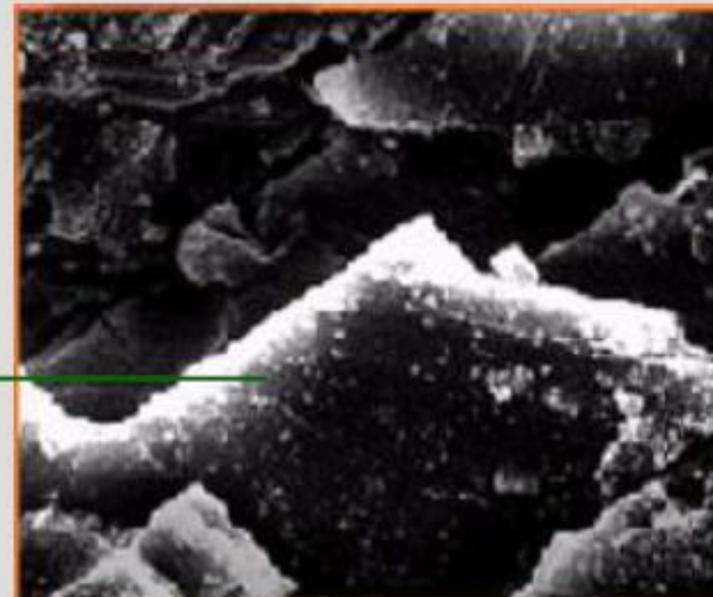
Superfície Específica

ORIGEM SEDIMENTAR



75 m² g⁻¹

ORIGEM ÍGNEA



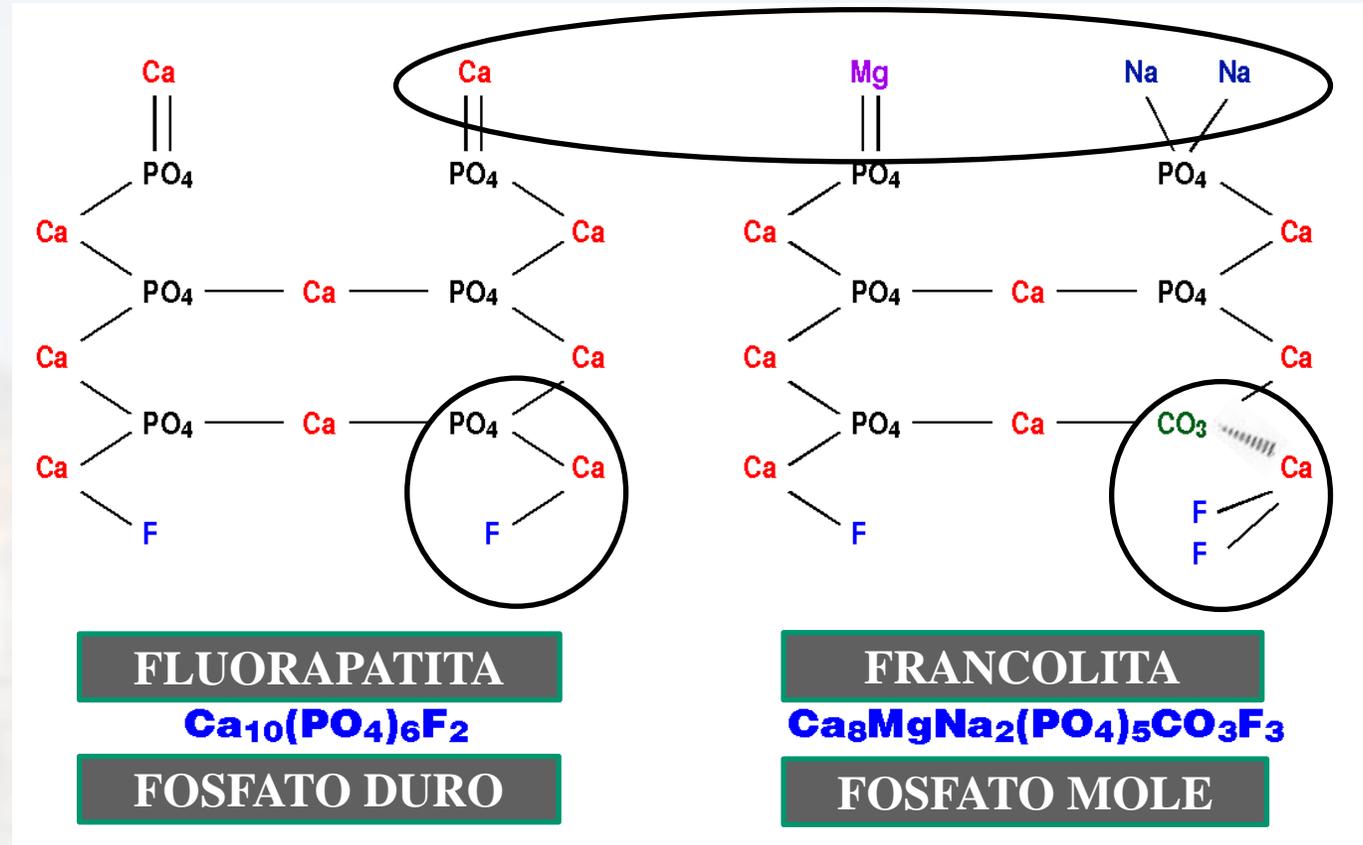
9,4 m² g⁻¹

SUBSTITUIÇÕES ISOMÓRFICAS

IGNEA

X

SEDIMENTAR



As substituições isomórficas criam **fortes instabilidades** ao cristal do fosfato, resultando em **alta solubilidade no Solo**.

Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção
Fosfato Natural Reativo	12% P ₂ O ₅ 10% Ca	P ₂ O ₅ total E no mínimo de 30% do teor total, solúvel em HCl 2%. Granulometria 100% passante peneira 4,8 mm (ABNT nº 4), mínimo 80% 2,8 mm (ABNT nº 7).	Extração e moagem da fosforita sedimentar e beneficiamento por processo de homegeinização hidropneumática ou flotação

OBS: Poderá ser declarado o teor de P₂O₅ solúvel em ácido fórmico a 2% em relação 1:100, quando este for no mínimo 55% do P₂O₅ total

$$IEA = \frac{P_{\text{Retirado Trat.}} - P_{\text{Testemunha}}}{P_{\text{Retirado SPT}} - P_{\text{Testemunha}}} \times 100$$

$$Eq.SPT = \frac{\text{Doses SPT}}{\text{Doses Fonte}} \times 100$$

Fontes	Eq. SPT (%)
Termomagnésiano	100-103
Fosfato Reativo importado	90
Patos	45
Araxá	33
Catalão	15

Tabela. Índice de Eficiência Agronômica (IEA) de diversas fontes de fósforo, na dose de 400kg/ha de P₂O₅ total, durante quatro ciclos de produção de soja

Fontes de P	Ciclos de produção				Produção
	1º ⁽¹⁾	2º	3º	4º	
Araxá	17	14	21	0 ⁽²⁾	14
Patos de Minas	8	30	22	0	15
Catalão	28	0	8	0	9
Term Exp. IPT	57	83	54	26	55
Term. Sílico magnésiano	78	132	139	119	117
Gafsa	70	126	152	97	111
Fospal	124	92	75	38	82
Maranhão	102	87	99	79	92
Superfosfato triplo	100	100	100	100	100

⁽¹⁾Valores afetados por deficiência hídrica

⁽²⁾Valores iguais ou menores que 0

Fonte: Braga et al., 1991

Produção de soja em resposta a diferentes fosfatos, na presença e ausência de calcário, em solos ácidos do Rio Grande do Sul. Médias de quatro anos de produção, em três solos e em três locais.

Fosfato	Adubação localizada		Adubação corretiva ⁽¹⁾	
	Sem calcário	Com calcário	Sem calcário	Com calcário
Superfosfato Triplo	1.673	2.110	1.745	2.037
Gafsa	1.740	2.147	1.703	2.387
Marrocos	1.647	1.983	1.643	2.020
Jacupiranga	1.610	2.903	1.627	1.970
Araxá	1.590	2.090	1.600	1.957
Testemunha	983	1.119	983	1.119

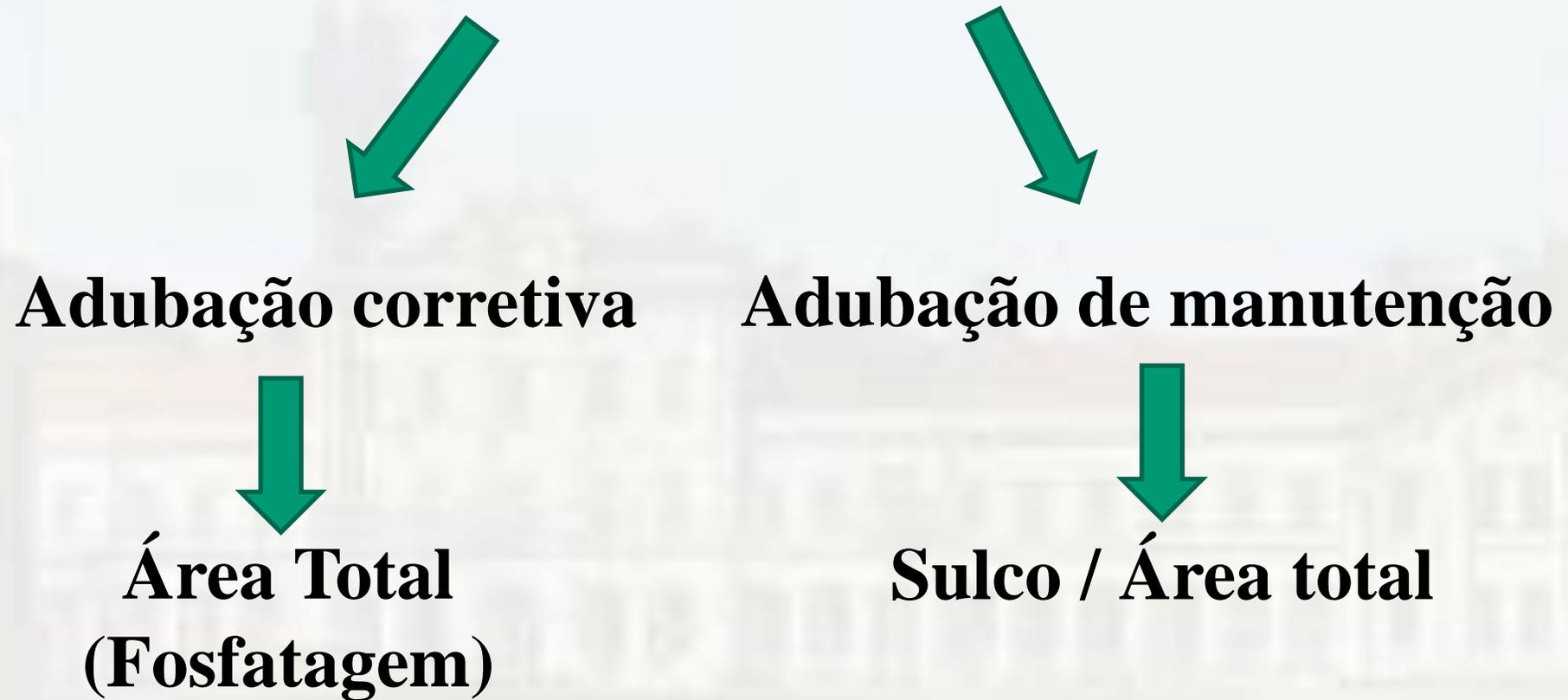
Fonte: Goepert et al. (1976), citados por Raij et al. (1981)

⁽¹⁾: Aplicação a lanço, com incorporação

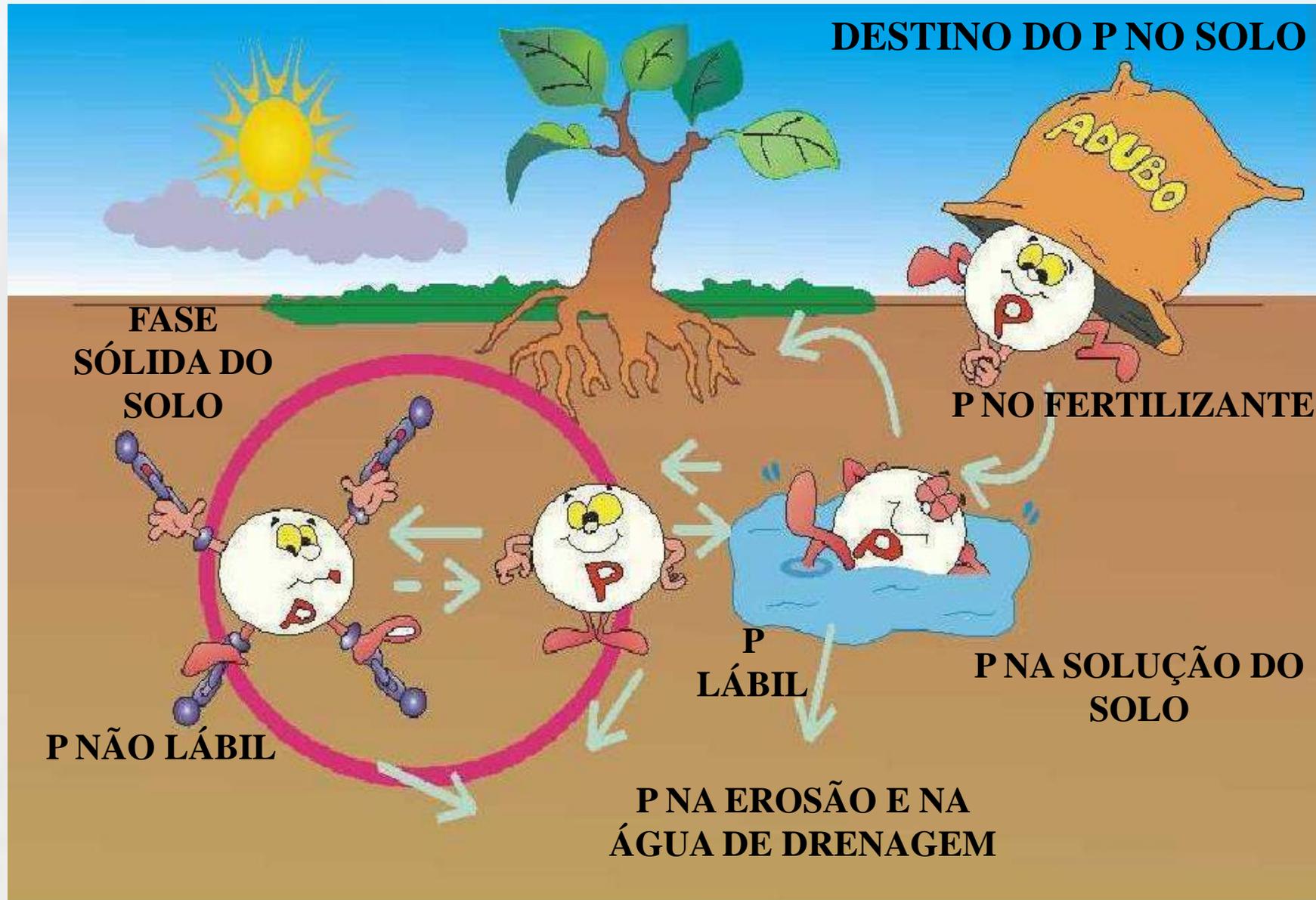
Legislação

Fertilizantes	Garantias mínimas	Características	Obtenção
Farinha de osso calcinado	18% P ₂ O ₅ 15% Ca	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ total e mínimo de 16% do teor total solúvel em Ácido Cítrico a 2% na relação 1:100.	Calcinação e moagem de ossos de bovinos.
Farinha de osso autoclavado	9% P ₂ O ₅ 1% N 14% Ca 3% C orgânico	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ total e mínimo de 8% do teor total solúvel em Ácido Cítrico a 2% na relação 1:100. Nitrogênio total.	Autoclavagem de ossos bovinos processados por ação de vapor saturado direto, a mais de 141°C, sob pressão superior a 7 bar por no mínimo 3 horas.

Modalidades de adubação fosfatada

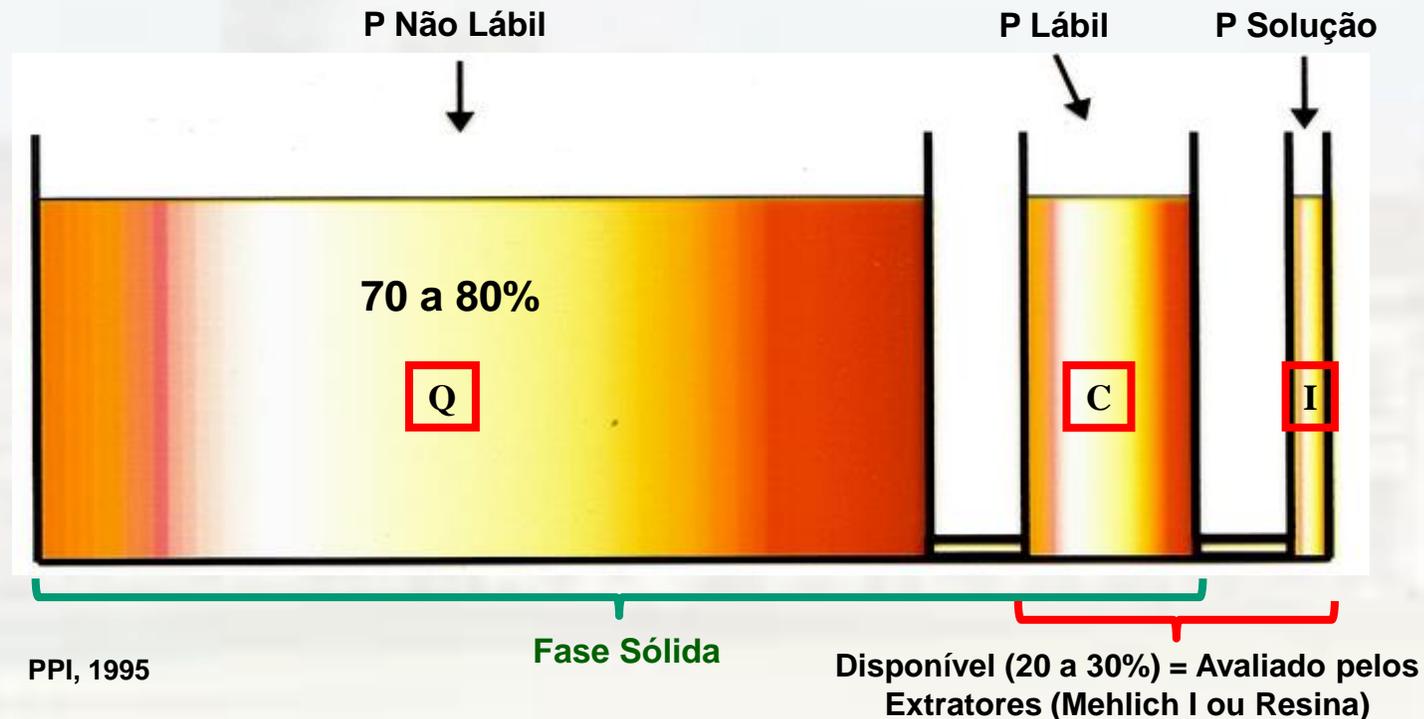


FOSFATAGEM



Fósforo Disponível nos Solos

Grande parte do fósforo do solo não está disponível para ser absorvido pelas plantas. Por isso é muito importante a escolha de extratores que simulem o sistema radicular das plantas.



Teor total do elemento no solo > necessidade da planta



extrator

Identifica a quantidade do elemento disponível para a planta

Vários extratores para um mesmo elemento

Substâncias que removem do solo nutrientes considerados disponíveis para as plantas, ou elementos químicos promotores de salinização ou toxidez as plantas. (Cantarutti et al. 2007)



P resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³					
7	0	5,6	1,3	28	4	62	47	11	0,11	2,2	12	18	0,3

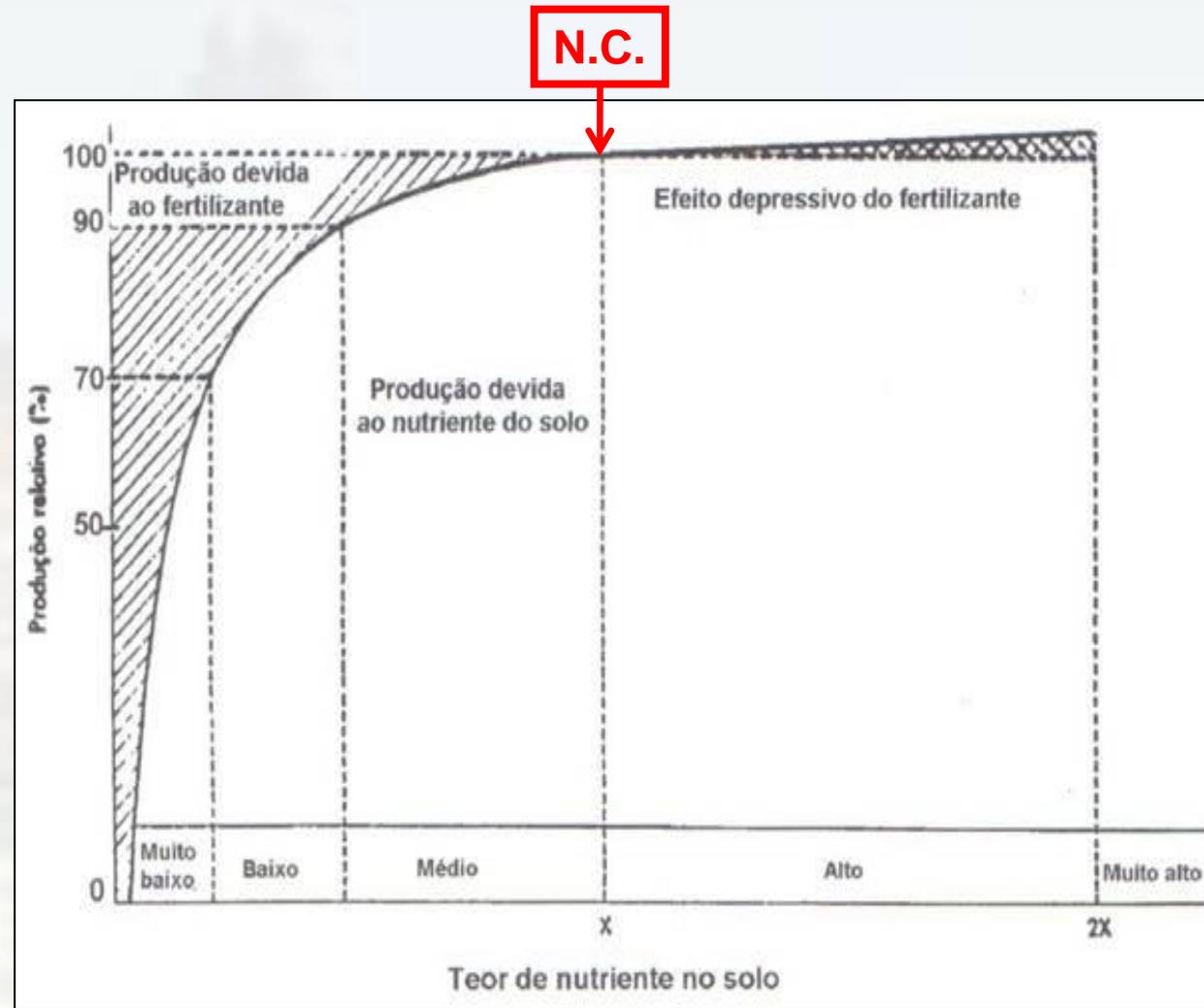
• Extratores

- Resina Trocadora de Ânions - SP

- Mehlich-1 (H₂SO₄ 0,0125 mol l⁻¹ + HCl 0,05 mol l⁻¹)

Análise química do solo: Nível crítico (NC)

Esquema de delimitação de classes de teores de nutrientes, utilizado no Instituto Agronômico de Campinas para potássio e fósforo. Os limites de classes de teores estão relacionados com a produção relativa.



ESP– Método da Resina (Avaliação de C e I)

Resina

Teor	Produção Relativa %	P resina			
		Florestais	Perenes	Anuais	Hortaliças
-----mg dm ⁻³ -----					
Muito baixo	0-70	0-2	0-5	0-6	0-10
Baixo	71-90	3-5	6-12	7-15	11-25
Médio	91-100	6-8	13-30	16-40	26-60
Alto	>100	9-16	31-60	41-80	61-120
Muito alto	>100	>16	>60	>80	>120

10mg dm⁻³ (ppm) de P na análise → 46 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (camada de 0-20cm, d=1,0)

Análise de Solo

✓ Interpretação de Análise de Solo (**resina**)

Limites de classes de teores de P solúvel e K⁺ trocável

Teor	Produção Relativa %	K ⁺ Trocável mmolc dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³ Anuais	P resina mg dm ⁻³ Anuais*
Muito baixo	0 – 70	0 – 0,7	0 – 6	0 - 7
Baixo	71 – 90	0,8 – 1.5	7 – 15	7- 15
Médio	91 – 100	1,6 – 3,0	16 – 40	15 - 25
Alto	> 100	3,1 – 6,0	41 – 80	25 - 40
Muito alto	> 100	> 6,0	> 80	> 40

Não há diferença prática de valores determinados por Mehlich ou Resina

Fonte: Raij, (1996); * Valores sugeridos segundo Vitti, (2016)

10 mg dm⁻³ P = 46 kg ha⁻¹ de P₂O₅

1 mmol_c dm⁻³ K = 96 kg ha⁻¹ de K₂O

Argila	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
%	mg dm ⁻³				
SEQUEIRO					
< 15	0-6	6-12	12-18	18-25	> 25
16-35	0-5	5-10	10-15	15-20	> 20
36-60	0-3	3-5	5-8	8-12	> 12
> 60	0-2	2-3	3-4	4-6	> 6

IRRIGADO					
< 15	0-12	12-18	18-25	25-40	> 40
16-35	0-10	10-15	15-20	20-35	> 35
36-60	0-5	5-8	8-12	12-18	> 18
> 60	0-3	3-4	4-6	6-9	> 9

Fundamentos da adubação fosfatada

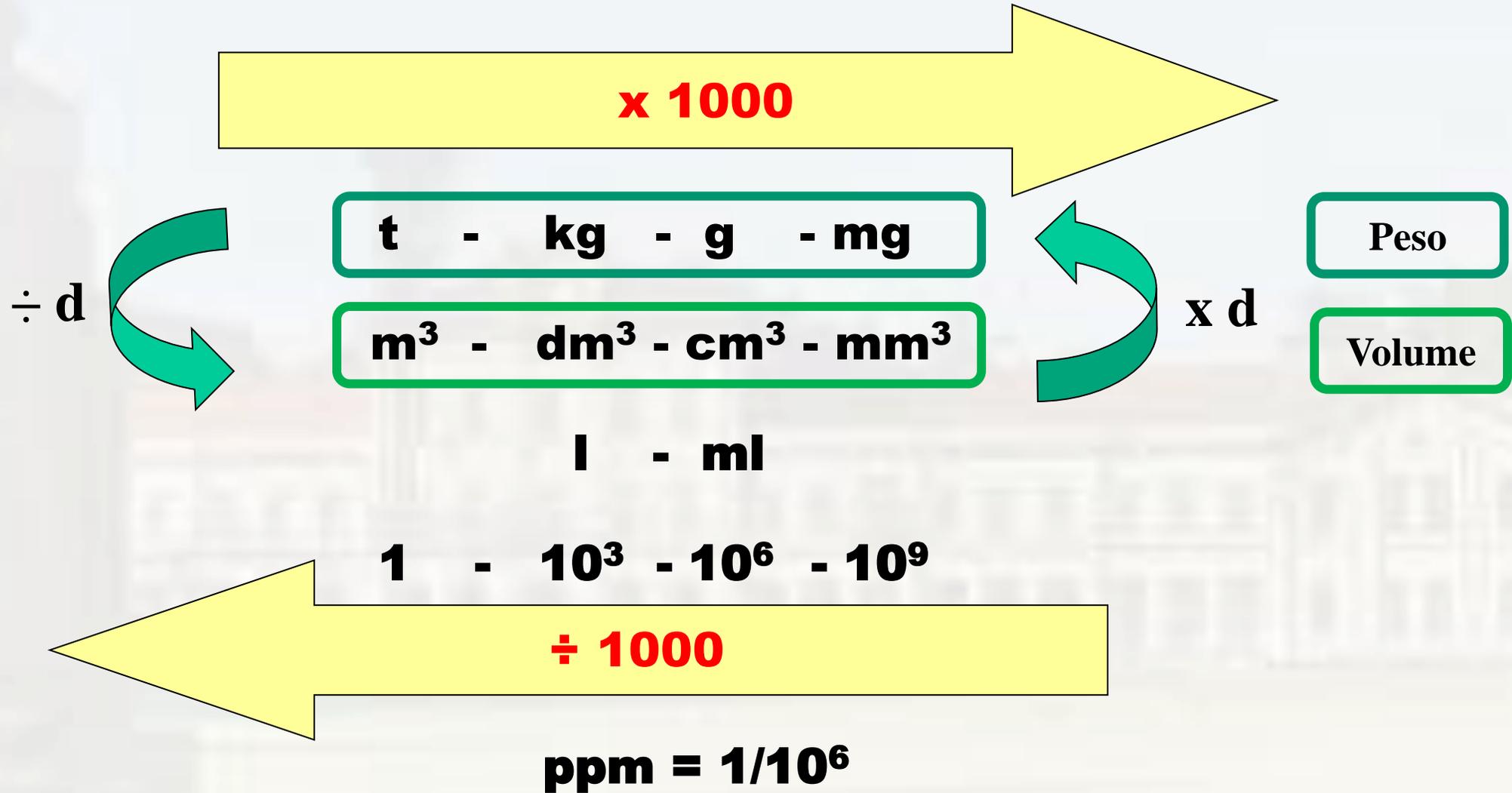


Correlação P resina x P absorvido raíz

Método	Coeficientes de determinação médios entre P-solo e P absorvido pelas plantas (100 r ²)	
	Solos Ácidos	Solos neutros ou alcalinos
Resina	84	83
Mehlich 1	56	39
Bray I	53	25
Olsen	47	52

Compilado de 70 artigos da literatura internacional por Silva e Raij (Pesq. agropec. bras. 34:267-288, 1999)

Transformações



- ✓ ppm = parte por milhão = $1/10^6$
- ✓ Unidade em desuso, por não expressar quais são as grandezas envolvidas
- ✓ ppm = g t^{-1} ; mg kg^{-1} ; g m^{-3} ; mg l^{-1} ; mg dm^{-3}

$$\text{mg dm}^{-3} = \text{ppm}$$

P – como transformar mg dm^{-3} em kg ha^{-1}
 $d = 1 \text{ g cm}^{-3}$; 0-20 cm

$$\begin{aligned} 1 \text{ mg} &\leftrightarrow 1 \text{ dm}^{-3} \text{ ou } 1 \text{ ou kg} \\ 0,000001 \text{ kg} &\leftrightarrow 1 \text{ dm}^{-3} \text{ ou } 1 \text{ ou kg} \\ \mathbf{X} &\leftrightarrow 2.000.000 \text{ kg} \\ \mathbf{X} &\leftrightarrow 2 \text{ kg ha}^{-1} \end{aligned}$$

$$\mathbf{\text{mg dm}^{-3} \times 2 = \text{kg ha}^{-1}}$$

Fatores de conversão

$P_2O_5 \times 0,437 = P$	$K_2O \times 0,83 = K$	$Ca \times 1,4 = CaO$	$Mg \times 1,658 = MgO$
$P \times 2,29 = P_2O_5$	$K \times 1,205 = K_2O$	$CaO \times 0,714 = Ca$	$MgO \times 0,603 = Mg$
*1 hectare (ha) = 2.000.000 dm ³			

Equivalência de unidades

Camada 0 – 20cm (d solo = 1)

meq 100 cm ⁻³ cmol _c . dm ⁻³	mmol _c . dm ⁻³	mg . dm ⁻³ (ppm)	Elemento (kg . ha ⁻¹)	Óxido (kg . ha ⁻¹)	Carbonatos (kg . ha ⁻¹)
1 Ca	10	200	400	560*	1000**
1 Mg	10	120	240	400*	840**
1 K	10	400	800	960*	-
1 Al	10	90	180	-	-
1 P	-	100	200	460*	-

* - CaO, MgO, K₂O, P₂O₅, respectivamente.

** - CaCO₃, e MgCO₃, respectivamente.

1 t ha⁻¹ CaCO₃ (PRNT 100%) = 10 mmolc dm⁻³ Ca = 1 cmolc dm⁻³ Ca

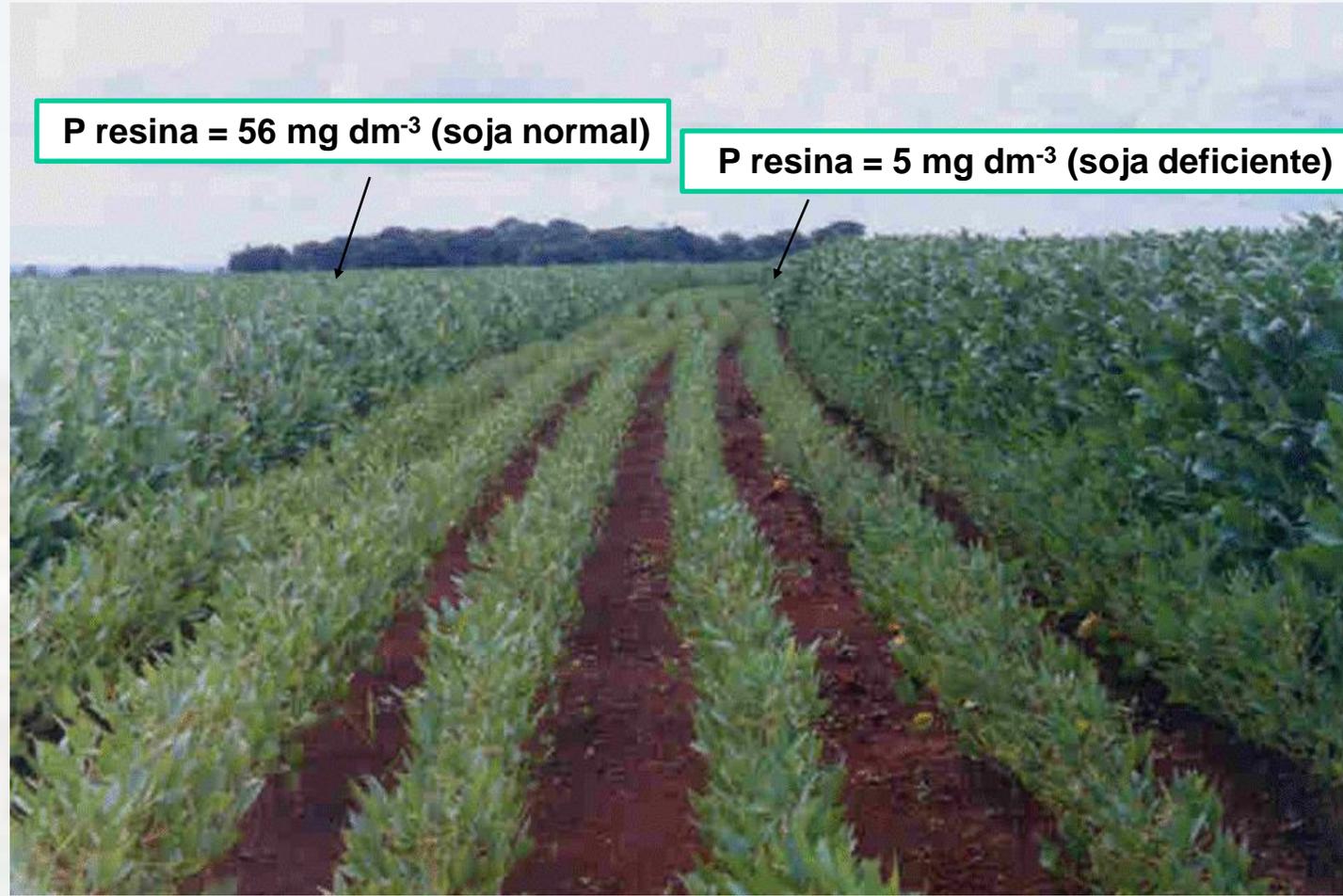
1,0 mmol_c.dm⁻³ K → 96 kg.ha⁻¹ K₂O

10 mg.dm⁻³ P → 46 kg.ha⁻¹ P₂O₅

1,0 meq.100cm⁻³ Ca → 1,0 meq.100cm⁻³ Al

40/2 = 20mg Ca → 39/3 = 13mg Al

P_2O_5 manutenção x P_2O_5 correção + manutenção



Local: Nortelândia – MT (76% de argila)

Resposta à fosfatagem (cana-de-açúcar)

Relação entre fosfatagem e calagem na cultura da cana de açúcar

P ₂ O ₅ no sulco (kg ha ⁻¹)	Fosfatagem (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)					
	Área sem calagem			Área com calagem		
	0	100	200	0	100	200
	----- Produtividade no primeiro corte (t ha ⁻¹) -----					
0	23	102	111	3	11	134
50	66	115	124	66	123	134
100	79	115	124	79	124	133
150	96	118	126	98	127	135
200	96	118	126	112	121	131

Fonte: Reis e Cabala-Rosand (1986).

$$\Delta = 25 \text{ t ha}^{-1}$$

- > maior volume de P em contato com o solo (>fixação)
- > volume de solo explorado pelas raízes
- > absorção de água
- > absorção de nutrientes
- > convivência com pragas de solo



Nível crítico e capacidade tampão de fósforo

29

**Circular
Técnica**

Planaltina, DF
Outubro, 2015

Autores

Thamiz Adelphe Rain
Engenheiro-agrônomo,
deutor em Soil and Crop Sciences,
pesquisador da Embrapa Cerradas,
Planaltina, DF

Djalma Maranhão Gomes de Sousa
Químico, mestre em Ciência de
Solo, pesquisador da Embrapa
Cerradas, Planaltina, DF

José de Deus Gomes
dos Santos Júnior
Engenheiro-agrônomo,
deutor em Agronomia,
pesquisador da Embrapa Cerradas,
Planaltina, DF

Rafael de Sousa Nunes
Engenheiro-agrônomo, deutor
em Agronomia, pesquisador da
Embrapa Cerradas, Planaltina, DF

Gaspar Henrique Kemmerler
Engenheiro-agrônomo, deutor
em Solo e Nutrição de Plantas,
professor da Universidade Federal
de Uberlândia, Uberlândia, MG



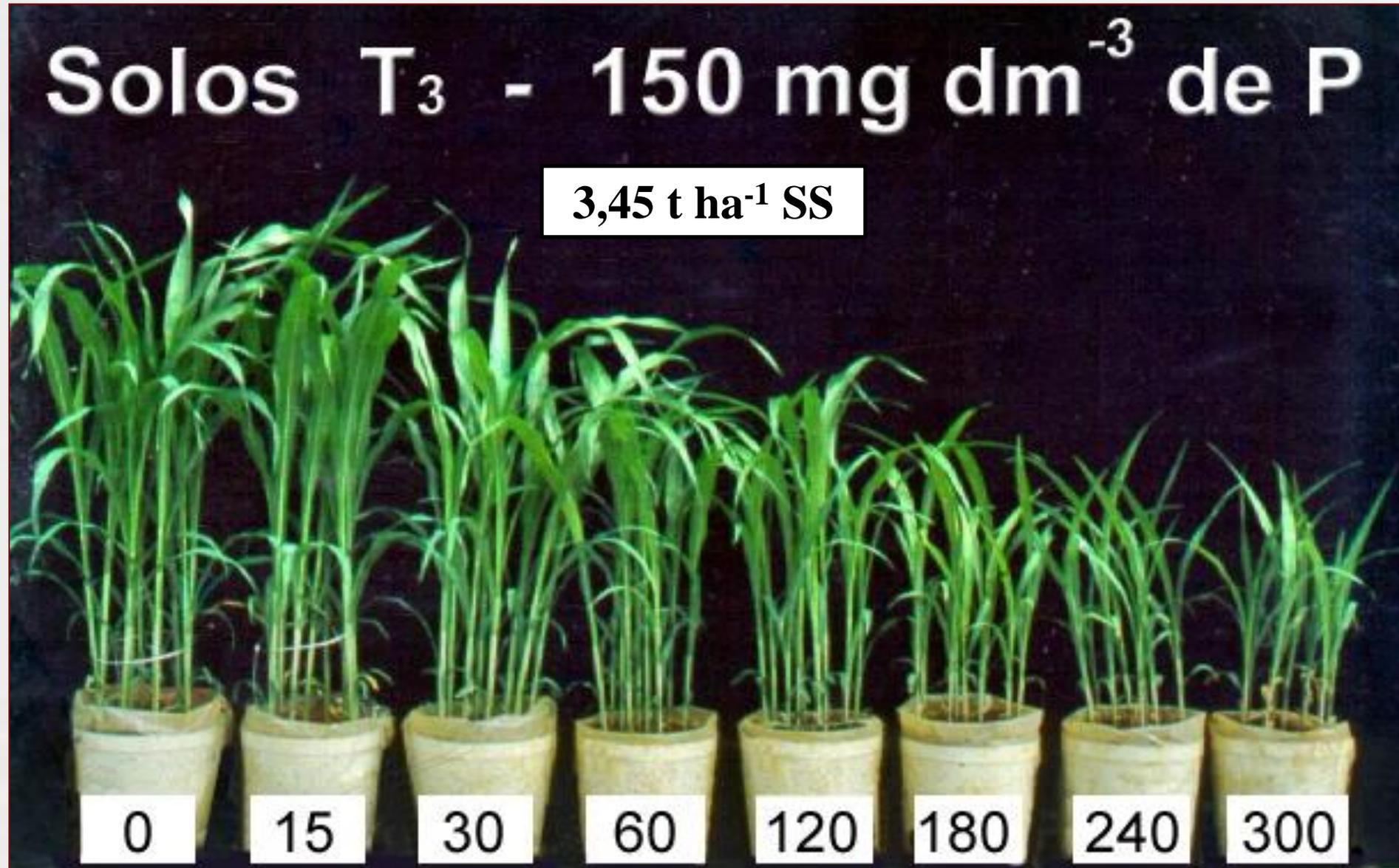
$$P_2O_5 \text{ (kg/ha)} = [\text{teor desejado de P} - \text{teor atual}] \times \text{CTP}$$

Teor de argila	Nível crítico de P (sequeiro ¹)		Capac. tampão P (CTP) ²	
	Mehlich 1	Resina	Mehlich 1	Resina
%	mg dm ⁻³		(kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹) / (mg dm ⁻³ de P)	
< 15	20	20	5	5
16 - 35	20	20	10	10
35 - 60	10	20	30	15
> 60	5	20	70	20

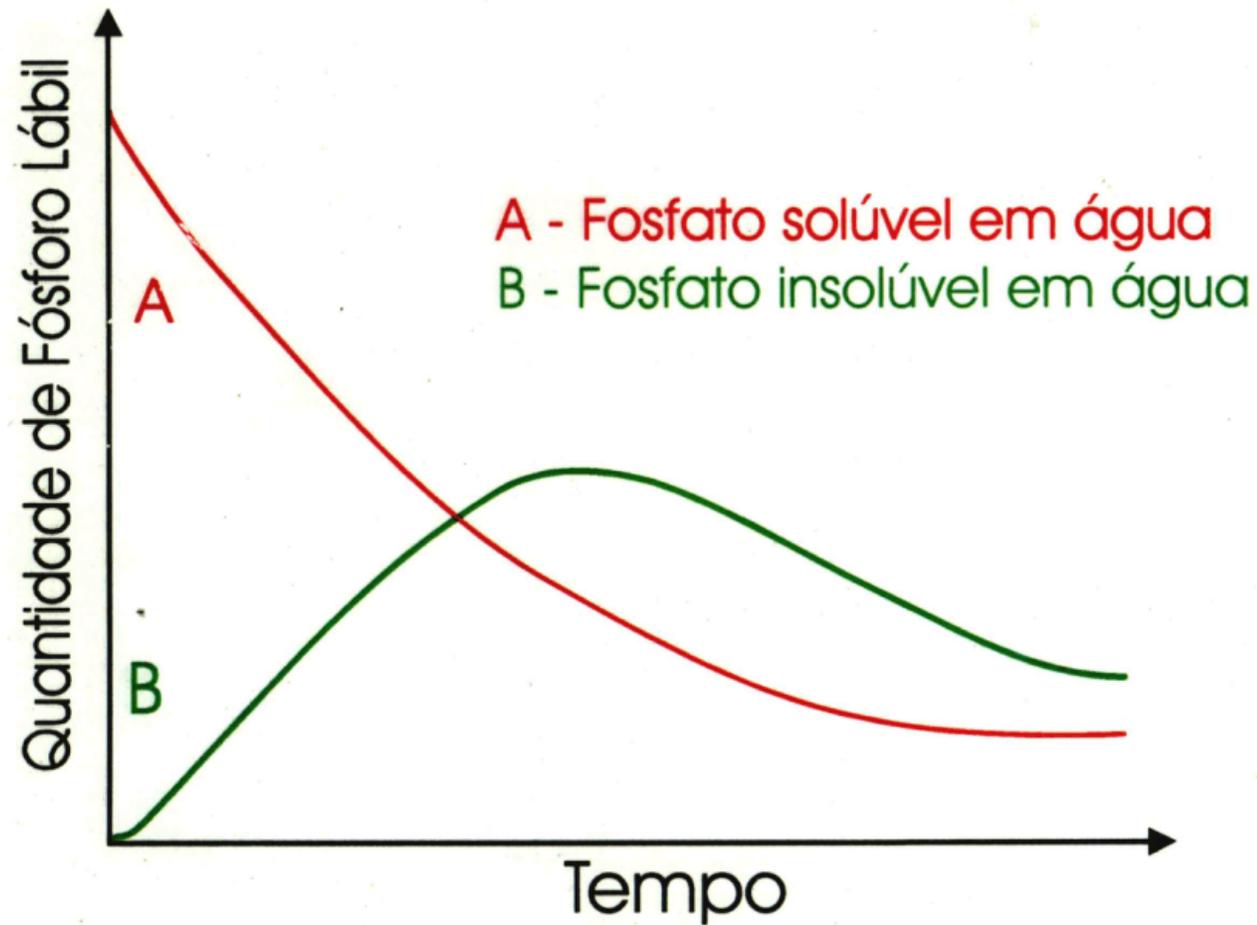
¹Para obtenção do nível crítico de fósforo no sistema irrigado (90% do potencial produtivo) multiplicar por 1,4 os valores de nível crítico do sistema de sequeiro.

²Dose de P₂O₅ para elevar o teor de P no solo em 1 mg dm⁻³, com base em amostra da camada de 0 a 20 cm.

P_2O_5 x fixação x tempo (dias)



DISPONIBILIDADE X TEMPO



Adaptado de Larsen (1971) citado por Wolkweiss e Rais (1976) Fonte: Contribuição do Centro de Experimentação e Pesquisa à 8ª reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul (18 a 21/08/80).

Rochas fosfáticas quanto a geologia

Ígneas (Apatita)

- Rochas cuja formação deve-se a solidificação do magma de erupções vulcânicas. A formação, portanto, ocorre em altas temperaturas, ocasionando cristais muito duros;

Metamórficas (Fosforita)

- Oriundas da modificação do estado sólido de rochas pré-existentes. Essa modificação é devido a ação da temperatura, assim como da pressão.

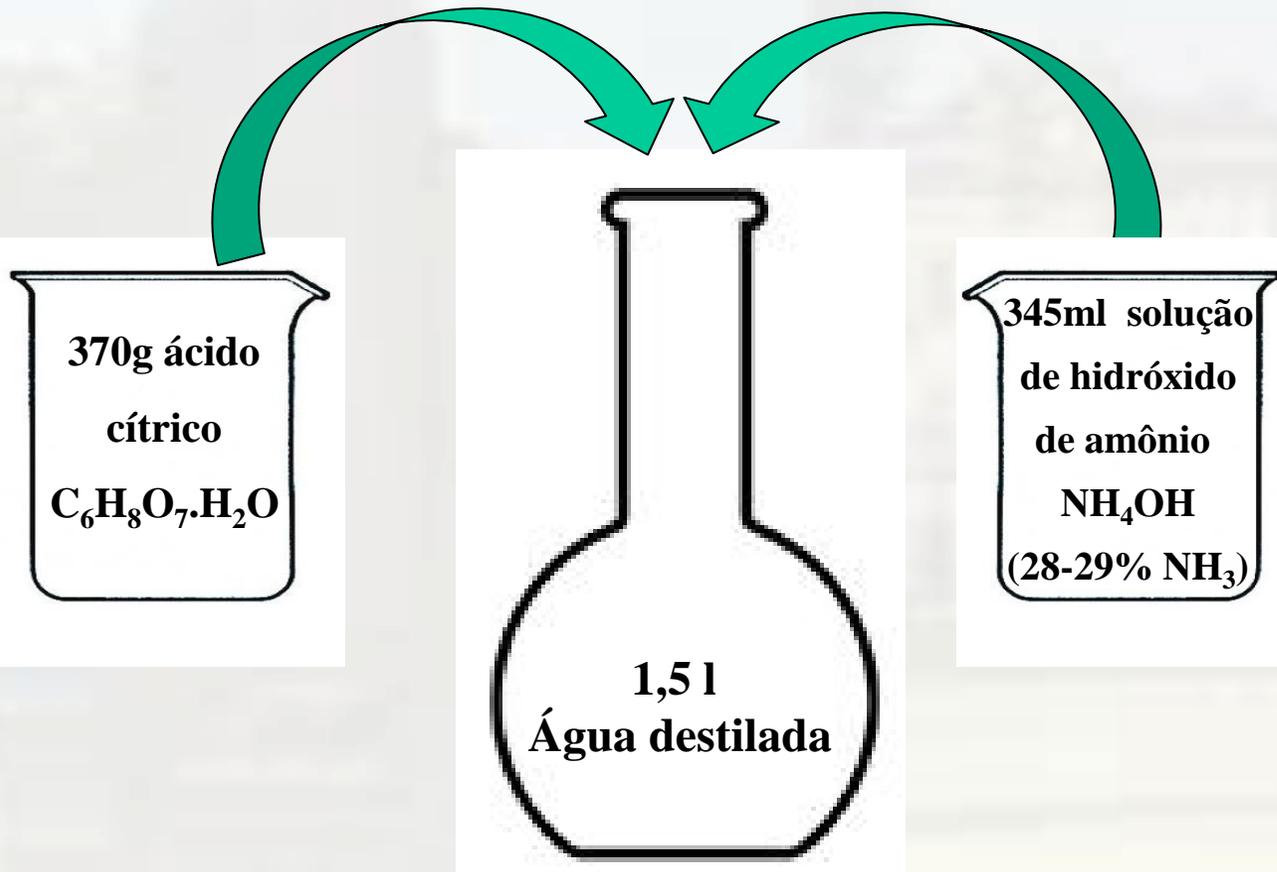
Sedimentares (Fosforita)

- Rochas que se formam em função do acúmulo e consolidação de materiais degradados de rochas pré-existentes, ou devido ao acúmulo de restos orgânicos (ossadas, esqueletos de animais), por exemplo, no fundo de águas calmas, como lagunas; **(FOSFATOS REATIVOS)**

I - Fosfatos parcialmente acidulados e Crandalita



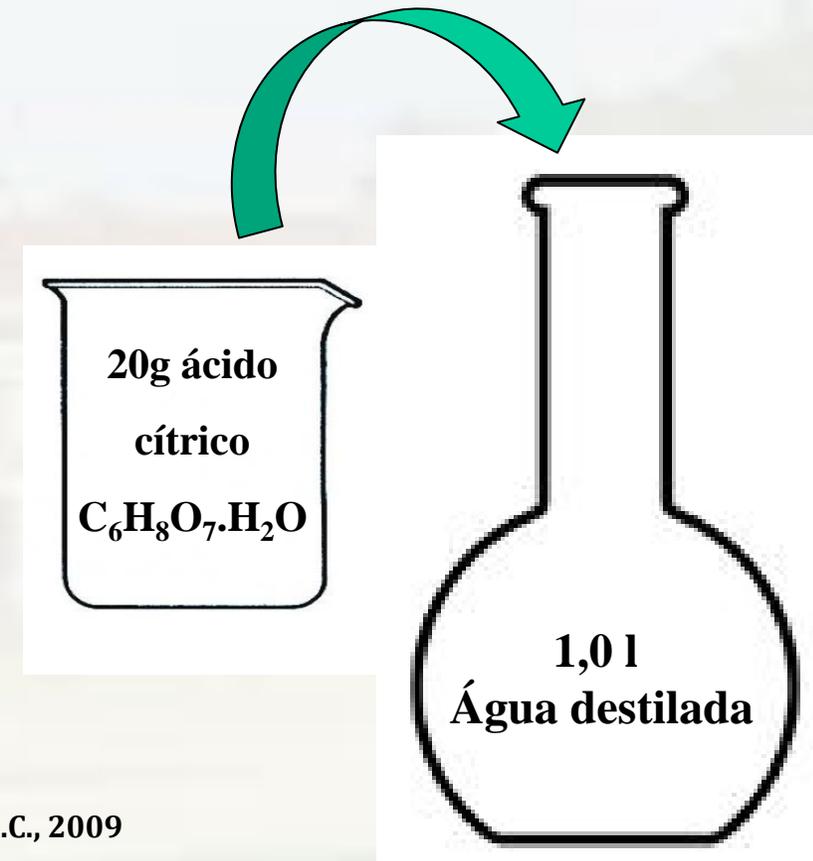
Extrator: Solução de citrato neutro de amônio (pH=7,0)



II - Fosfatos naturais reativos



Extrator: Ácido cítrico 2,0%



Fontes de P₂O₅ para Fosfatagem

Produto	Empresa	P ₂ O ₅			Origem
		Total %	CNA + água	HCl (2,0%)	
Agrofós	Agronelli	14	9	-	Uberaba - MG
Superfós	Consube	14	9	-	Uberaba - MG
Supraphós	Nutrion	14	9	-	Catalão - GO
Phosfaz	B&A	25	20	-	Bonito - PA
HiPhós 20		20	16		
HiPhós 28	Hinove	28	14		Registro-SP
HiPhós 30		30	15		
Nutrifós	Nutrivale	23		5-7	Registro-SP
Fosfato Forte	Edem	15	-	7	Bonito-MS
MV 15	Morro Verde	15	-	6	Pratápolis – MG
FNR 15	PTEC	15	-	7	Arraias-TO
Gafsa	Fertipar	30	-	10	Tunísia
OCP	-	30	-	10	Marrocos
Bayóvar	Hinove	30	-	14	Peru
FNE	FTO	30	-	10	Egito
Yoorin	Curimbaba	18		16	Poços de Caldas-MG

Fosfato Precipitado

Produto	Empresa	P ₂ O ₅		Origem
		Total %	CNA + água	
Agrofós	Agronelli	14	9	Uberaba - MG
Superfós	Consube	14	9	Uberaba - MG
Supraphós	Nutrion	14	9	Catalão - GO

Legislação

Fertilizantes	Garantias mínimas	Características	Obtenção
Fosfato precipitado	7 % P ₂ O ₅ 12% Ca	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ total e mínimo de 3% do teor total solúvel em CNA+H₂O .	Resultante do tratamento de efluentes da solubilização de rochas fosfáticas

Produto	Empresa	P ₂ O ₅		Origem
		Total % CNA + água	HCl (2,0%)	
HiPhós 20	Hinove	20	16	Registro-SP
HiPhós 28		28	14	
HiPhós 30		30	15	

Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção
Fosfato Natural Parcialmente Acidulado	20%P ₂ O ₅ 16% Ca	P ₂ O ₅ total P ₂ O ₅ CNA + H₂O (mínimo 9%) P ₂ O ₅ H ₂ O (mínimo 5%)	Acidulação parcial do fosfato natural com ácido sulfúrico, clorídrico ou fosfórico.

Produto	Empresa	P ₂ O ₅		Origem	
		Total % CNA + água	HCl (2,0%)		
Nutrifós	Nutrivale	23		5-7	Registro-SP
Fosfato Forte	Edem	15	-	7	Bonito-MS
MV 15	Morro Verde	15	-	6	Pratápolis – MG
FNR 15	PTEC	15	-	7	Arraias-TO

Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção
Fosfato Natural Reativo	12% P ₂ O ₅ 10% Ca	P ₂ O ₅ total E no mínimo de 30% do teor total, solúvel em HCl 2% . Granulometria 100% passante peneira 4,8 mm (ABNT nº 4), mínimo 80% 2,8 mm (ABNT nº 7).	Extração e moagem da fosforita metamórfica.

Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção
Fosfato Calcinado	18% P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ total E no mínimo de 14% do teor total, solúvel em CNA + água .	Calcinação da rocha fosfática em temperaturas superiores a 650° C e inferiores a 1000° C

Produto	Empresa	P ₂ O ₅			Origem
		Total %	CNA + água	HCl (2,0%)	
Gafsa	Fertipar	30	-	10	Tunísia
OCP	-	30	-	10	Marrocos
Bayóvar	Hinove	30	-	14	Peru
FNE	FTO	30	-	10	Egito

Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção
Fosfato Natural Reativo	12% P ₂ O ₅ 10% Ca	P ₂ O ₅ total E no mínimo de 30% do teor total, solúvel em HCl 2% . Granulometria 100% passante peneira 4,8 mm (ABNT nº 4), mínimo 80% 2,8 mm (ABNT nº 7).	Extração e moagem da fosforita metamórfica.

Equação

$$\text{kg/ha P}_2\text{O}_5 = (\text{planta-solo}) \times f$$

Planta: Exigência (Extração, Exportação)

Solo: Análise

- Resina
- Melich I (HCl 0,005 + H₂SO₄ 0,0025 N)

f = 3,0 a 5,0

Adubação de manutenção de P_2O_5

Soja = 13,3 kg de P_2O_5 t⁻¹ de grão

4,5 t ha⁻¹ (75 sc ha⁻¹) = **60 kg/ha** de P_2O_5

Milho = 8 a 9 kg de P_2O_5 t⁻¹ de grão

12,6 t ha⁻¹ (210 sc ha⁻¹) = **100 kg ha⁻¹** de P_2O_5

- *Fonte solúvel em CNA + H₂O e H₂O*
- *Forma: granulada*

Adubação fosfatada: em superfície ou no sulco de plantio?



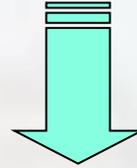
Adubação Localizada (sulco de plantio)

- a) Fonte de P_2O_5 : solúvel em CNA + H_2O e H_2O**

- b) Forma: granulada**

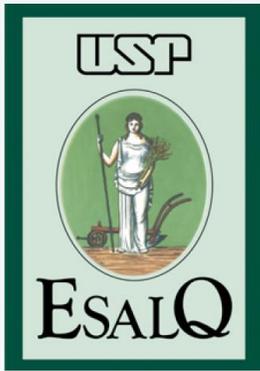
- c) Dose: 80 a 120 kg ha⁻¹ P_2O_5**

AGRONÔMICA
Alta eficiência
Solubilidade: gradual mas total
Efeitos secundários
Fácil aplicação



INDÚSTRIAL
Tecnologia simples
Matéria prima nacional
Uso em fórmulas

ECONÔMICA
Baixo custo
Relação benefício/custo
Alta concentração



Prof. Dr. G.C. Vitti

gcvitti@usp.br

gcvitti@vittagro.agr.br

Ms. Eduardo Sgarbiero

sgarbiero@vittagro.agr.br

(019) 3417-2108



Obrigado!