



**IPNI**

INTERNATIONAL  
PLANT NUTRITION  
INSTITUTE



**CONGRESO PERU**  
Tarapoto. Nov 16 - 21

**Dr. Luís Ignácio Prochnow**  
IPNI Brazil Program Director



**PRODUCTION AND AGRONOMIC  
EFFECTIVENESS OF P FERTILIZERS  
TO IMPROVE THE USE OF  
PHOSPHATE ROCKS**

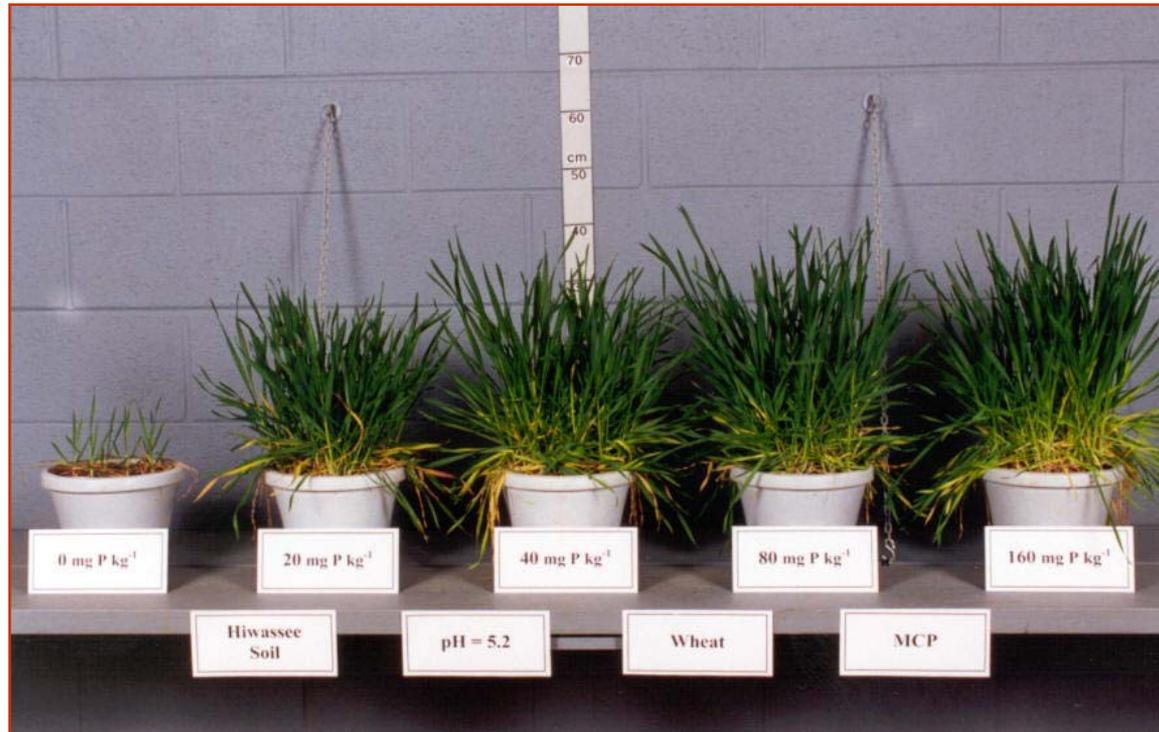


**IPNI**

# CONSIDERAÇÕES INICIAIS

- ✓ Principal objetivo: apresentar uma visão geral.
- ✓ Desdobramentos são necessários.
- ✓ Quatro partes principais:
  - 1. Introdução.
  - 2. Manejo de fertilizantes fosfatados (Palestra).
  - 3. Desenvolvimentos recentes na produção e uso de fertilizantes fosfatados no sentido de otimizar a eficiência agronômica e minimizar efeitos ambientais adversos (Advances in Agronomy).
  - 4. Pesquisa com fertilizantes fosfatados totalmente acidulados com solubilidade em água variável (Pesquisa recente).

# 1. INTRODUÇÃO



# INFORMAÇÕES GERAIS - FÓSFORO E ADUBOS FOSFATADOS

- O FÓSFORO (P) É UM MACRONUTRIENTE PROPORCIONALMENTE POUCO EXIGIDO PELAS CULTURAS.
- FUNÇÃO NA PLANTA: ENERGIA.
- SOLOS BRASILEIROS SÃO EM SUA GRANDE MAIORIA ORIGINALMENTE DEFICIENTES EM P.
- TRATA-SE, NORMALMENTE, DO NUTRIENTE MAIS UTILIZADO NAS ADUBAÇÕES (SITUAÇÃO DISTINTA DE PAÍSES DE AGRICULTURA MAIS DESENVOLVIDA).
- RECUPERAÇÃO DE P PELAS PLANTAS É PEQUENA.
- DINÂMICA DO P NO SOLO É BEM DISTINTA DO N E K.
- ORIGEM DOS ADUBOS FOSFATADOS: ROCHA NATURAL.
- ROCHAS FOSFATADAS: RECURSO NATURAL ESCASSO, NÃO RENOVÁVEL E SEM SUCEDÂNEO.

## DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL E ACIDEZ DOS SOLOS DA AM. TROPICAL

Condição ou Nutriente	Área Problema (10 <sup>6</sup> ha)	% área total
N	1332	89
→ P	1217	82
K	799	54
S	756	51
Cu	310	21
Fe	96	6
Zn	741	50
Alta Fixação P	788	53
Toxidez de Al	756	57
Deficiência de Ca	732	49
Deficiência de Mg	731	49
Baixa CTC	620	41
Toxidez de Mn	756	51

Sanches & Salinas (1981)



# FÓSFORO: QUANTIDADE NOS SOLOS, QUANTIDADE NECESSÁRIA ÀS PLANTAS E ADUBAÇÃO FOSFATADA



## 1. Quantidade nos solos:

- pode chegar a 6000 kg P ha<sup>-1</sup>
- média de 400 kg ha<sup>-1</sup>

## 2. Quantidade exigida pelas plantas:

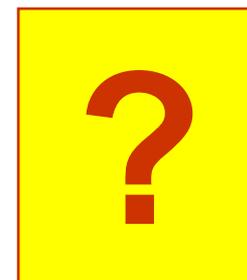
Composição aproximada de uma cultura de soja com produção de 3 t ha <sup>-1</sup>			
Elemento	kg ha <sup>-1</sup>	Elemento	kg ha <sup>-1</sup>
C	3500	B	0,1
H	450	Cl	10,0
O	3300	Cu	0,1
N	320	Fe	1,7
P	30	Mn	0,6
K	110	Mo	0,01
Ca	80	Zn	0,2
Mg	35	Co	0,005
S	25	Outros	138

Outros exemplos: - milho = 35  
- trigo = 22  
- amendoim = 31

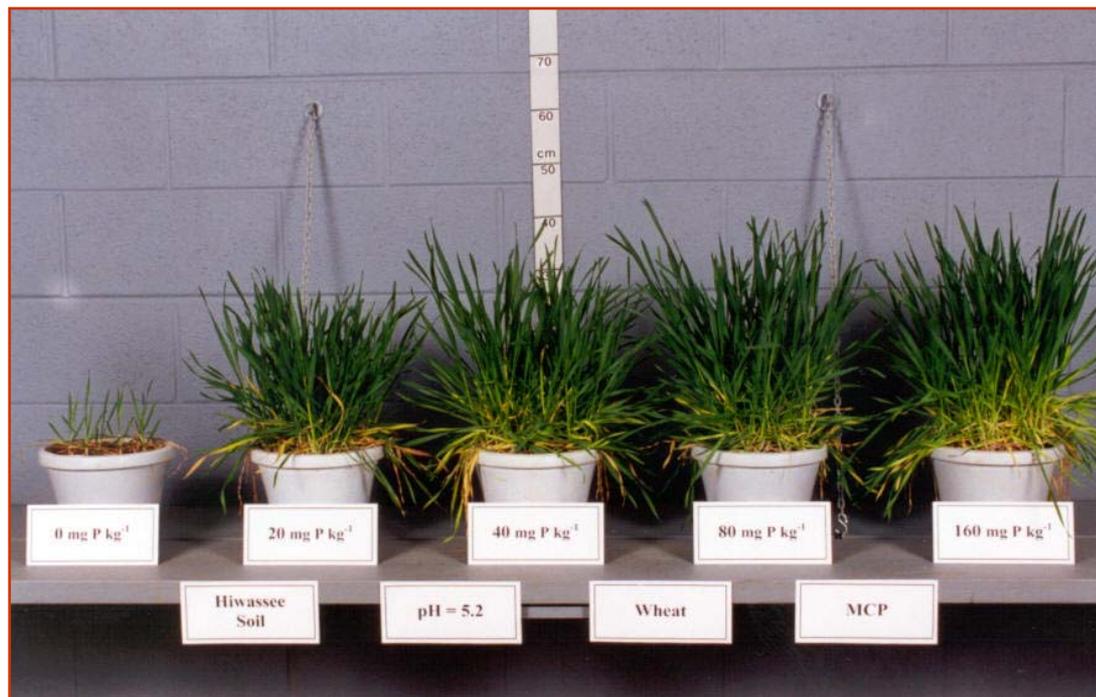
└─→ Kg ha<sup>-1</sup> de P

## 3. Quantidade de P aplicada na adubação:

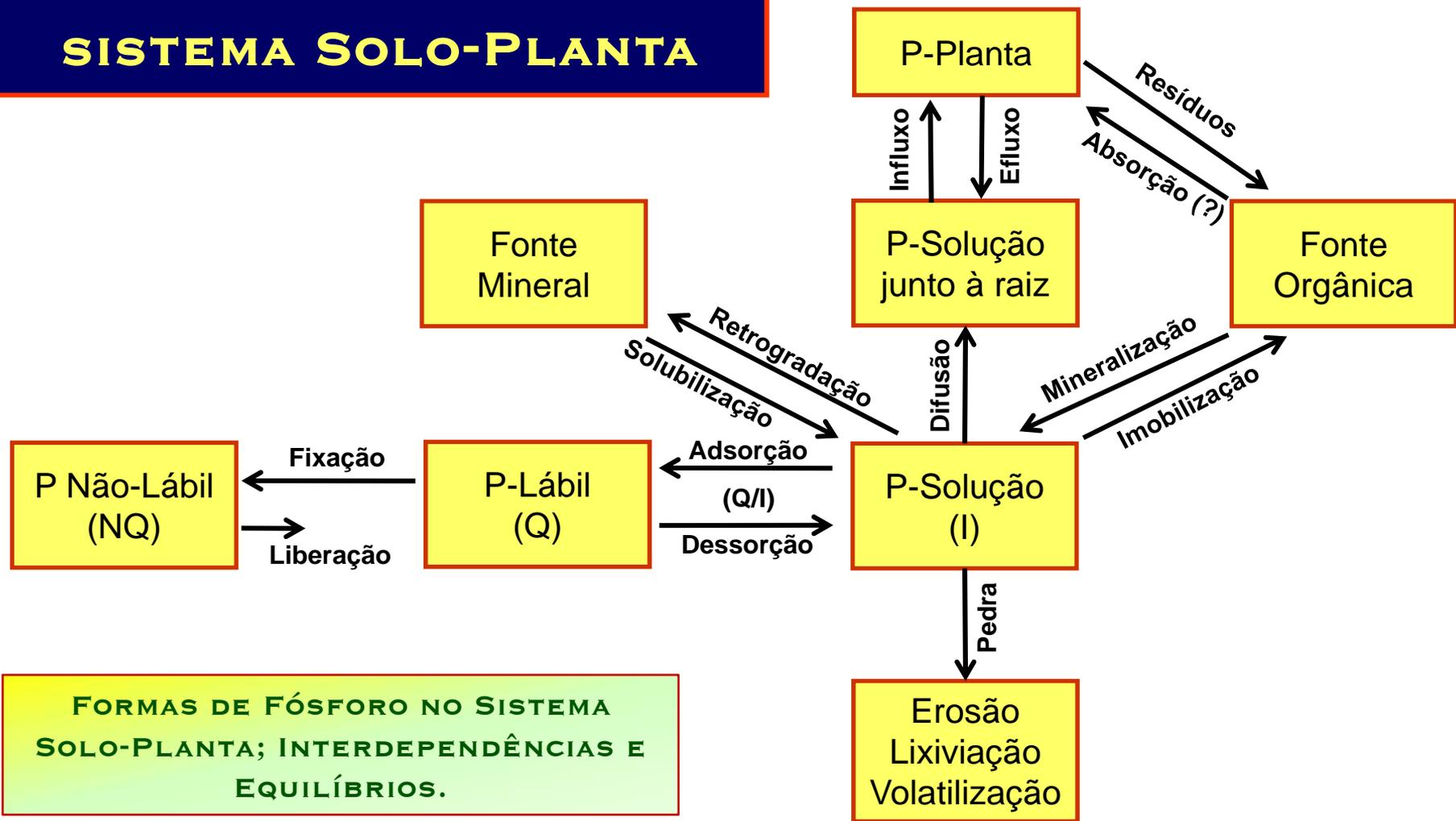
- pode chegar a 100 kg P ha<sup>-1</sup>



# FÓSFORO NO SOLO



# FORMAS DE FÓSFORO NO SISTEMA SOLO-PLANTA



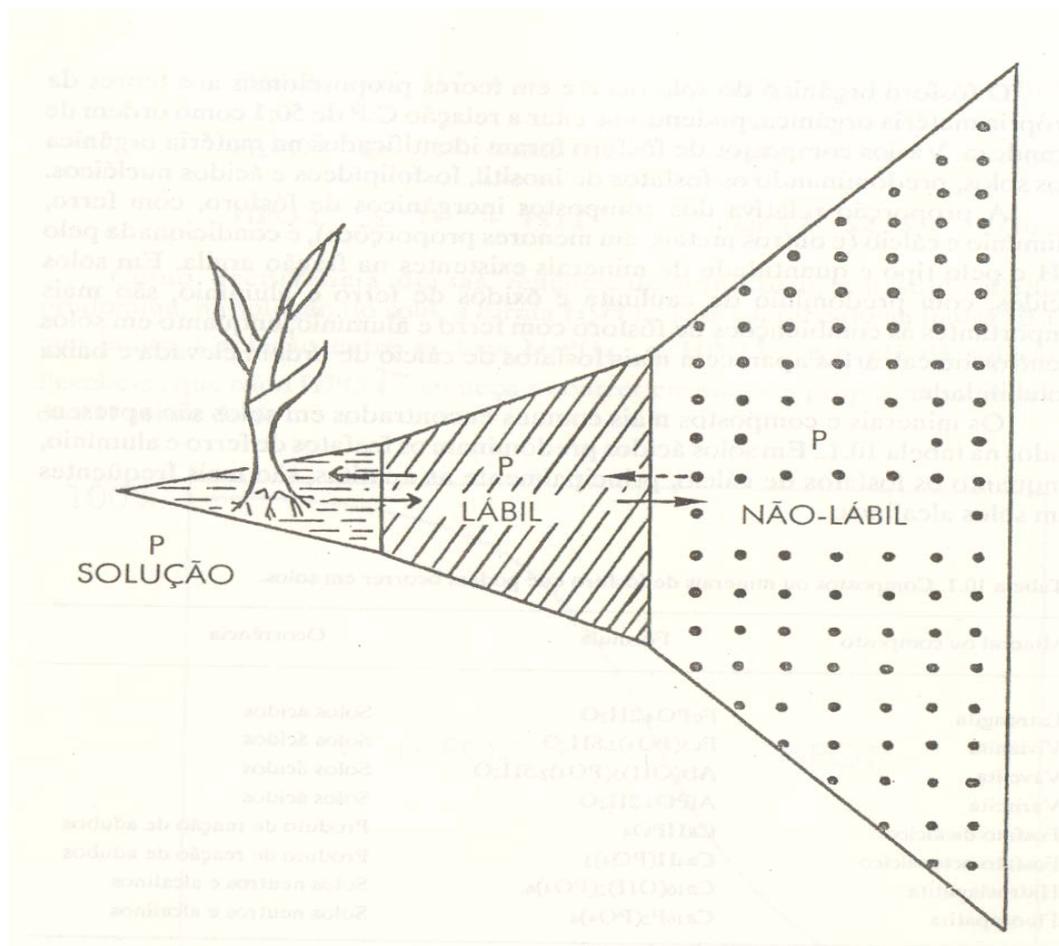
FORMAS DE FÓSFORO NO SISTEMA SOLO-PLANTA; INTERDEPENDÊNCIAS E EQUILÍBRIOS.

Novaes, 1999



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# FORMAS GERAIS DE P NO SOLO EM TERMOS DE DISPONIBILIDADE

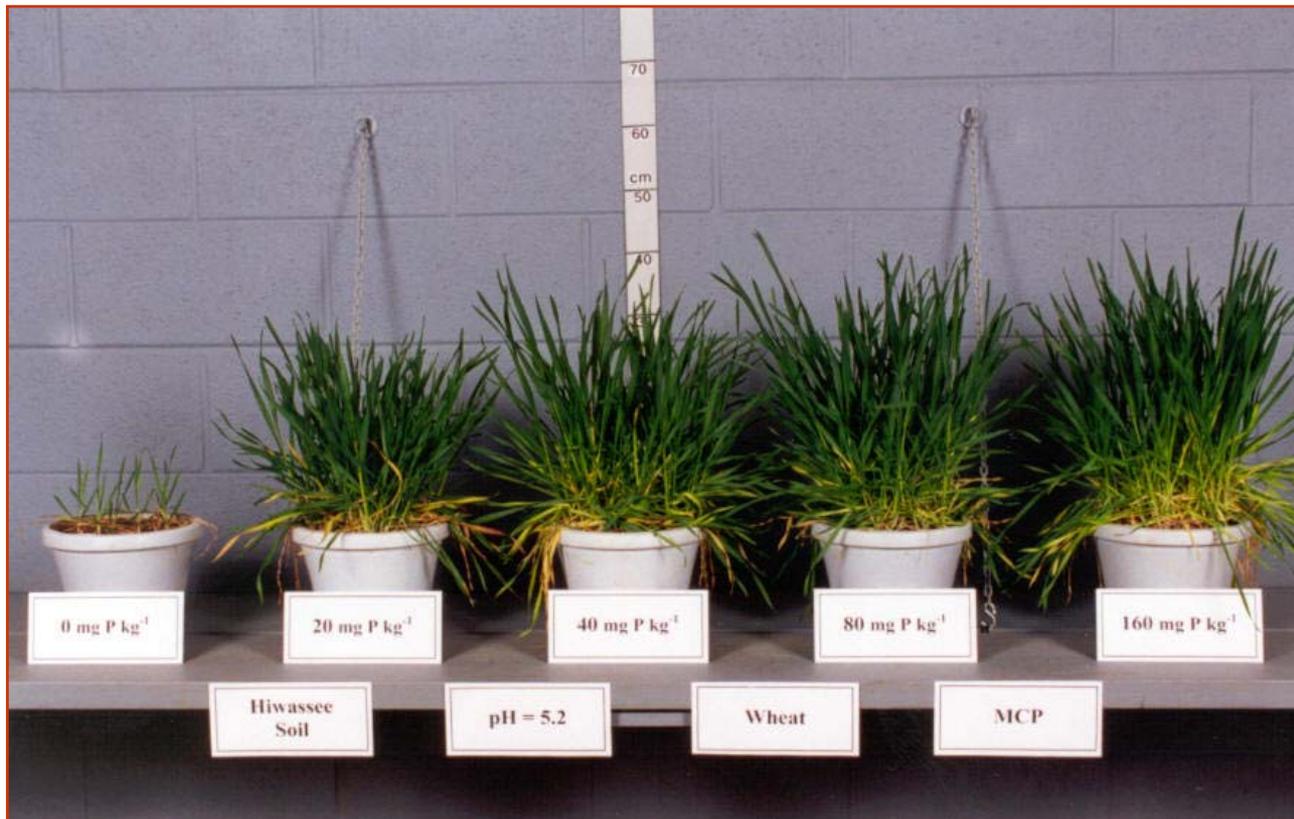


Raij, 1991



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO QUANTO A FÓSFORO



**CULTIVO DE UMA ÁREA  
AGRÍCOLA IMPLICA UMA  
DÚVIDA:**



**CARACTERÍSTICAS  
QUÍMICAS DO SOLO**

**PH, P, K, CA, MG, S,  
MICRO, CTC, V%**

**EXIGÊNCIAS DA PLANTA**

**N, P, K, CA, MG, S, FE, ZN,  
MN, CU, B, Mo, CL**

**SÃO AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO  
ADEQUADAS PARA A MANUTENÇÃO DAS EXIGÊNCIAS  
DA PLANTA DE FORMA A SE OBTEREM  
PRODUTIVIDADES ECONOMICAMENTE VIÁVEIS  
DIANTE DOS INVESTIMENTOS REALIZADOS ?**



# EXTRATORES DE P DO SOLO PARA FINS DE FERTILIDADE

## DESENVOLVIMENTO:

- ESTUDOS DE CORRELAÇÃO
- ESTUDOS DE CALIBRAÇÃO
- ESTUDOS DE CURVA DE RESPOSTA

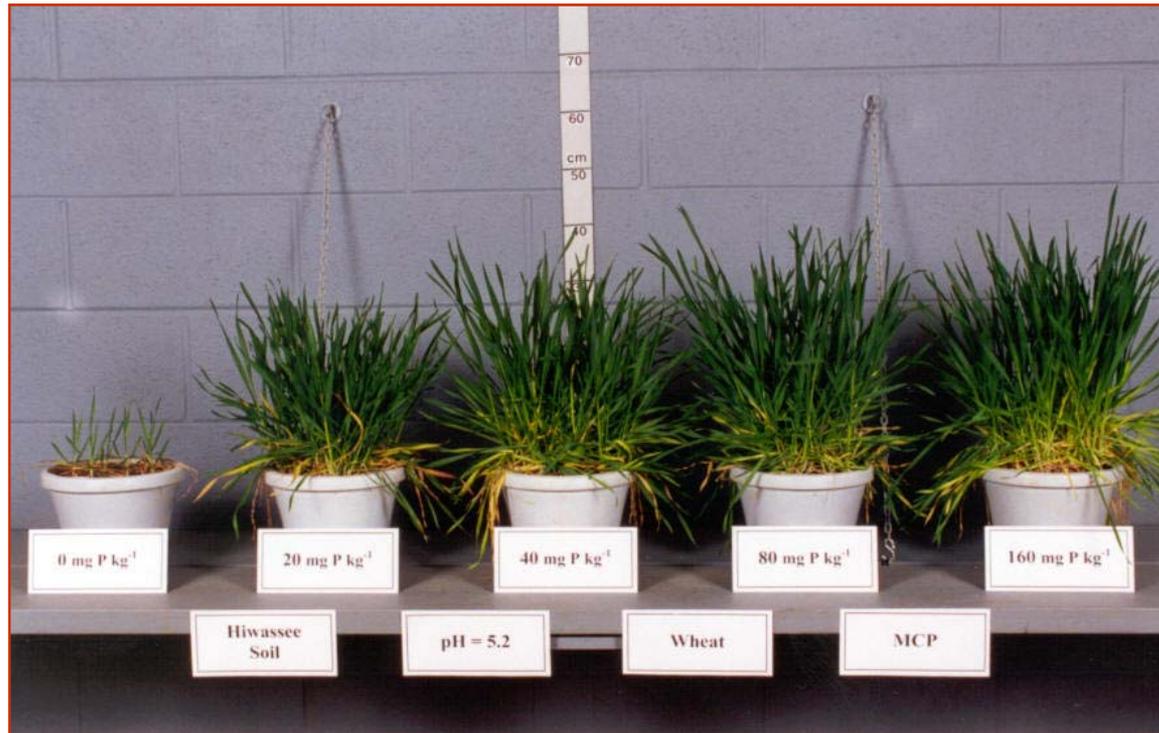


## LIMITES DE INTERPRETAÇÃO DE TEORES DE POTÁSSIO E DE FÓSFORO EM SOLOS

Teor	Produção	K <sup>+</sup>	P resina			
	Relativa	Trocável	Florestais	Perenes	Anuais	Hortaliças
	(%)	(mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )			
Muito baixo	0-70	0,0-0,7	0-2	0-5	0-6	0-10
Baixo	71-90	0,8-1,5	3-5	6-12	7-15	11-25
Médio	91-100	1,6-3,0	6-8	13-30	16-40	26-60
Alto	> 100	3,1-6,0	9-16	31-60	41-80	61-120
Muito alto	> 100	> 6,0	> 16	> 60	> 80	> 120

Raij, 1991

# FERTILIZANTES FOSFATADOS





## RESPOSTA P RONDONOPÓLIS, MT



0

90



# PRINCIPAIS TIPOS DE ADUBOS FOSFATADOS

- FOSFATO NATURAL
- (BAIXA E ALTA REATIVIDADE)
- FOSFATO NATURAL PARCIALMENTE ACIDULADO
- FOSFATO COMPACTADO
- FOSFATO TOTALMENTE ACIDULADO ←
- TERMOFOSFATO
- FOSFATO ORGANO - MINERAL
- FOSFATO BIOATIVO
- ÁCIDO FOSFÓRICO PARA LÍQUIDOS.
- OUTROS = GUANO DE AVES, FARINHA DE OSSOS, ESCÓRIA DE THOMAS, ETC.

# FORMAS GERAIS DE P NOS ADUBOS FOSFATADOS

- PRONTAMENTE DISPONÍVEL
- MEDIANAMENTE DISPONÍVEL
- INDISPONÍVEL

NECESSIDADE DE SE AVALIAR A  
DISPONIBILIDADE DE P DOS  
FERTILIZANTES ÀS PLANTAS

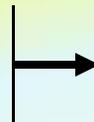
## EXTRATORES - ANÁLISE QUÍMICA

ÁGUA: PRONTAMENTE DISPONÍVEL

CNA+H<sub>2</sub>O

ÁCIDO CÍTRICO 2%

ÁCIDOS FORTES: TOTAL



Disponível

# ESTRATÉGIAS DE MANEJO DO SOLO QUANTO A NUTRIÇÃO DAS PLANTAS COM FÓSFORO

- **APLICAÇÕES ANUAIS:**

- OBJETIVO DE NUTRIR AS PLANTAS NAQUELE ANO
- QUANTIDADES DA ORDEM DE  $\text{KG P}_2\text{O}_5 \text{ HA}^{-1}$

- **APLICAÇÃO CORRETIVA:**

- OBJETIVO DE CORRIGIR, ELEVAR O TEOR DE P DO SOLO
- NUTRIÇÃO DA PLANTA É CONSEQUÊNCIA
- QUANTIDADES DA ORDEM DE TONELADAS DE  $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ HA}^{-1}$
- CUSTO MUITO ELEVADO

## **ALTERNATIVA INTERMEDIÁRIA**

**ADUBAÇÃO ANUAL (SULCO DE PLANTIO) + CORREÇÃO AO LONGO DOS ANOS (MONITORAMENTO COM ANÁLISE DE TERRA)**

# DEFINIÇÃO DAS DOSES DE $P_2O_5$ A APLICAR

- TEOR DE P
- CULTURA
- PRODUVIDADE ALMEJADA
- TABELA DE ADUBAÇÃO OU
- ESTUDOS REGIONAIS

Dose  $P_2O_5$

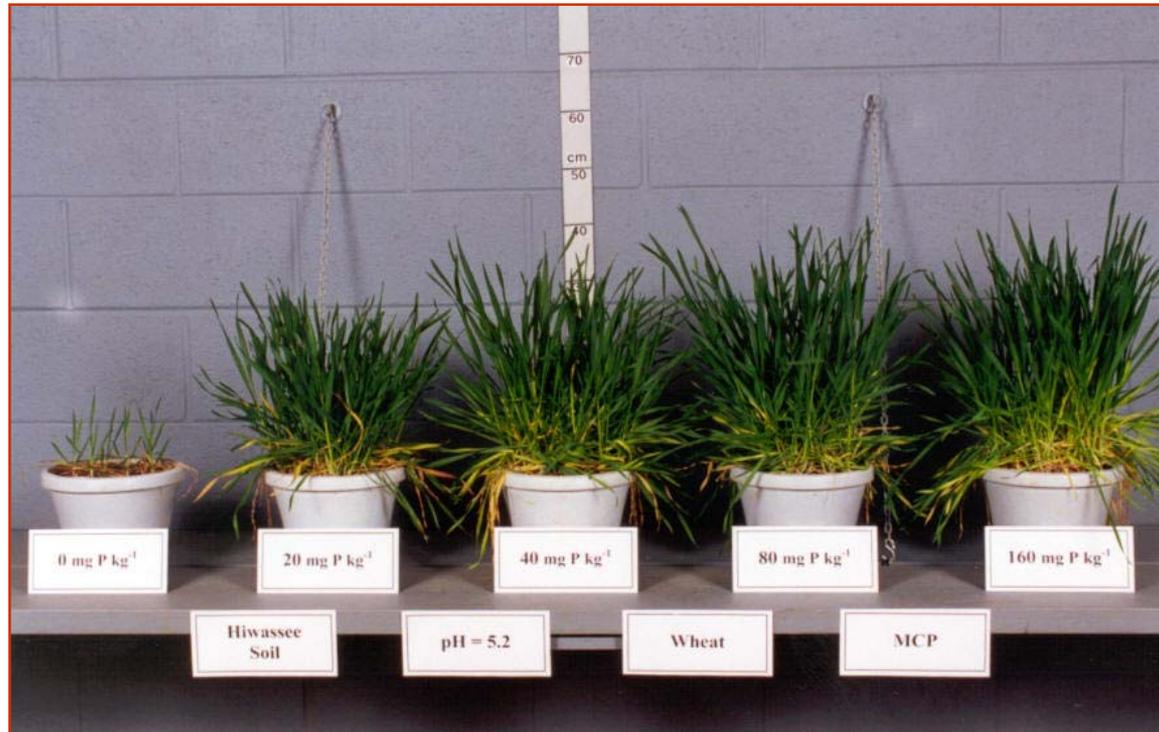
- DOSE  $P_2O_5$
- %  $P_2O_5$  NO FERTILIZANTE

$Q^{de}$  Adubo

**A RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM E ADUBAÇÃO DEVE:**

- RESPEITAR AS INFORMAÇÕES DE PESQUISA DA REGIÃO (VARIAÇÃO DE COND. EDAFOCLIMÁTICAS)
- SER DEFINIDA POR UM TÉCNICO DA REGIÃO

## 2. MANEJO DOS FERTILIZANTES FOSFATADOS



# FATORES QUE INFLUEM NA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

## CULTURA

### EFICIÊNCIA DE P:

“PERCENTUAL DE PRODUÇÃO EM SOLO  
NATIVO SEM P EM RELAÇÃO À PRODUÇÃO  
COM ADIÇÃO DE DOSE ELEVADA DE P”

ÁBOBORA = 3%.

TRIGO = 38%.

ALFAFA = 57%.

AMÊNDOA = 100%.

## SISTEMAS DE PRODUÇÃO

# FATORES QUE INFLUEM NA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

## PROPRIEDADES DOS FERTILIZANTES

- **COMPOSIÇÃO QUÍMICA**
- **SOLUBILIDADE**
- **GRANULOMETRIA**
- **OUTROS NUTRIENTES EM MISTURA**

# COMPOSIÇÃO QUÍMICA

- SSP =  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- TSP =  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- MAP =  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$
- Fosfato reativo =  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6 - x(\text{CO}_3)x\text{F}_{0,4x+2}$

# CONCENTRAÇÃO DE $P_2O_5$ TOTAL E $P_2O_5$ SOLÚVEL EM ÁCIDO CÍTRICO A 2% DE ALGUMAS FONTES DE FÓSFORO

Fonte	$P_2O_5$	
	Total	A.C.
Superfosfato triplo	45,5	40,4
Termofosfato magnésiano	17,5	15,6
Fosfato de Gafsa	27,3	12,6
Araxá	37,3	4,6
Patos	23,8	4,5
Tapira	36,0	3,0

Fonte: Feitosa et al. (1978)



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA (EA) E EQUIVALENTE SUPERFOSFATO TRIPLO (EQ.ST) DE FONTES DE FÓSFORO, DURANTE OITO ANOS DE UMA SEQUÊNCIA DE CULTIVOS EM UM LE DE CERRADO, EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

Fonte	EA – Base Absorção de P			Eq. ST Total
	C. Anuais	Andropogon	Total	
Termo-Mag	110	119	114	> 100
Gafsa	106	106	106	> 100
Florida	96	129	106	100
Pirocaua (MA)	81	84	82	62
Patos Minas	56	91	70	44
Araxá	47	74	58	32
Abaeté	47	71	56	31
Catalão	26	43	33	15

**Citação: Goedert & Lobato (1984)**

## EFEITO DO TAMANHO DOS GRÂNULOS NA QUANTIDADE DE P ABSORVIDO

Milho – <u>Superfosfato triplo</u>		Trigo – <u>Fosfato de Gafsa</u>	
Ø Grânulos	P absorvido	Ø Grânulos	P absorvido
mm	mg P	mm	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Pó	2,8	Pó	4,7
2	4,9	1,4-2,0	1,7
4	9,6	2,0-2,4	1,9
6	9,3	3,4-4,0	1,6

Citação = Sousa (1980) e Barreto (1977)



**IPNI** INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# FATORES QUE INFLUEM NA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

## PROPRIEDADES DOS SOLOS

- STATUS DE P
- PH
- CAPACIDADE DE ADSORÇÃO DE P
- TEXTURA
- TEOR DE M.O.
- MICORRIZAS

# STATUS DE P

INTERPRETAÇÃO DA ANÁLISE DE SOLO PARA FÓSFORO EXTRAÍDO PELO MÉTODO MEHLICH 1, DE ACORDO COM O TEOR DE ARGILA, PARA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO FOSFATADA EM SISTEMA DE SEQUEIRO COM CULTURAS ANUAIS.

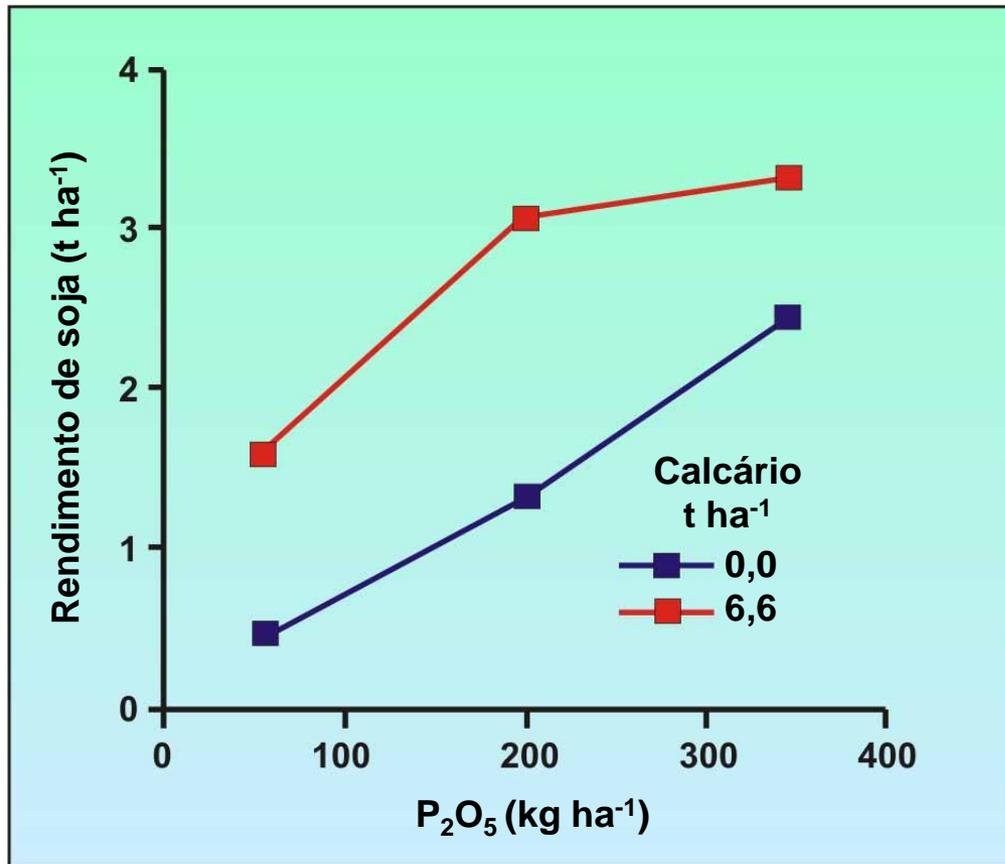
Teor de argila (%)	Teor de P no solo (mg dm <sup>-3</sup> )				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
≤ 15	0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	>25,0
16 a 35	0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	>20,0
36 a 60	0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	>12,0
> 60	0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	>6,0

Fonte: SOUSA et al. (2002).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# PH



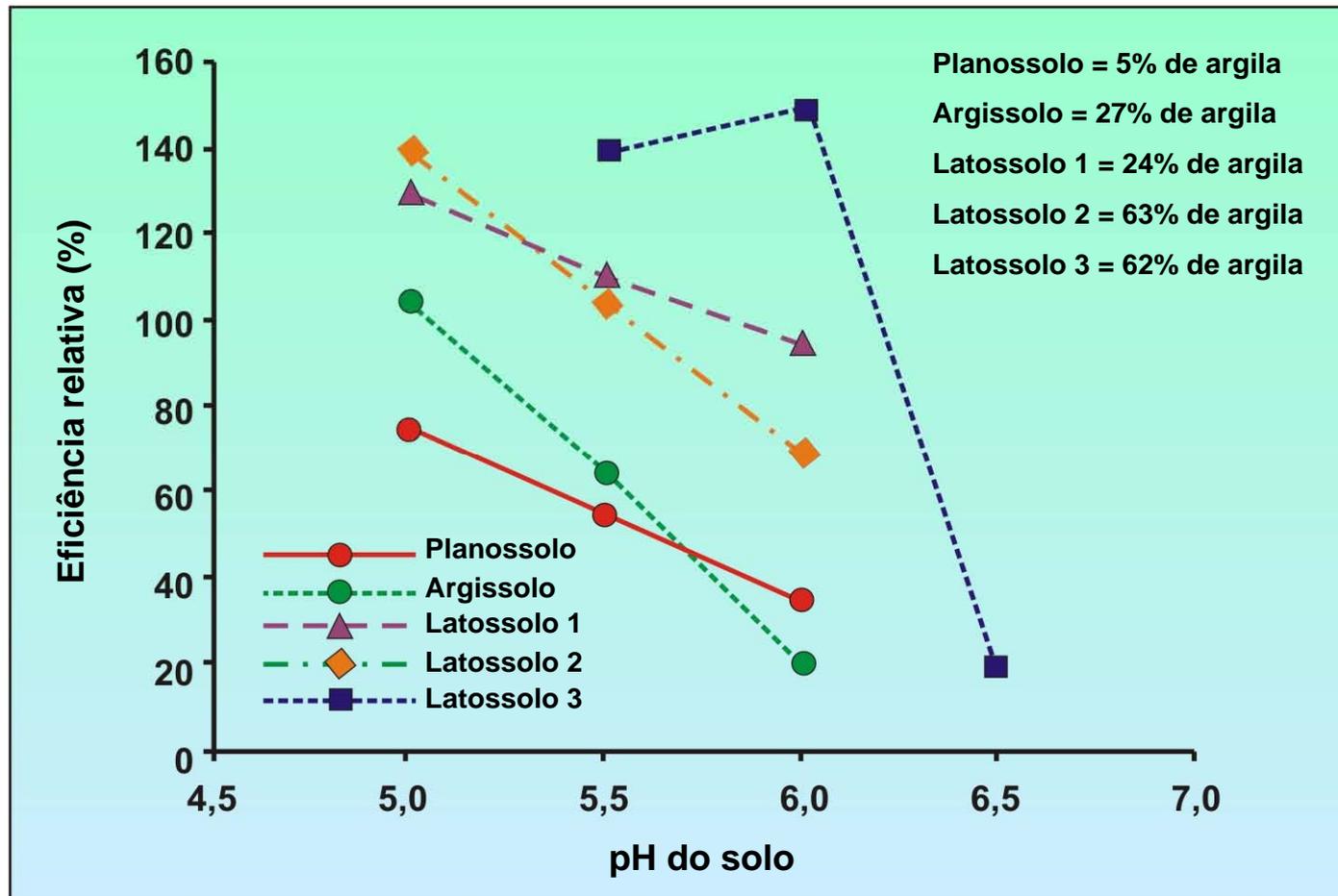
PRODUTIVIDADE MÉDIA DE GRÃOS DE CINCO VARIEDADES DE SOJA EM ÁREA COM DUAS DOSES DE CALCÁRIO E TRÊS DOSES DE FÓSFORO, APLICADAS A LANÇO, NA FORMA DE SUPERFOSFATO SIMPLES, EM LATOSSOLO VERMELHO ESCURO ARGILOSO.

Fonte: Adaptada de EMBRAPA (1976)



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

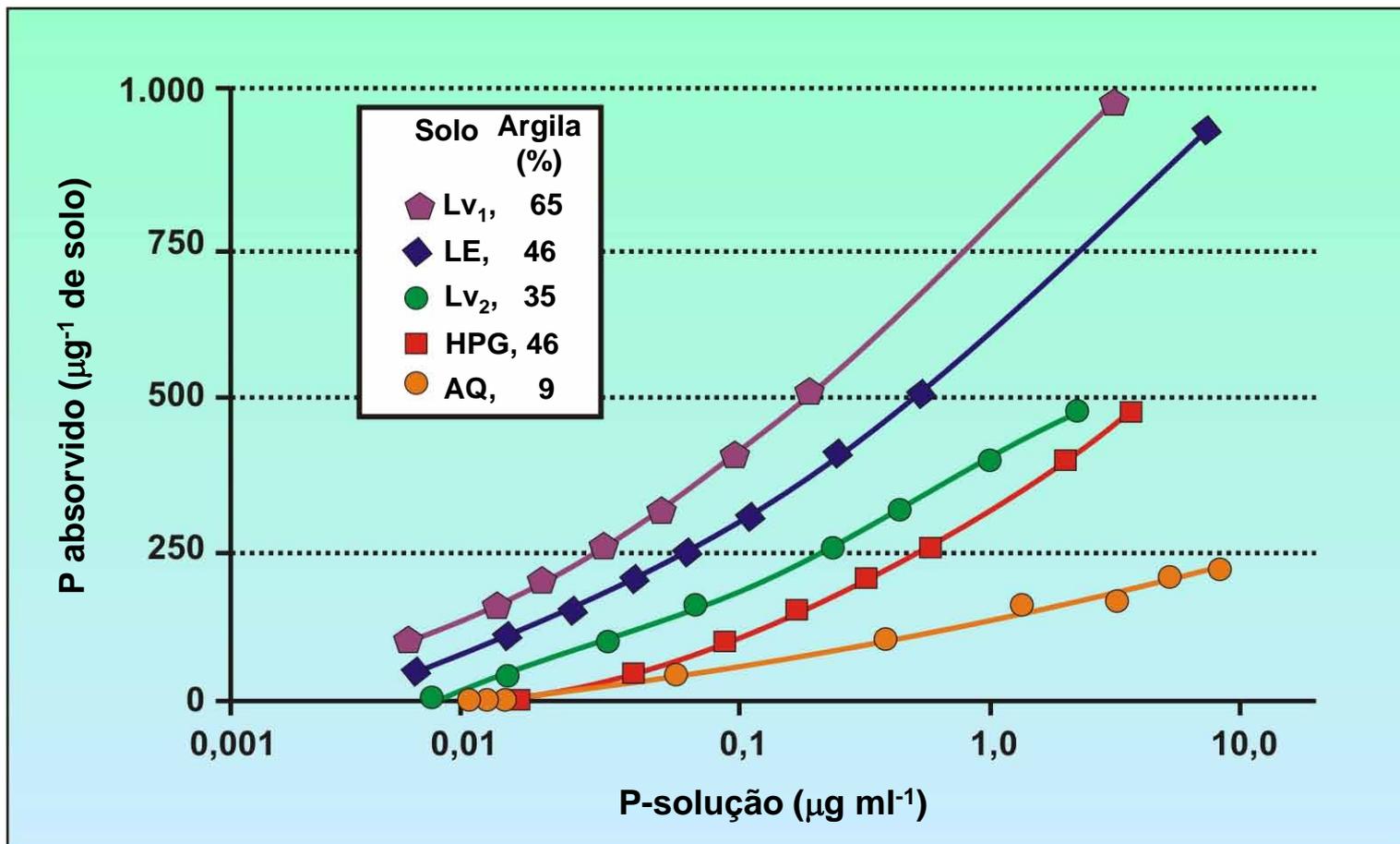
# PH



EFICIÊNCIA RELATIVA DO FOSFATO NATURAL DE GAFSA EM CINCO SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL EM FUNÇÃO DO PH.

Fonte: DYNIA (1977).

# CAPACIDADE DE ADSORÇÃO DE P



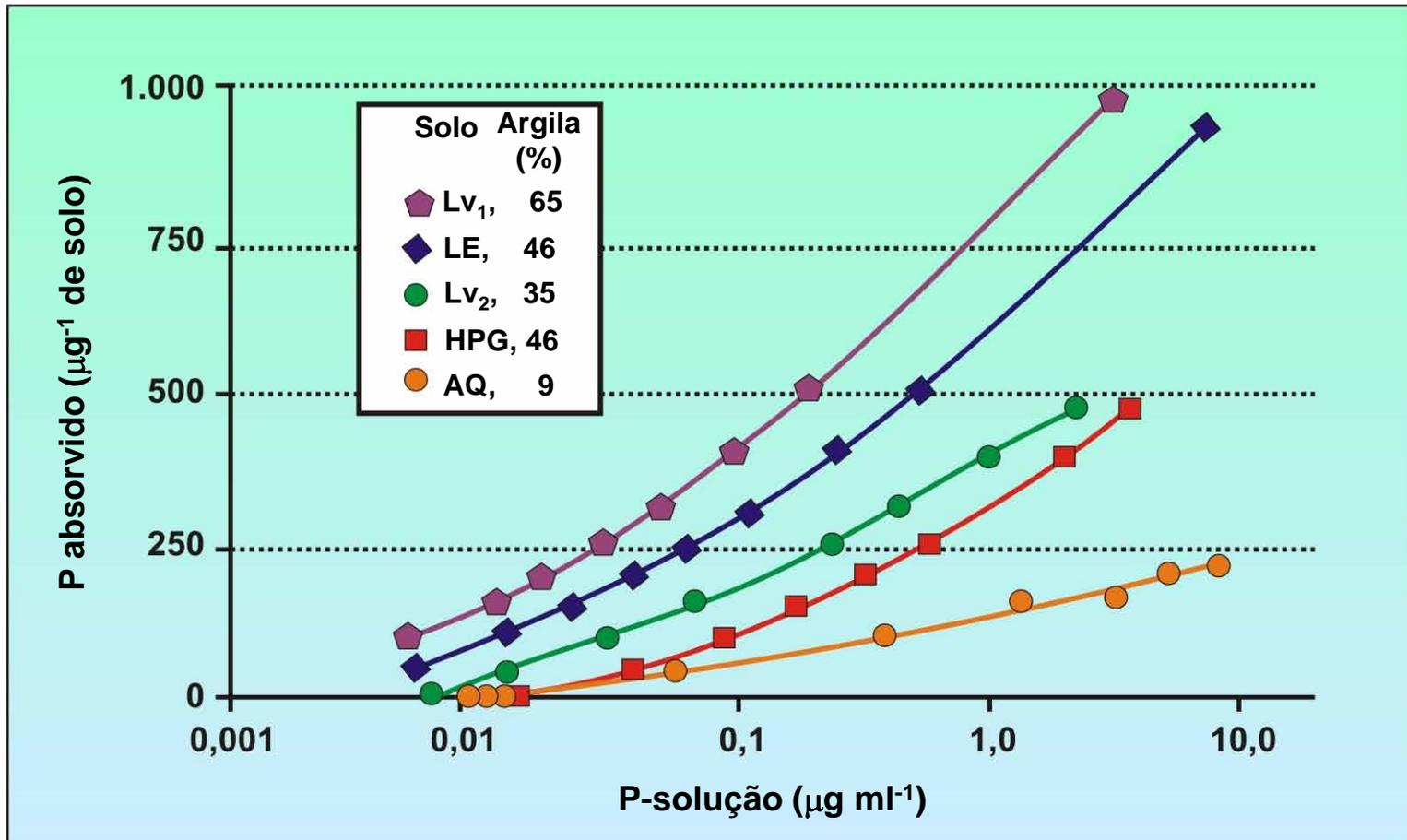
RELAÇÃO ENTRE P-ADSORVIDO E P-SOLUÇÃO EM SOLOS DA REGIÃO DO CERRADO COM DIFERENTES TEORES DE ARGILA.

Fonte: SOUSA (1982).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# TEXTURA



RELAÇÃO ENTRE P-ADSORVIDO E P-SOLUÇÃO EM SOLOS DA REGIÃO DO CERRADO COM DIFERENTES TEORES DE ARGILA.

Fonte: SOUSA (1982).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# MICORRIZAS

RENDIMENTO DE GRÃOS DE SORGO, TEOR DE FÓSFORO NO SOLO E NÚMERO DE PROPÁGULOS DE FUNGOS MICORRÍZICOS APÓS DOIS ANOS DE CULTIVO DA ÁREA COM ALGUMAS CULTURAS, EM UM LATOSSOLO ARGILOSO, COM A MESMA ADUBAÇÃO FOSFATADA.

Cultura plantada por dois anos	Rendimento de grãos de sorgo (kg ha <sup>-1</sup> )	P extraível no cultivo (mg dm <sup>-3</sup> )		Propágulos de fungos vesículo-arbusculares <sup>(1)</sup> (nº em 10g de solo)
		Antes	Depois	
Soja	3.077	2,0	1,6	126,0
Soja + FMVA <sup>(2)</sup>	3.472	3,2	1,7	126,0
Mucuna	4.772	2,2	1,6	98,9
Arroz	1.789	1,9	1,8	59,3
Repolho	1.183	1,9	1,5	11,0
Sem Plantio	2.400	2,8	1,7	17,0
	dms (5%)	981	ns	ns

(1) Avaliados 11 semanas depois da germinação do sorgo.

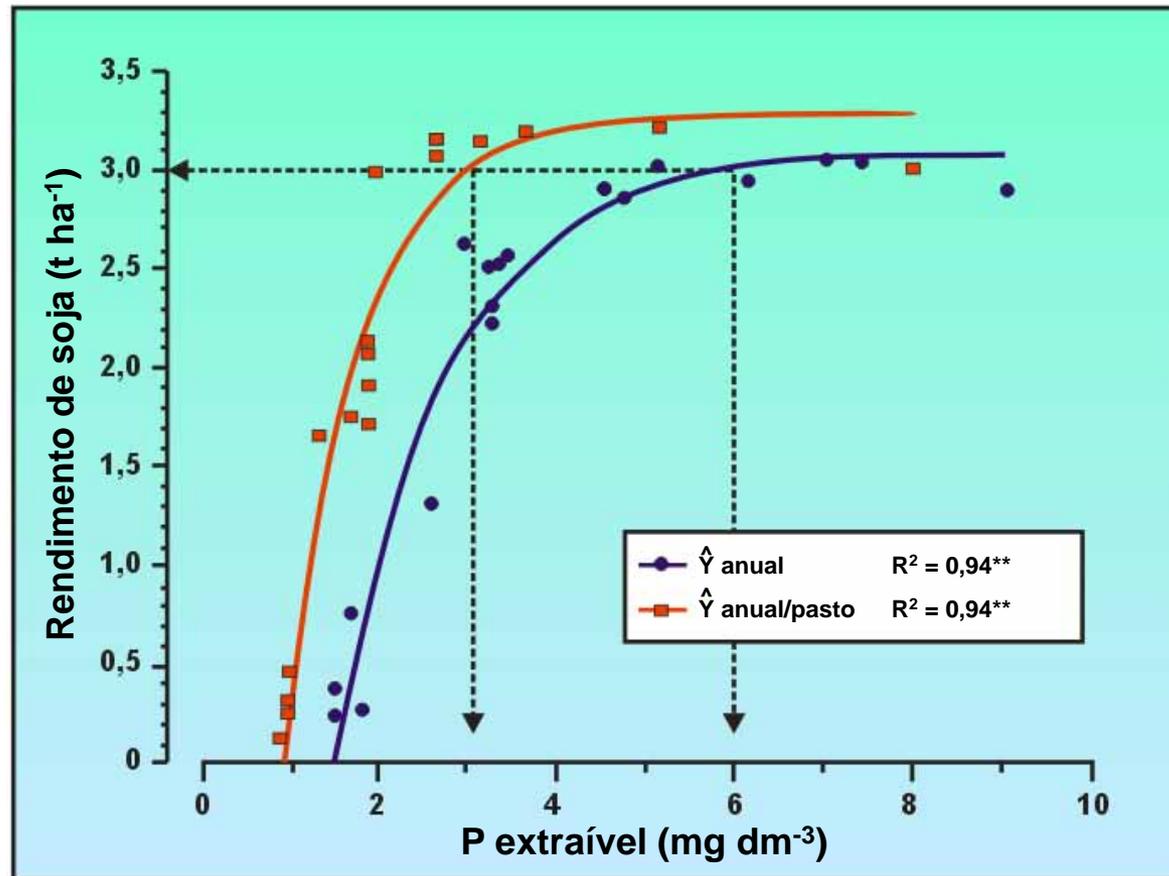
(2) Soja inoculada com fungos micorrízicos vesículo-arbusculares exóticos.

Fonte: SANO et al. (1989).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# TEOR DE M.O.



EFEITO DE DOIS SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS NA RELAÇÃO ENTRE O FÓSFORO EXTRAÍVEL (MEHLICH 1) NA CAMADA DE 0 A 20 CM DE PROFUNDIDADE E O RENDIMENTO DE GRÃOS DE SOJA CV. CRISTALINA 13º CULTIVO.

Fonte: SOUSA et al. (1997).

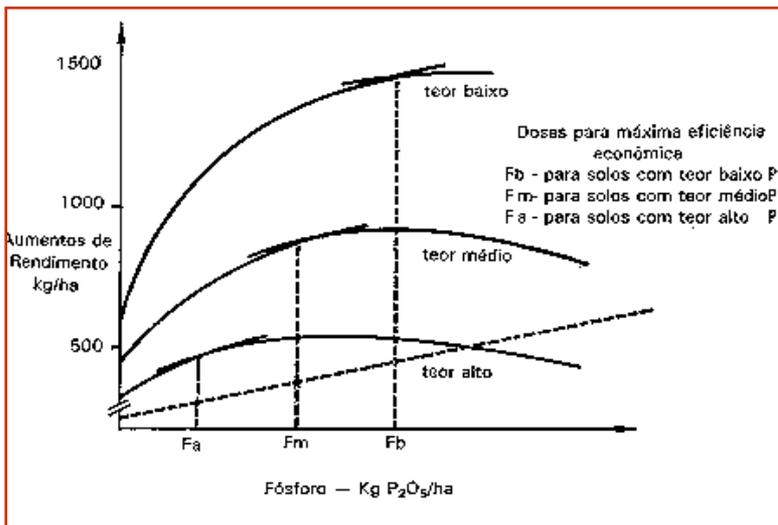


IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# FATORES QUE INFLUEM NA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

## MANEJO DO SOLO

- DOSE DE P E OUTROS NUTRIENTES
- FORMA DE APLICAÇÃO
- EFEITO RESIDUAL



# DOSE DE P

**ADUBAÇÃO MINERAL DE PLANTIO: APLICAR DE ACORDO COM A ANÁLISE DE SOLO E A PRODUTIVIDADE ESPERADA, CONFORME A SEGUINTE TABELA:**

Produtividade esperada	Nitrogênio	P resina, mg/dm <sup>3</sup>				K <sup>+</sup> trocável, mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>			
		0-6	7-15	16-40	>40	0-0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	>3,0
t/ha	N, kg/ha	----- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , kg/ha -----				----- K <sub>2</sub> O, kg/ha <sup>(2)</sup> -----			
2-4	10	60	40	30	20	50	40	30	0
4-6	20	80	60	40	30	50	50	40	20
6-8	30	90	70	50	30	50	50	50	30
8-10	30	(1)	90	60	40	50	50	50	40
10-12	30	(1)	100	70	50	50	50	50	50

**Milho – Raj et al, 1996**

# FORMA DE APLICAÇÃO

EFEITO DO MODO DE APLICAÇÃO DE 50 MG KG<sup>-1</sup> DE P DE FOSFATOS ACIDULADOS NA QUANTIDADE DE P ACUMULADO POR PLANTAS DE MILHO

Fonte	Modo de Aplicação	
	Volume total	1% Volume
FA 1	16,8 B	22,2 A
FA 2	12,6 B	17,1 A
FA 3	12,9 B	16,2 A

**FOSF. ACIDULADOS = ELEVADO  
TEOR DE P SOLÚVEL EM ÁGUA**

Citação: Prochnow et al. (1998)

# USO EFICIENTE DE ADUBO FOSFATADO

- QUALIDADE DO FERTILIZANTE  
FORMA QUÍMICA DO P  
CONCENTRAÇÃO  
GRANULOMETRIA E FLUIDEZ
- CONDIÇÃO DO SOLO (EX.: PH)
- DOSE (TEOR DE P E TABELAS)
- LOCALIZAÇÃO OU FORMA DE APLICAÇÃO
- UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO
- PLANTAS MAIS EFICIENTES
- PRESENÇA DE MICORRIZAS
- EFEITO RESIDUAL
- OUTROS FATORES DE DESENVOLVIMENTO DA PLANTA

**PRODUÇÃO POTENCIAL DE QUATRO LAVOURAS DE SOJA, IMPLANTADAS EM SOLO DE ALTA RESPOSTA À ADUBAÇÃO FOSFATADA, UTILIZANDO A MESMA QUANTIDADE TOTAL DE FERTILIZANTE FOSFATADO.**

Alt.	Área	Ad. P	Rend. Pot. <sup>(1)</sup>	Prod. Total	Custos <sup>(2)</sup>			Rec. Líquida		Prod. Líq./u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
					Fixos	Fosf.	Total	t gr	Pr/Custo	
	ha	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	t gr/ha	t gr	t grãos					
A	300	40	0,9	270	210	48	258	12	1,04	1,0
B	200	60	1,3	260	140	48	188	72	1,38	6,0
C	150	90	1,6	240	105	48	153	87	1,57	7,3
D	100	120	2,2	220	70	48	118	102	1,87	8,5

(1) Calculado com base nas curvas de respostas potenciais

(2) Baseado nos custos fixos (total – fert. fosfatado) de 700 kg grãos/ha e na condição de que são necessários 4 kg de soja para pagar 1 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

# Desenvolvimentos Recentes na Produção e Utilização de Fertilizantes para Melhorar a Eficiência e Minimizar Impactos



Ambientais

FÓSFORO

S. H. Chien<sup>1</sup>, L. I. Prochnow<sup>2</sup>, and H. Cantarella<sup>3</sup>



<sup>1</sup> Principal Scientist- Soil Chemistry (retired), International Fertilizer Development Center (IFDC), P. O. Box 2040, Muscle Shoals, 35662, Alabama, USA. Present address: 1905 Beechwood Circle, Florence, Alabama 35630, USA.

Email: [nchien@comcast.net](mailto:nchien@comcast.net)

<sup>2</sup> Brazil Program Director, International Plant Nutrition Institute (IPNI). Professor of the University of São Paulo, ESALQ, Grad Course in Soil and Plant Nutrition, Piracicaba, SP, Brazil.

Email: [lprochnow@ipni.net](mailto:lprochnow@ipni.net)

<sup>3</sup> Soil Fertility Scientist, Instituto Agronômico, Campinas, SP, Brazil.

Email: [cantarella@iac.sp.gov.br](mailto:cantarella@iac.sp.gov.br)

## **Eficiência dos Fertilizantes Fosfatados Convencionais**

-  **3.1. Fertilizantes Fosfatados Solúveis Revestidos**
- 3.2. Supergranulos de Uréia (SGU) contendo P e K (situação específica)**
- 3.3. Fertilizantes Solúveis: Fluido versus Sólido/Granular**

## **4. Eficiência de Fertilizantes Fosfatados Não Convencionais**

-  **4.1. Aplicação direta de FR**
-  **4.2. Misturas de FR e PSA**
- 4.3. FR Não Apatíticos Calcinados para Aplicação Direta**
-  **4.4. Eficiência Agronômica de Fertilizantes Acidulados Não Convencionais**

## Produtividade de milho obtida com o uso de MAP e de MAP revestido com polímero

Dose de P, kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Método de aplicação	Fonte de P	Produtividade, t ha <sup>-1</sup>
0	N/A	Controle	3,8
35	Localizado	MAP	8,5
35	Localizado	MAP- polímero	9,2
35	A lanço	MAP	7,1
35	A lanço	MAP-polímero	10,1
LSD (0,10)	N/A	N/A	1,2

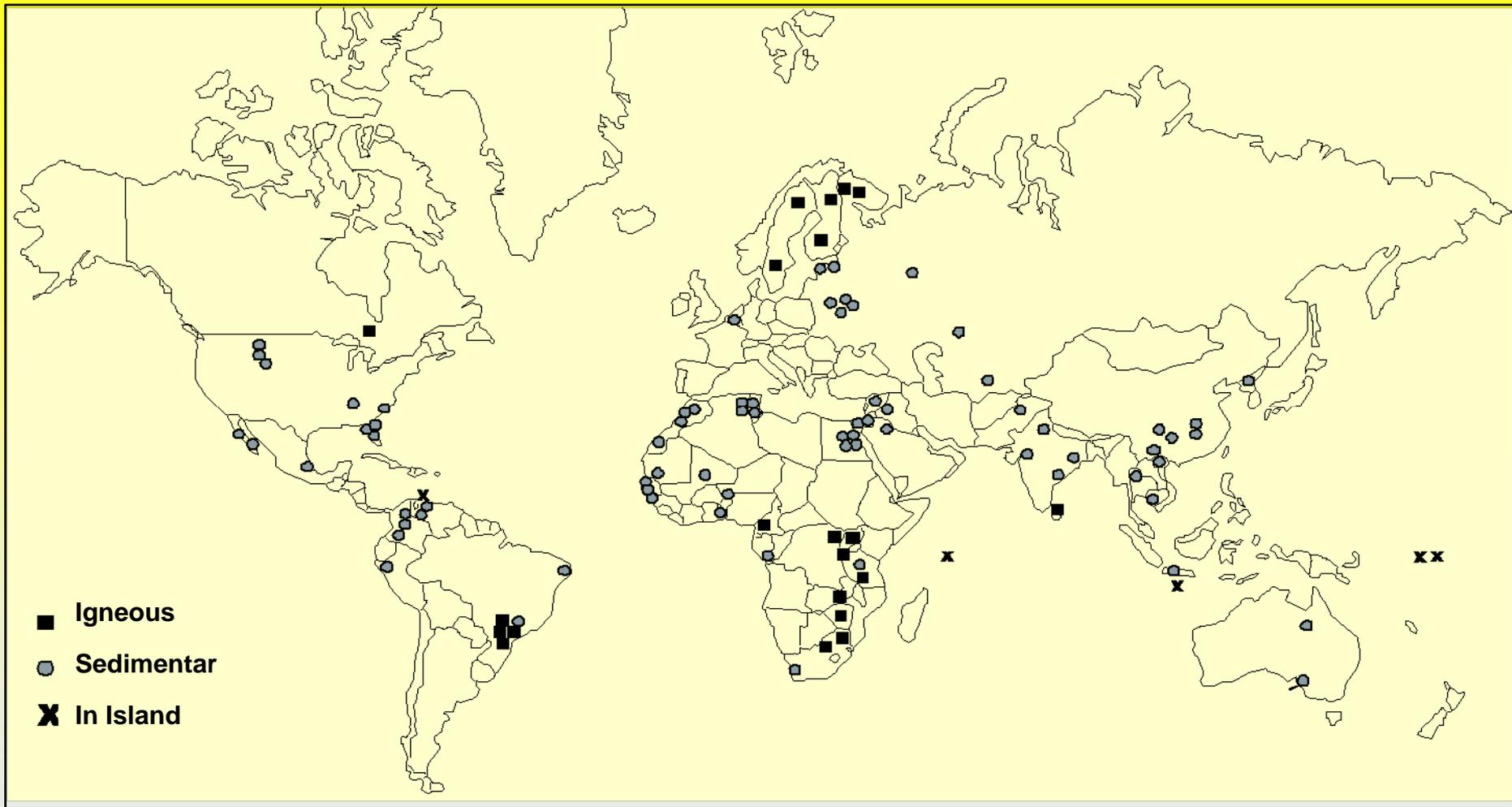
Fonte: G. J. Gascha (2008), dados não publicados. Disponível no site da SFP, [www:specialityfertilizer.com](http://www.specialityfertilizer.com)

## **Eficiência dos Fertilizantes Fosfatados Convencionais**

-  **3.1. Fertilizantes Fosfatados Solúveis Revestidos**
- 3.2. Supergranulos de Uréia (SGU) contendo P e K (situação específica)**
- 3.3. Fertilizantes Solúveis: Fluido versus Sólido/Granular**

## **4. Eficiência de Fertilizantes Fosfatados Não Convencionais**

-  **4.1. Aplicação direta de FR**
-  **4.2. Misturas de FR e PSA**
- 4.3. FR Não Apatíticos Calcinados para Aplicação Direta**
-  **4.4. Eficiência Agronômica de Fertilizantes Acidulados Não Convencionais**

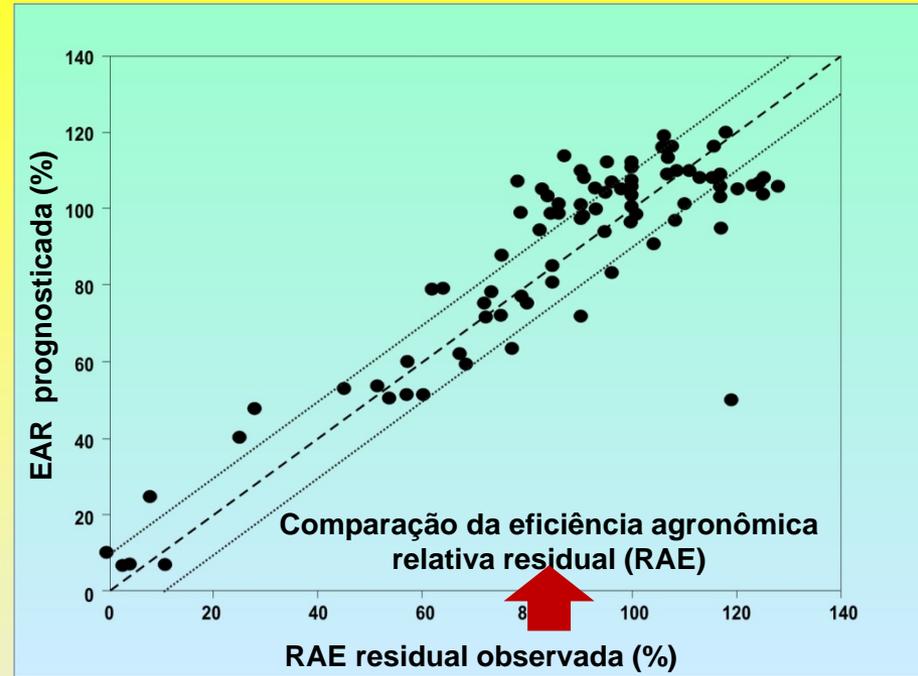
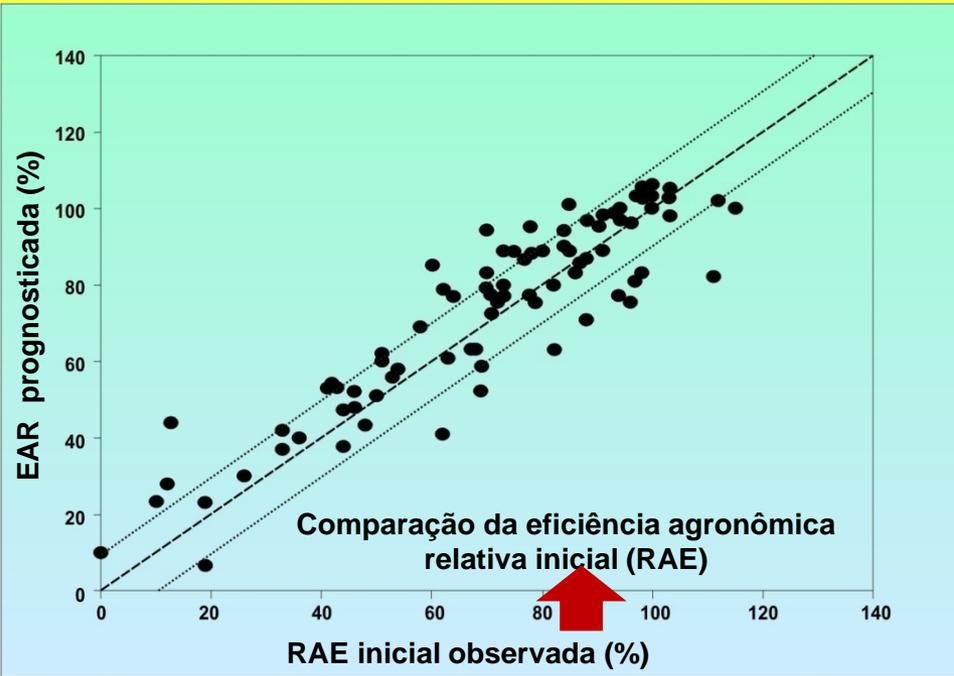


**Depósitos de FR Importantes ou Potencialmente Importantes  
(Van Kauwenbergh, 2003)**

# PRDSS

***EA FR = f (propriedades do FR, propriedades do solo, práticas de manejo e cultura)***

- Havia necessidade de integrar todos os fatores em um sistema amplo.
- PRDSS = Sistema de Apoio à Decisão para o Uso de Fosfato de Rocha (Smalberger et al., 2006).
- IAEA Website = [www.iswam.iaea.org/dapr/srv/en/resources](http://www.iswam.iaea.org/dapr/srv/en/resources).
- A versão atual aplica-se apenas ao efeito inicial. Novos estudos existem para incorporar o efeito residual.



**Comparação da eficiência agronômica relativa observada e prevista para a aplicação inicial de FR e PSA. A variação ( $\pm 10\%$ ) ao longo da linha central (linha tracejada)   identificada pelas linhas pontilhadas.**

## Mistura de FR e PSA

- Sob várias condições, a eficiência do FR pode ser baixa (por exemplo: baixa reatividade do FR, elevado pH do solo, rápido desenvolvimento da cultura).
- A mistura de FR e PSA é factível e pode melhorar a eficiência do FR (acidez parcial ou compactação).
- Por exemplo, a eficiência agronômica do FR de Patos, pouco reativo, misturado com super simples (SSP) na relação 50:50 mostrou-se tão eficiente quanto o SSP na produção de matéria seca de trigo e de grama ryegrass (Prochnow et al., 2004).

## Eficiência Agronômica Relativa (EAR, %) de fontes alternativas de fósforo produzidas a partir da rocha fosfatada de Patos de Minas em relação a um superfosfato simples de elevada solubilidade em água

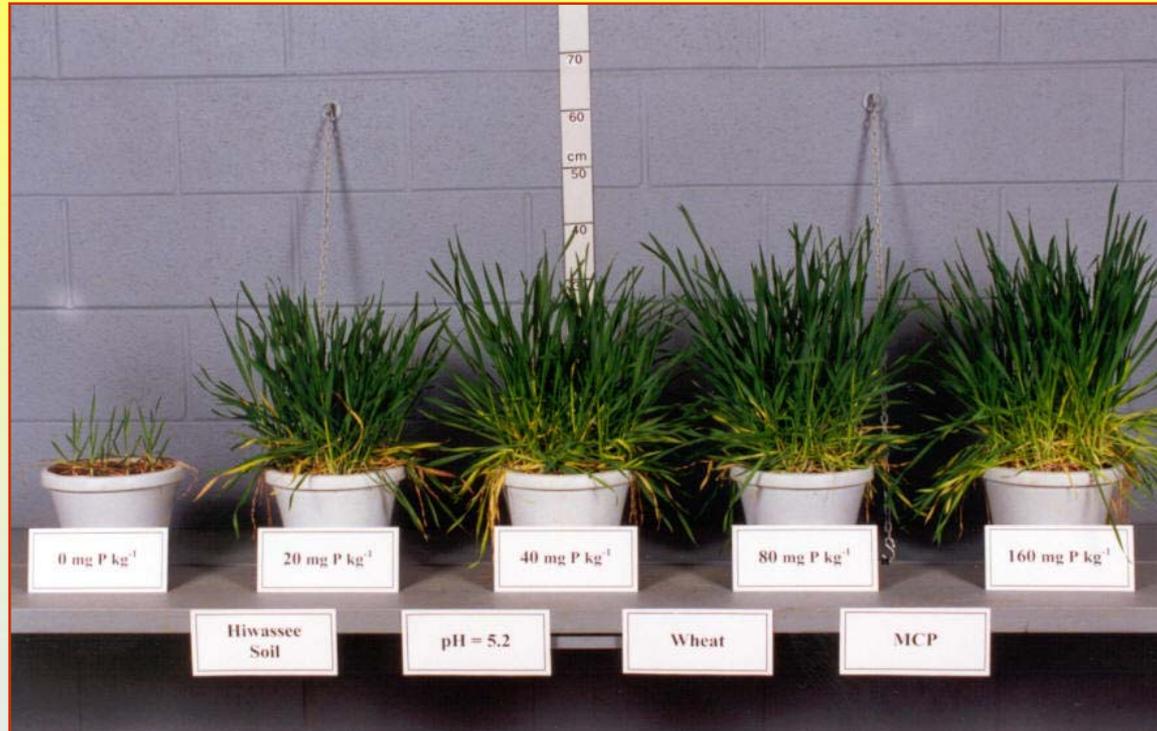
Fonte de P	EAR			
	Trigo		Rye Grass	
	MS	P acumulado	MS	P acumulado
SSP (padrão)	100	100	100	100
FR PM	1	1	30	15
LG SSP PM	91	87	99 ←	95
FR + SSP (C)	99 ←	88	95 ←	77
FR + SSP (M)	69 ←	57	86 ←	72

**Explanation:** WSP can provide initial available P to plants that result in a better root development that in turn may utilize PR more effectively and also because the acid reaction of WSP that can help to dissolve the PR.

## **Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados acidulados não convencionais**

- **Quantidades de FR com alta qualidade usados para produzir fertilizantes fosfatados acidulados convencionais (SSP, TSP, MAP, DAP) estão diminuindo rapidamente em todo o mundo.**
- **No mundo todo, empresas terão que purificar mais o FR (opção A) ou terão que obter uma variedade de diferentes fertilizantes finais com níveis maiores de “impurezas contendo P” (opção B) (Mullins e Sikora, 1995).**
- **Mais resíduos são esperados se a opção A for adotada.**

## 4. Pesquisa recente



# BACKGROUND ABOUT THE RESEARCH

- IN SOME COUNTRIES, INCLUDING BRAZIL, ACIDULATED P FERTILIZERS HAVE TO HAVE 90% WATER-SOLUBLE P IN THE CITRATE-SOLUBLE P FRACTION (LEGISLATION).
- HIGH AMOUNTS OF ENERGY AND MONEY ARE SPENT IN ORDER TO PRODUCE P FERTILIZERS WITH HIGH CONTENTS OF WATER-SOLUBILITY.
- SOME APATITE CONCENTRATES ARE DISCARDED.

## **LEHR (1980)**

**ARE WATER-INSOLUBLE PHOSPHATES TO BE  
AVOIDED AT ALL COST?**

**THE NEED FOR A MORE REALISTIC SET OF  
PRODUCT SPECIFICATIONS IS ONE OF THE MOST  
IMPORTANT PROBLEMS CONFRONTING PHOSPHATE  
PRODUCERS TO SEEK RELIEF FROM UNNECESSARY  
AND COSTLY PURIFICATION STEPS. ONLY  
AGRONOMIC RESEARCH CAN PROVIDE THE  
NECESSARY GUIDANCE.**

# STUDY 1

## CHARACTERIZATION AND AGRONOMIC EVALUATION OF SINGLE SUPERPHOSPHATES VARYING IN IRON PHOSPHATE IMPURITIES

**PROCHNOW. L.I.; CHIEN. S.H.; TAYLOR. R.W.; CARMONA. G.;  
HENAO. J. & DILLARD. E.F. Agronomy Journal. 95:293-302. 2003.**

**TOTAL. CITRATE. WATER-SOLUBLE P AND PERCENTAGE OF WATER-SOLUBLE P IN THE AVAILABLE P FRACTION (FI) OF THE P SOURCES UTILIZED IN THE EXPERIMENTS.**

P Source	P				Fe	fi
	Total	Available	Water	2% C.A. †		
MCP	55.8	55.3	54.6	54.3	1.3	99
SSP1	20.8	19.6	16.8	17.6	2.2	86
SSP2	17.2	16.1	12.8	14.1	4.3	80
SSP3	17.7	16.4	7.5	10.2	0.0	46

**RELATIVE AGRONOMIC EFFECTIVENESS (RAE; %) OF EACH SSP  
RELATIVE TO MCP FOR UPLAND AND FLOODED RICE.**

P source	Dry-matter yield	P uptake
<b>Upland Rice</b>		
MCP	<b>100</b>	<b>100</b>
SSP1	<b>98</b>	<b>88</b>
SSP2	<b>96</b>	<b>93</b>
SSP3	<b>88</b>	<b>76</b>
<b>Flooded Rice</b>		
MCP	<b>100</b>	<b>100</b>
SSP1	<b>97</b>	<b>91</b>
SSP2	<b>111</b>	<b>110</b>
SSP3	<b>102</b>	<b>85</b>
MCP: standard source of P		
RAE=( $\beta_i/\beta_{MCP}$ )*100. <i>i</i> = other SSP		

# CONCLUSIONS - STUDY 1

- ACIDULATED PHOSPHATE FERTILIZERS WITH AS LOW AS 46% OF TOTAL AVAILABLE PHOSPHORUS CONTENT AS WATER-SOLUBLE PHOSPHORUS CAN BE ALMOST AS EFFICIENT AS MCP FOR UPLAND AND FLOODED RICE AND THAT THERE IS NO SENSE IN DISCARDING THIS SOURCE OF P BASED ONLY ON THE CRITERIA OF LOW WATER-SOLUBILITY.
- ACIDULATED PHOSPHATE FERTILIZERS WITH LOWER WATER-SOLUBLE PHOSPHORUS CONTENT CONTAINING FE-P COMPOUNDS CAN BE MORE AGRONOMICALLY EFFECTIVE FOR FLOODED RICE THAN UPLAND CROPS BECAUSE OF THE REDUCED CONDITIONS UPON FLOODING THAT PROMOTES DISSOLUTION OF IRON AND MAYBE ALUMINUM PHOSPHATES.



**CONTAINING FE-P COMPOUNDS**

**FE-P COMPOUNDS**

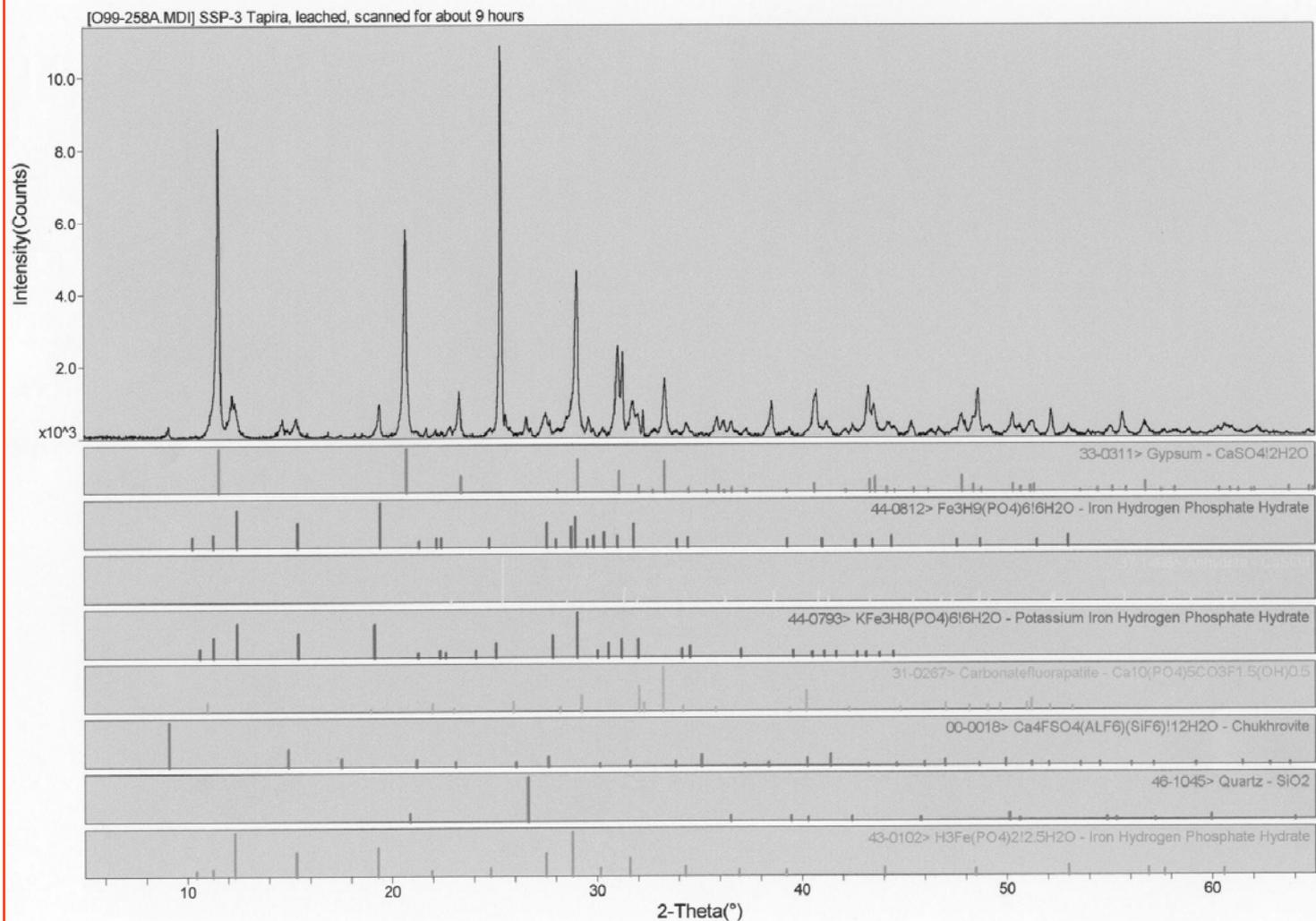
**?**



# **IDENTIFICATION AND ESTIMATION OF THE CHEMICAL/MINERALOGICAL COMPOSITION OF ACIDULATED P FERTILIZERS**

- **LITERATURE REVIEW: COMPOUNDS PREVIOUSLY IDENTIFIED**
- **X RAY ANALYSIS**
- **INFRARED ANALYSIS**
- **CHEMICAL ANALYSIS OF THE FERTILIZER (ORIGINAL AND LEACHED)**
- **SOLUBILITY INDEX OF COMPOUNDS**

# SSP 3 LEACHED



**ESTIMATION OF THE MINERALOGICAL COMPOSITION OF SSP  
PRODUCED FROM ARAXÁ PHOSPHATE ROCK**

<b>EXCLUDING THE WATER OF HIDRATION OF THE COMPOUNDS</b>				
<b>N.</b>	<b>Compound</b>	<b>SSP1</b>	<b>SSP2</b>	<b>SSP3</b>
1	<b>Fe3KH8(PO4)6</b>	0.4	0.4	0.6
2	<b>Fe3NaH8(PO4)6</b>	5.02	3.35	6.36
3	<b>Fe3H9(PO4)6</b>	0.4	6.19	12.34
4	<b>Na2SiF6</b>	0.25	0.41	0.33
5	<b>Ca10(PO4)6OH0.97F1.03</b>	2.82	2.6	3.09
6	<b>Ca4SiAlSO4F13</b>	2.18	0.4	2.1
7	<b>SiO2</b>	0	0	0.73
8	<b>CaF2</b>	0.25	1.44	0
9	<b>MgSO4</b>	0.35	0.4	0.45
10	<b>SrSO4</b>	1.53	1.32	1.17
11	<b>ZnSO4</b>	0.07	0.1	0.15
12	<b>Ti2(SO4)3</b>	0.92	1.4	1.88
13	<b>BaSO4</b>	1.92	1.14	1.28
14	<b>Al2(SO4)3</b>	0.25	1.27	1.08
15	<b>Ba(H2PO4)2</b>	0.19	0.41	0.28
16	<b>CaSO4</b>	49.15	49.7	46.87
17	<b>Ca(H2PO4)2</b>	34.19	19.08	12.81
	<b>TOTAL</b>	<b>99.89</b>	<b>89.61</b>	<b>91.52</b>
	<b>Calc. Total P =</b>	<b>9.8</b>	<b>7.38</b>	<b>8.31</b>
	<b>Analytical Total P =</b>	<b>9.47</b>	<b>8.27</b>	<b>7.93</b>
	<b>Calc. P in MCP =</b>	<b>7.83</b>	<b>4.37</b>	<b>2.94</b>
	<b>Analytical WSP P =</b>	<b>7.34</b>	<b>5.59</b>	<b>3.27</b>



## STUDY 2

**THE REQUIREMENT FOR WATER-SOLUBLE  
PHOSPHORUS IN ACIDULATED PHOSPHATES  
CONTAINING FE-AL-P COMPOUNDS AS  
INFLUENCED BY SOIL PH**

**PROCHNOW. L.I.; CHIEN. S.H.; CARMONA. G.; HENAO. J.;  
DILLARD. E.F.; AUSTIN. E.R. SSSAJ. 2008.**



# STATISTICS (SAS)

- **Model:**

Segmented (quadratic and linear)

- **RY =**

$(DMY S_i / DMY S_j) * 100$

$S_i$ : highest DMY

- **Plateau:**

- ▶  $y = A + BX + CX^2$  if  $X < X_0$  and  $Y = P$  if

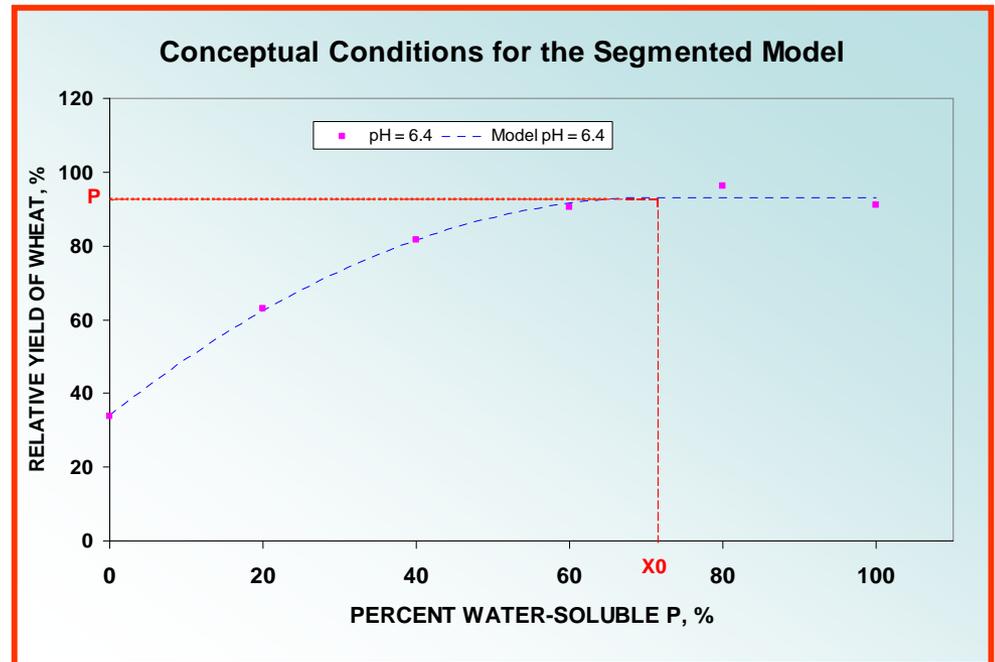
$X > X_0$

- ▶ Two sections must meet at  $X_0$

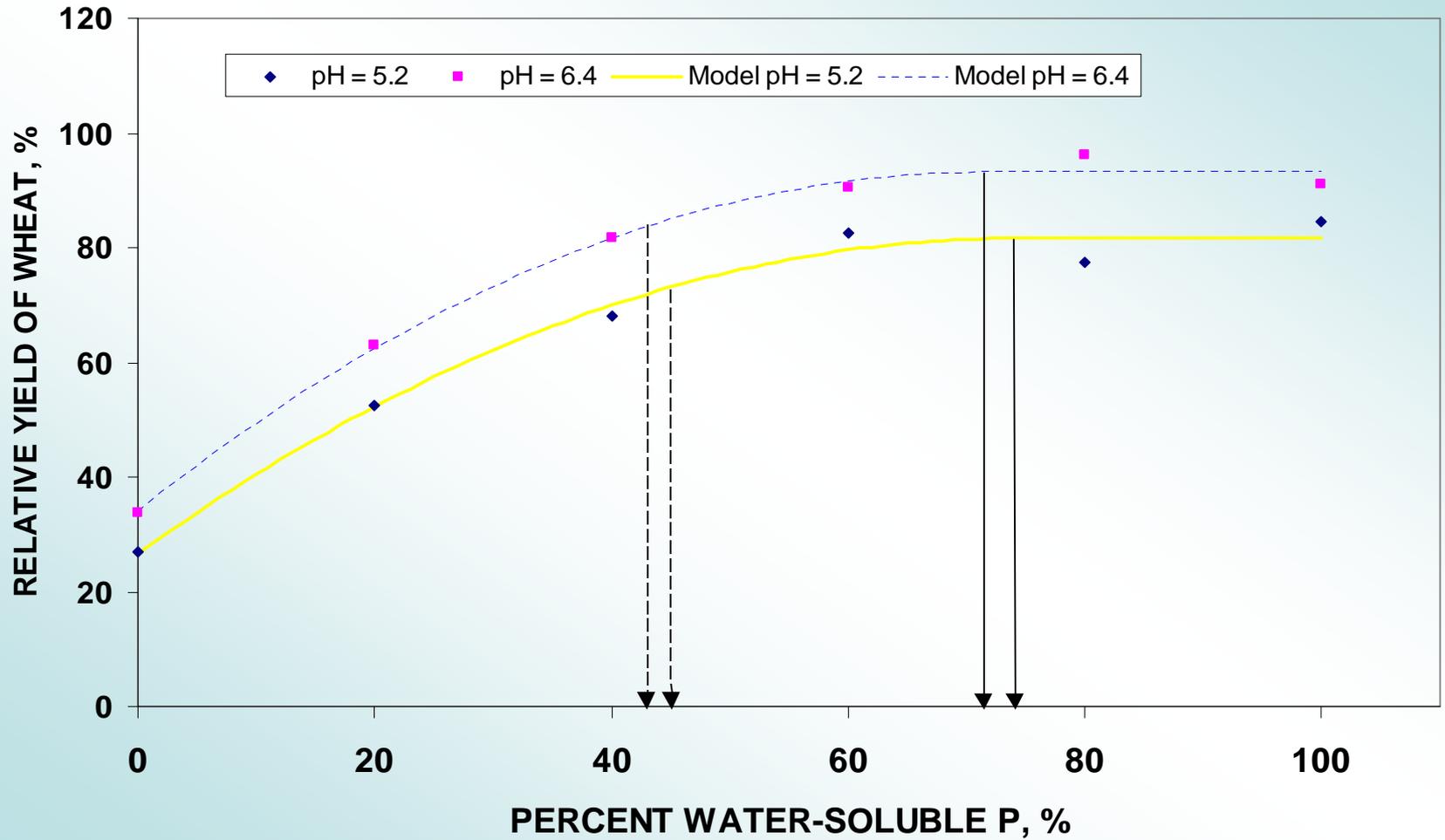
- ▶ The curve must be smooth (first derivative with respect to  $X$  are the same at  $X_0$ )

- ▶ These conditions imply that:

$X_0 = -B/2C$  and  $P = A - B^2/4C$



### SSP - Relative Yield



**Segmented regression models for P sources in each soil pH condition describing the relationship between dry-matter yield of wheat (DMY;  $Y = \text{g pot}^{-1}$ ) or relative yield of wheat (RY;  $Y = \%$ ) and the rate of P applied ( $X, \text{mg kg}^{-1}$ ) for the MCP and relative yield of wheat (RY;  $Y = \%$ ) and the percentage of water-soluble P ( $X = \%$ ) for the P sources TSP 1, TSP 2, SSP 1 and SSP 2.**

P Source <sup>a</sup>	pH	Segmented regression model			Rate ( $\text{mg P kg}^{-1}$ ) Required to Reach <sup>b</sup>		WSP (%) Required to Reach <sup>c</sup>	
		Quadratic equation ( $R^2$ )	SE <sup>d</sup>	Plateau	Plateau	90% of plateau	Plateau	90% of plateau
					----- $\text{mg P kg}^{-1}$ -----		----- % -----	
MCP-DMY	5.2	$y = 0.94 + 0.957x - 8.8 \times 10^{-3}x^2$ (0.98)	1.25	26.9	54.3	36.8		
MCP-RY	5.2	$y = 3.27 + 3.337x - 30.0 \times 10^{-3}x^2$ (0.97)	4.37	93.9	54.3	36.8		
MCP-DMY	6.4	$y = 0.70 + 1.447x - 19.3 \times 10^{-3}x^2$ (0.97)	1.45	27.8	37.4	25.4		
MCP-RY	6.4	$y = 2.44 + 5.047x - 67.4 \times 10^{-3}x^2$ (0.95)	5.05	96.9	37.4	25.4		
TSP 1-RY	5.2	$y = 35.44 + 1.249x - 7.9 \times 10^{-3}x^2$ (0.97)	1.57	84.9			79	46
TSP 1-RY	6.4	$y = 34.13 + 1.830x - 15.3 \times 10^{-3}x^2$ (0.96)	2.66	88.8			60	36
TSP 2-RY	5.2	$y = 47.98 + 0.745x - 3.9 \times 10^{-3}x^2$ (0.97)	2.14	83.5			95	49
TSP 2-RY	6.4	$y = 42.97 + 1.161x - 6.8 \times 10^{-3}x^2$ (0.96)	5.04	92.9			86	48
SSP 1-RY	5.2	$y = 17.93 + 1.705x - 11.4 \times 10^{-3}x^2$ (0.97)	3.62	81.6			75	48
SSP 1-RY	6.4	$y = 24.42 + 1.897x - 13.1 \times 10^{-3}x^2$ (0.97)	2.21	93.2			72	46
SSP 2-RY	5.2	$y = 58.76 + 0.683x - 4.7 \times 10^{-3}x^2$ (0.96)	4.02	83.7			73	31
SSP 2-RY	6.4	$y = 60.97 + 0.926x - 6.9 \times 10^{-3}x^2$ (0.95)	5.24	92.1			67	31

<sup>a</sup> P Source: MCP. reagent grade monocalcium phosphate; TSP 1. triple superphosphate produced from Tapira PR; TSP 2. triple superphosphate produced from Jacupiranga PR; SSP 1. low-quality single superphosphate produced from Araxa PR; SSP 2. low-quality single superphosphate produced from Patos de Minas PR.

<sup>b</sup> Rate of P ( $\text{mg P kg}^{-1}$ ) needed to obtain the plateau or 90% of the plateau of the segmented model.

<sup>c</sup> Percentage of water-soluble P (WSP) needed to obtain the plateau or 90% of the plateau of the segmented model.

<sup>d</sup> Standard error for comparing predicted values.

## Modal analysis for the main compounds present in the TSP 1, TSP 2, SSP 1 and SSP 2.

Compound †	P source ‡			
	TSP 1	TSP 2	SSP 1	SSP 2
----- % -----				
$\text{Fe}_3(\text{K, Na, H})\text{H}_8(\text{PO}_4)_6$	4.7 §		19.3 §	4.3 §
$\text{Fe}_3\text{KH}_{14}(\text{PO}_4)_8$		1.6 §		
$\text{CaAlH}(\text{HPO}_4)_2\text{F}_2$				6.0 §
$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH},\text{F})$	5.0 §	3.4 §	3.1 §	6.4 §
$\text{SiO}_2$	0.7		0.7	18.7 §
$\text{CaSO}_4$	3.1 §		46.9 §	40.3 §
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$	81.8 §	87.9 §	12.8 §	16.7 §
<b>Total</b>	<b>95.3</b>	<b>92.9</b>	<b>82.8 ¶</b>	<b>92.4</b>

† Chemical formula of the possible compounds present in the fertilizers on a dry-basis (not considering the water of hydration).

‡ P source: TSP 1, triple superphosphate produced from Tapira PR; TSP 2, triple superphosphate produced from Jacupiranga PR; SSP 1, low-grade single superphosphate produced from Araxa PR; SSP 2, low-grade single superphosphate produced from Patos de Minas PR.

§ Compounds identified by x-ray in the original or water-leached fraction of the P sources.

¶ 91.5% when including Mg, Ti, Ba, Sr and Zn as sulfate compounds in the fertilizer.

## CONCLUSIONS - STUDY 2

- THE REQUIREMENT FOR WATER-SOLUBLE P WAS SOURCE AND PH DEPENDENT.
- ALL FERTILIZERS REQUIRED LESS THAN 50% WSP TO REACH 90% OF THE MAXIMUM DRY-MATTER YIELD.
- LOWER LEVELS OF WATER-INSOLUBLE P AS COMPOUNDS OF THE TYPE Fe-AL-P CAN BE TOLERATED IN ACIDULATED P FERTILIZERS WHEN APPLIED TO ACID SOILS.
- THE RESULTS DO NOT SUPPORT IMPOSING LEGISLATION REQUIRING 90% OR MORE OF THE TOTAL AVAILABLE P AS WATER-SOLUBLE P FOR ALL ACIDULATED P FERTILIZERS AND AGRONOMIC CONDITIONS.



## **STUDY 3**

### **SYNTHESIS. CHARACTERIZATION. AND AGRONOMIC EVALUATION OF IRON PHOSPHATE IMPURITIES IN SUPERPHOSPHATES**

**PROCHNOW. L.I.; CHIEN. S.H.; et al. Soil Science Society of  
America Journal. 67:1551-1563. 2003..**

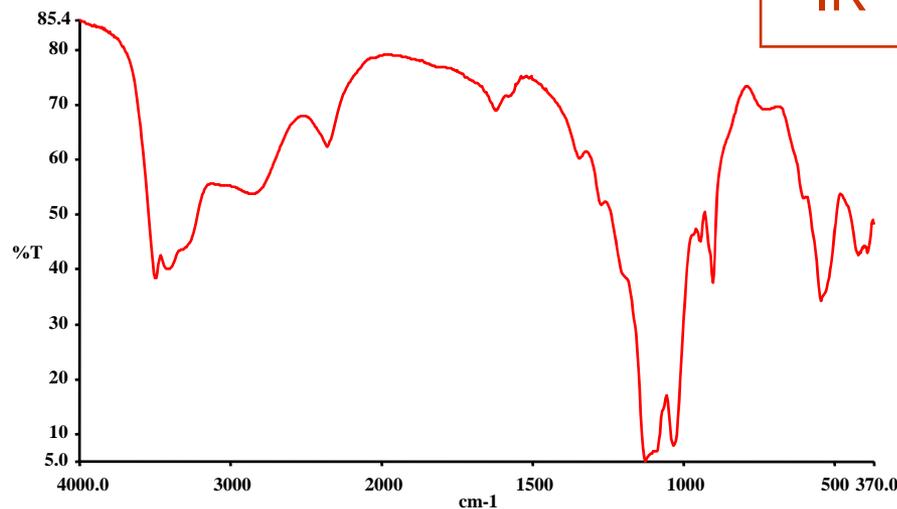




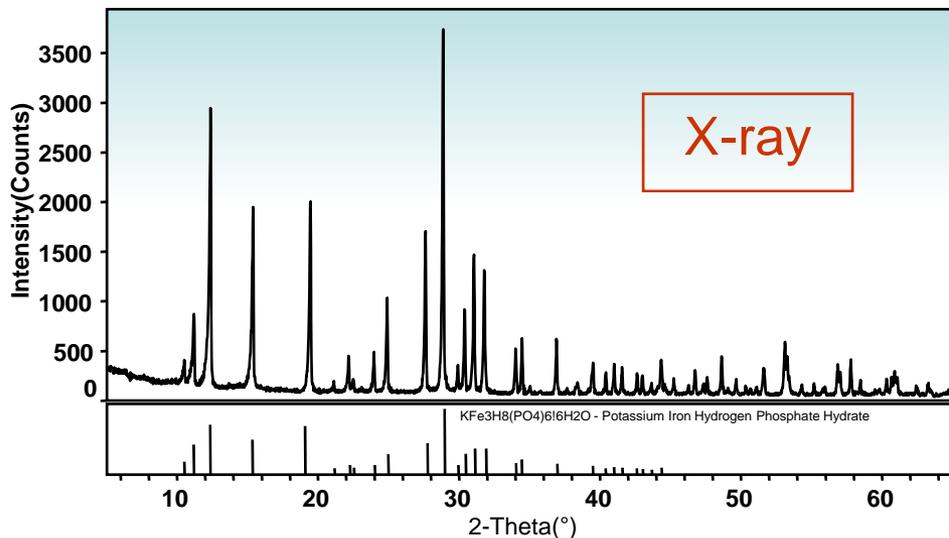
SEM



IR



X-ray



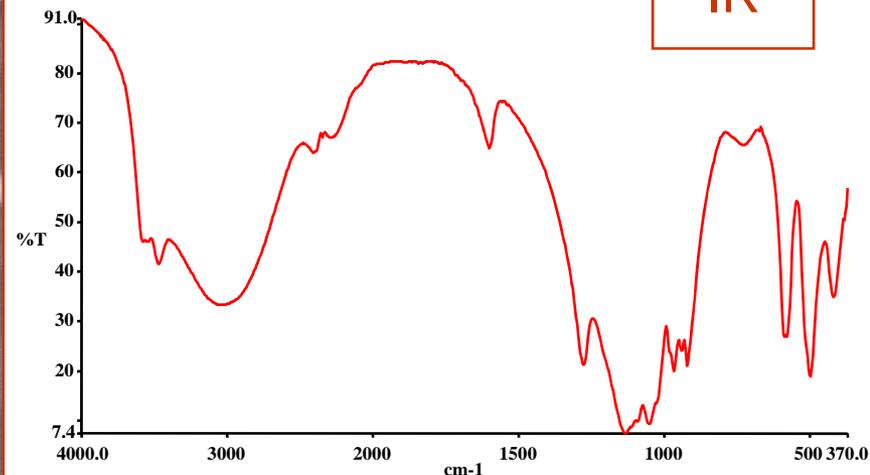
**Chemical Analysis for total P.  
Fe. K. S and water of  
hydration →**

**Calculated Formula:**

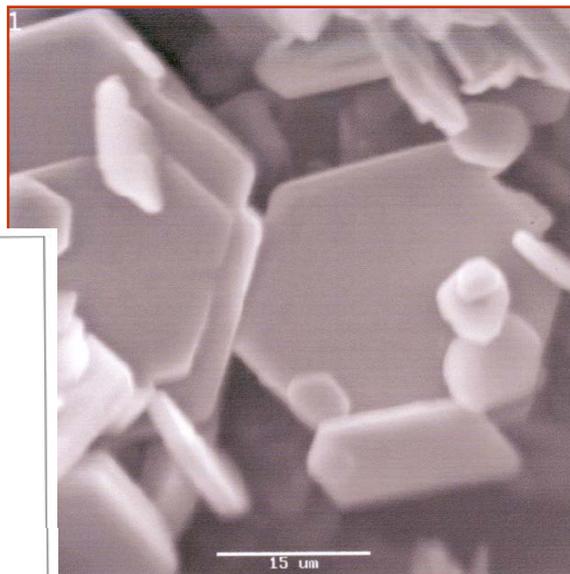
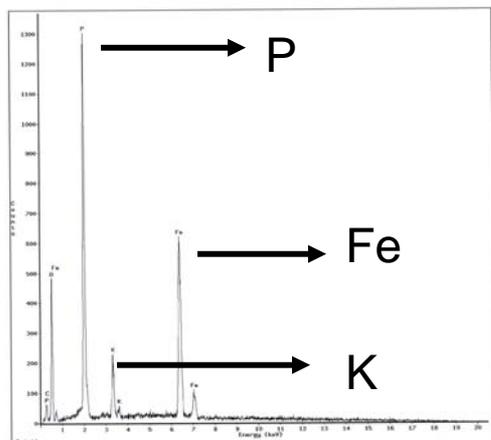




IR

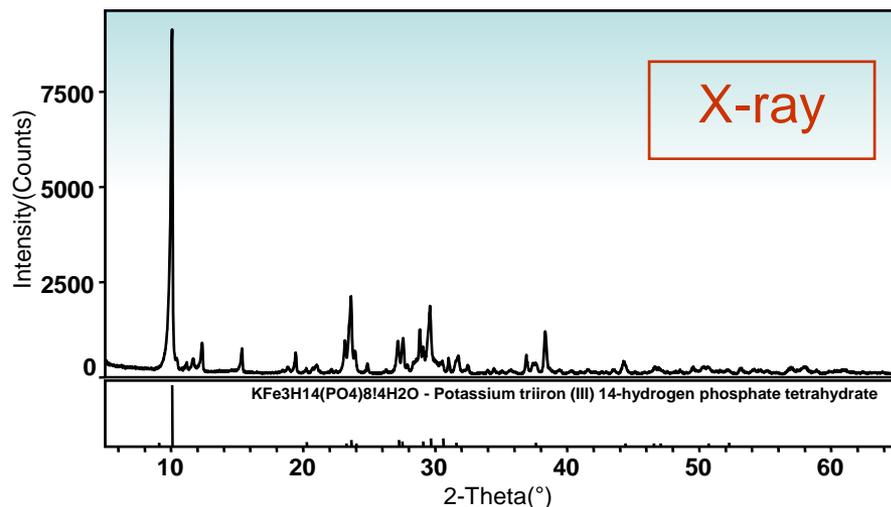


EDX



SEM

X-ray



**Chemical Analysis for total P.  
Fe. K. S and water of  
hydration →**

**Calculated Formula:**



## **STUDY 4**

# **GREENHOUSE EVALUATION OF PARTIALLY WATER-SOLUBLE PHOSPHORUS SOURCES PRODUCED FROM A LOW REACTIVE BRAZILIAN PHOSPHATE ROCK**

**PROCHNOW. L.I.; CHIEN. S.H.; CARMONA. G.; HENAO. J.  
Agronomy Journal. 96:761-768. 2004.**



# **GENERAL CONCLUSIONS ENTIRE RESEARCH PROJECT**

- **THE CHEMICAL COMPOSITION OF A PHOSPHATE FERTILIZER CAN BE ASSESSED THROUGH THE PROPOSED MODAL ANALYSIS. WHICH COMBINES INFORMATION REGARDING PRECIPITATION OF COMPOUNDS. X-RAY. INFRARED. SEM. EDX. CHEMICAL ANALYSIS OF THE ORIGINAL AND WATER-LEACHED P SOURCE AND SOLUBILITY INDEX OF THE COMPOUNDS GENERICALLY CALLED AS IMPURITIES.**
- **FE-P COMPOUNDS CAN BE AGRONOMICALLY MORE EFFECTIVE AS A SOURCE OF P UNDER FLOODED SOIL SYSTEMS THAN FOR UPLAND CROP SYSTEMS.**

# **GENERAL CONCLUSIONS ENTIRE RESEARCH PROJECT**

- **RESEARCH HAS SHOWED NOT TO BE NECESSARY TO ALWAYS HAVE HIGH WATER-SOLUBILITY IN FULLY ACIDULATED PHOSPHATE FERTILIZERS. DATA OBTAINED SUGGEST THAT THE WSP REQUIREMENT SHOULD BE RELATED TO THE SOIL SYSTEM. THE CROP AND THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE FERTILIZER.**

**IT IS BELIEVED THAT IT WILL BE POSSIBLE TO  
UTILIZE PR IN THE FUTURE IN A MORE COST-  
EFFECTIVE WAY BY:**

- **BEING ABLE TO ACCESS THE WEIGHT PERCENT CHEMICAL COMPOUNDS OF THE FERTILIZERS (MODAL ANALYSIS).**
- **UNDERSTANDING THE BEHAVIOR OF THE IMPURITY COMPOUNDS IN SOILS.**
- **HAVING MORE ACCURATE PROCESSES OF CONTROLLING THE IMPURITIES FORMED IN THE PRODUCTION OF ACIDULATED P FERTILIZERS.**

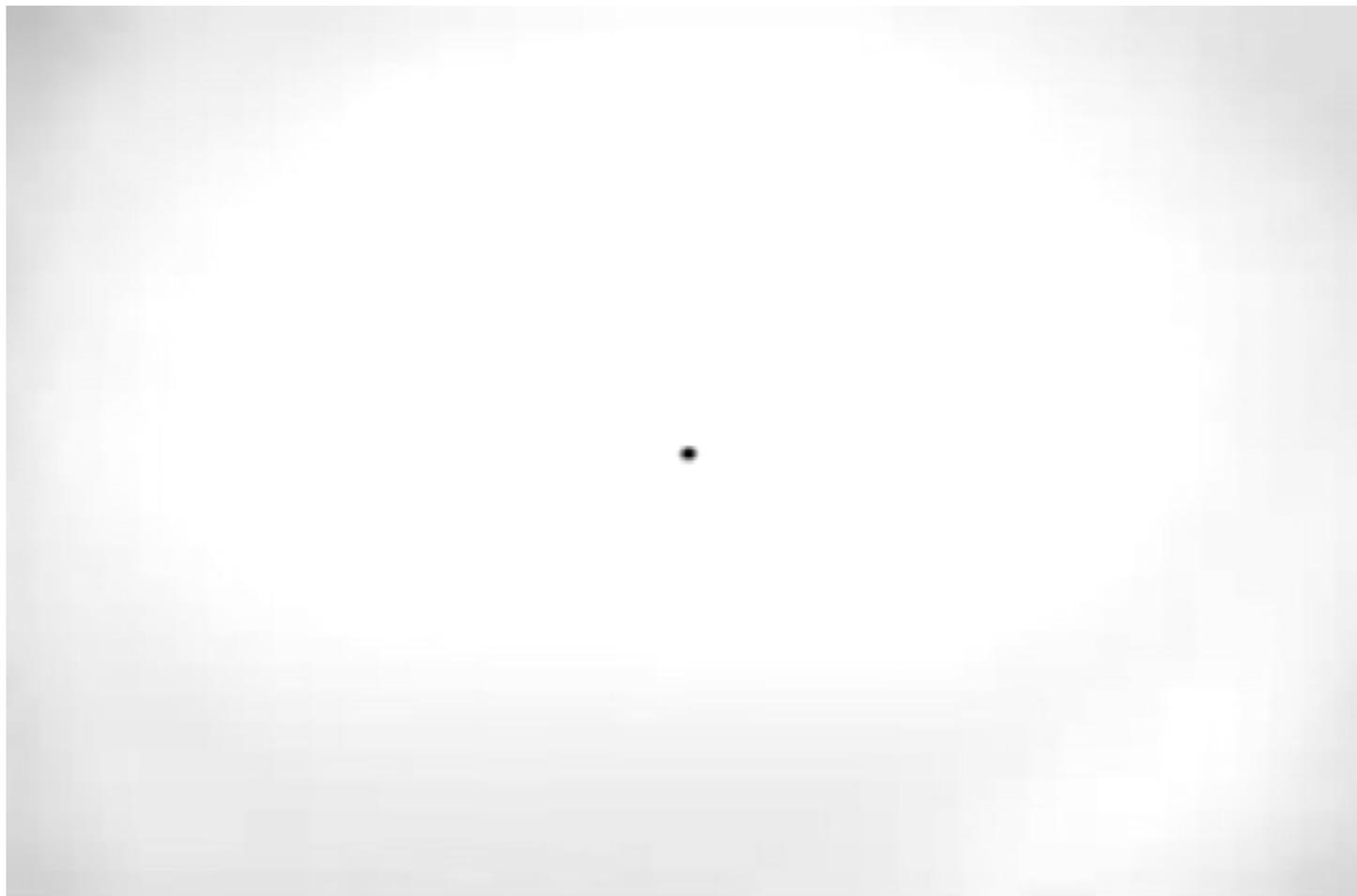
# FINAL REMARKS



**FILOSOFIA. POESIA  
REALIDADE**

**A AGRICULTURA É A MAIOR  
INVENÇÃO DA HUMANIDADE.  
INVENÇÃO ESTA QUE AINDA NÃO  
ESTA TERMINADA.**

**NORMAN BOURLOUG, NOBEL**



**.... INICIATIVA ....**

**.... VIDA CLARA COM SENTIDO ....**

**.... PODER DE DECISÃO .....**

**REALIZAR SEUS SONHOS NÃO COMEÇA COM COISAS  
COMPLICADAS, NÃO COMEÇA PELOS OUTROS,  
COMEÇA COM UM PONTO, UM PONTO DENTRO DE  
VOCÊ.**

**FILOSOFIA. POESIA  
REALIDADE**

**- O TAO DA FÍSICA -  
FRITJOF CAPRA**

**- OS ENSINAMENTOS DE  
DON JUAN CARLOS CASTAÑEDA**

**Qualquer caminho é apenas um caminho e não constitui insulto algum – para si mesmo ou para os outros – abandoná-lo quando assim ordena o seu coração.**

**Olhe cada caminho com cuidado e atenção.**

**Tente-o tantas vezes quantas julgar necessário.**

**Então. faça a si mesmo e apenas a si mesmo uma pergunta:**

**Possui este caminho um coração ?**

**Em caso afirmativo. o caminho é bom. Caso contrário. esse caminho não possui importância alguma.**



**ONCE AGAIN SUCCESS TO ALL OF YOU  
AND THANK YOU VERY MUCH  
FOR YOUR KIND ATTENTION**



**IPNI**

INTERNATIONAL  
PLANT NUTRITION  
INSTITUTE

**Website:**

<http://www.ipni.net>

**Telefone/fax – Brasil Office:**

55 (19) 3433-3254

