



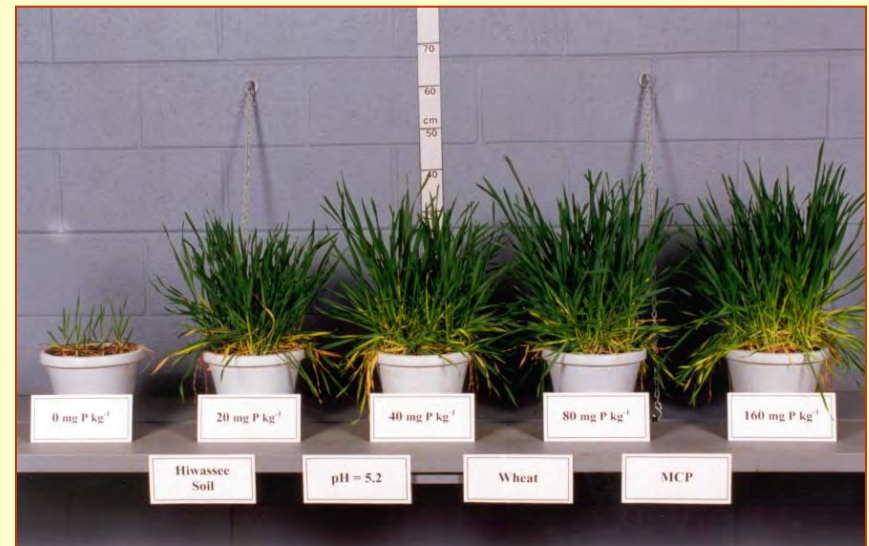
# SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA

## FERTILIZANTES FOSFATADOS TOTALMENTE ACIDULADOS (FFTA)

**Prof. Dr. Luís I. Prochnow,**  
**ESALQ/USP**

**Prof. Dr. José C. Alcarde,**  
**ESALQ/USP**

**Dr. Norman Chien, IFDC**



Nada de certo existe a não ser que ocorrem e sempre ocorrerão mudanças. Faz parte da evolução, faz parte da natureza e faz parte do homem.

# INTRODUÇÃO

## PRINCIPAIS FONTES DE P:

**Fosfatos naturais**: reatividade/eficiência agronômica variável dependendo de fatores ligados principalmente a mineralogia, condição do solo e cultura.

**Termofosfatos**

**Fosfatos totalmente acidulados**



**Fosfatos alternativos**

# **PRINCIPAIS FFTA**

## **SUPERFOSFATOS:**

**SIMPLES E TRIPLO.**

## **FOSFATOS AMONIADOS:**

**MONO (MAP) OU DI (DAP)**

**Composição química elementar dos principais fosfatos totalmente acidulados segundo a legislação brasileira de fertilizantes<sup>(1)</sup>**

<b>Fertilizante</b>		<b>Garantias, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>			<b>FP<sub>SA</sub><sup>(4)</sup></b>
<b>Nome</b>	<b>Sigla</b>	<b>N</b>	<b>CNA+H<sub>2</sub>O<sup>(2)</sup></b>	<b>H<sub>2</sub>O<sup>(3)</sup></b>	
<b>Superfosfato simples</b>	<b>SSP</b>		<b>18</b>	<b>16</b>	<b>89</b>
<b>Superfosfato triplo</b>	<b>TSP</b>		<b>41</b>	<b>37</b>	<b>90</b>
<b>Fosfato monoamônico</b>	<b>MAP</b>	<b>9</b>	<b>48</b>	<b>44</b>	<b>92</b>
<b>Fosfato diamônico</b>	<b>DAP</b>	<b>16</b>	<b>45</b>	<b>38</b>	<b>84</b>

<sup>(1)</sup> Brasil (1982) e portaria 1 (1983).

<sup>(2)</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em Citrato Neutro de Amônio + H<sub>2</sub>O.

<sup>(3)</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em H<sub>2</sub>O.

<sup>(4)</sup> Fração de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em água; FP<sub>SA</sub> = (P-H<sub>2</sub>O\*100)/P-CNA+H<sub>2</sub>O.

# PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA:

## A ROCHA FOSFÁTICA

- **Classificação e estrutura dos minerais contendo P = Lindsay et al. (1989).**
- **Maioria das rochas utilizadas = apatita;  $A_{10}(XO_4)_6Y_2$ .**  
**A = Ca, X = P, Y = Cl, OH ou F.**
- **Características químicas e mineralógicas e aspectos econômicos = ampla opção por FFTA.**
- **Necessidade de concentração em  $P_2O_5$  e transformação do P em compostos mais solúveis.**

# PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA:

## A ROCHA FOSFÁTICA

- Classificação das rochas fosfáticas (Lehr, 1980):
  - (i) “premium-grade” = mínimo de 32% de  $P_2O_5$ , baixo teor de impurezas.
  - (ii) “nonpremium-grade” = menor teor de  $P_2O_5$ , principais impurezas são  $SiO_2$  ou fases silicatadas.
  - (iii) “marginal grade” = grau de impurezas similar as “nonpremium-grade”, porém com qdes elevadas de impurezas do tipo Fe, Al, Mg, cloretos, álcalis, carbonatos livres, matéria orgânica, entre outros interferentes.



# PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA:

## A ROCHA FOSFÁTICA

- Características ideais de rocha fosfática para fabricação de FFTA (Robinson, 1980).
- Maiores reservas mundiais = Marrocos e EUA.
- Reservas brasileiras são da ordem de 1 a 2% (Silva, 1987; Cekinski, 1990). Altos níveis de contaminantes, particularmente óxidos de Fe e Al (Malavolta & Alcarde, 1986). Rochas tipo “nonpremium-grade” ou “marginal-grade”.
- Rochas de qualidade superior estão se esgotando.
- Maior variabilidade na qualidade e composição de FFTA (Lehr, 1984).



# PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA:

## A ROCHA FOSFÁTICA

- O que fazer ?
- Melhorar a tecnologia de mineração e moagem.
- Processos tecnológicos de acidulação de matérias-primas de qualidade inferior.
- Modificar as especificações dos produtos, as quais devem ser baseadas na performance agronômica do fertilizante, ao invés de critérios empíricos de solubilidade.

(Lehr, 1980)

# PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA: TECNOLOGIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

- **Objetivo** = produção de FFTA com elevada solubilidade em  $\text{CNA} + \text{H}_2\text{O}$  e  $\text{H}_2\text{O}$ .
- Para tanto deve-se priorizar a formação de compostos com tais características.
- Vários outros compostos podem ser formados.  
Importância para estes compostos irá aumentar caso se decida produzir FFTA com solubilidade em água variável (não se trata de fosfatos parcialmente acidulados).
- Texto contém informação resumida da produção de cada um dos principais FFTA.

## Compostos presentes nos principais fosfatos totalmente acidulados

### Fertilizante

### Compostos predominantes

SSP

$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ( $n=0$ ; 0,5 ou 2,0)

TSP

$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

FDC

$\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

MAP

$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

DAP

$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$

Adaptado de Engelstad & Terman (1980).

Alguns dos compostos contendo P de ocorrência possível em  
fosfatos totalmente acidulados

Tipo de fertilizante

Compostos possíveis

Superfosfatos

$(\text{Fe, Al})_3\text{XH}_8(\text{PO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (X = K, Na, H) <sup>(1)</sup>,  
 $(\text{Fe, Al})_3\text{XH}_{14}(\text{PO}_4)_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (X = K, Na, H) <sup>(1)</sup>,  
 $\text{FeH}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  <sup>(1)</sup>,  
 $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$  <sup>(1)</sup>,  
 $\text{Ca}(\text{Fe, Al})\text{H}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  <sup>(2)</sup>

Fosfatos amoniados

$\text{AlNH}_4\text{HPO}_4\text{F}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  <sup>(3,4)</sup>  
 $\text{AlNH}_4(\text{HPO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  <sup>(4)</sup>  
 $\text{FeNH}_4(\text{HPO}_4)_2$  <sup>(3,4)</sup>  
 $\text{MgAl}(\text{NH}_4)_2\text{H}(\text{PO}_4)_2\text{F}_2$  <sup>(3,4)</sup>  
 $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$  <sup>(3)</sup>

Lista extensa de  
compostos possíveis  
= Lehr et al. (1967);  
Frazier et al. (1991).

Presença e quantidade de  
determinado composto:

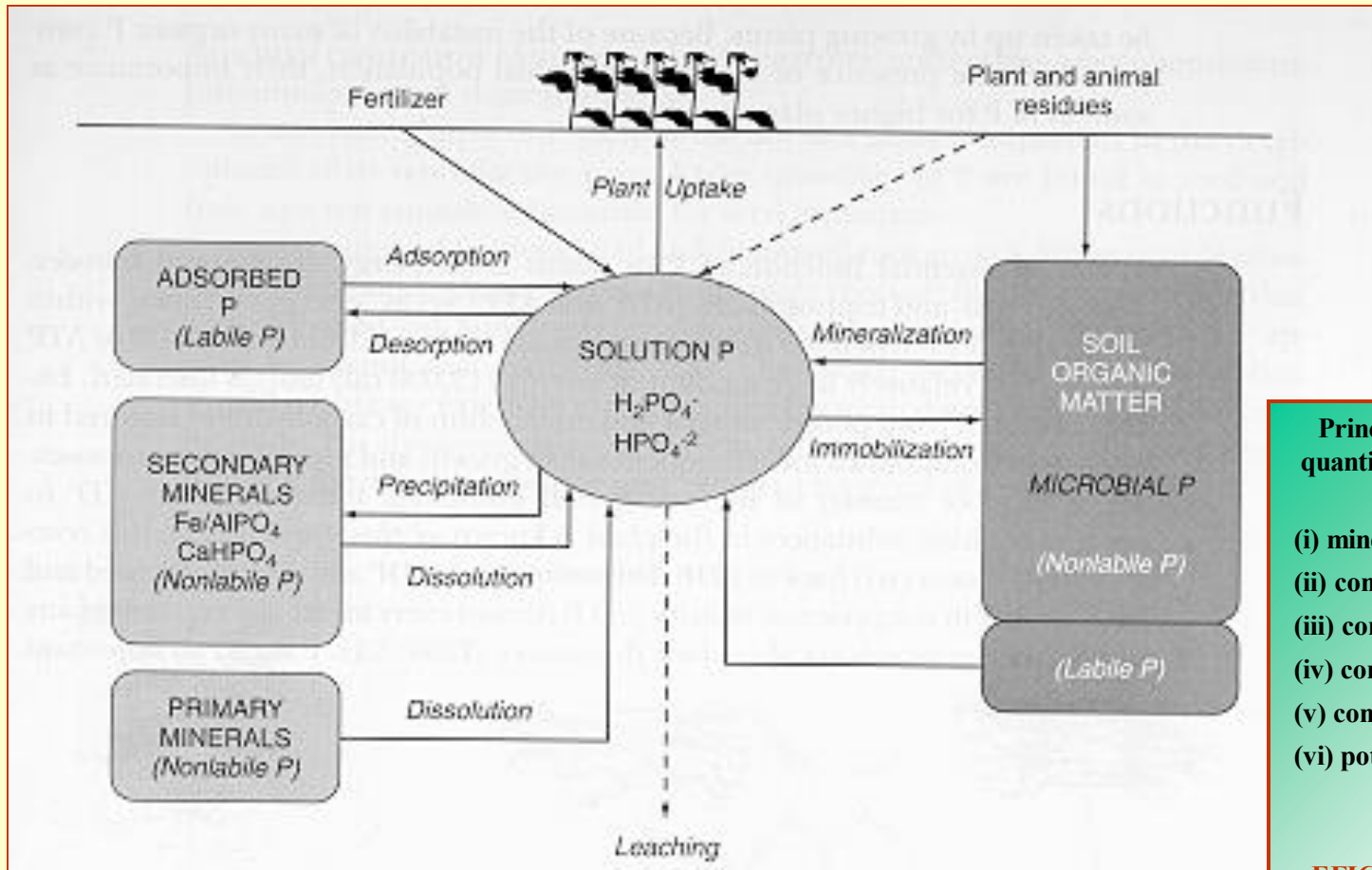
função = (i) composição  
química da matéria-prima e  
(ii) processo tecnológico de  
produção.

<sup>(1)</sup> Frazier et al. (1989), <sup>(2)</sup> Frazier & Lehr (1967), <sup>(3)</sup> Sikora et al. (1989), <sup>(4)</sup> Dillard & Frazier (1983).

## **REAÇÃO NO SOLO DOS PRINCIPAIS FFTA**

- **Taxa de dissolução amplamente controlada pela solubilidade dos compostos do fertilizante - P.**
- **Formação de solução saturada com energia livre da água muito menor do que nas adjacências.**
- **Água move-se em direção ao grânulo de fertilizante, os quais se dissolvem e componentes se movem em direção as partículas de solo.**
- **Ciclo do P no solo. Forte tendência a reagirem com os componentes do sistema solo (adsorção específica e formação de compostos de menor solubilidade).**

# REAÇÃO NO SOLO DOS PRINCIPAIS FFTA



Principais fatores que afetam as quantidades “fixadas” (Sanches & Uehara, 1980):

- (i) mineralogia da fração argila,
- (ii) conteúdo de argila,
- (iii) conteúdo de colóides amorfos,
- (iv) conteúdo de metais trocáveis,
- (v) conteúdo de matéria orgânica,
- (vi) potencial de oxi-redução.

**MAIOR ÊNFASE EM EFICIÊNCIA AGRONÔMICA.**

Representação esquemática do ciclo do P em solos (Havlin, 1999)

## Consequências da reação de diferentes compostos - P em solos

Composto	Fórmula	Composição da solução saturada				
		pH	P, mol L <sup>-1</sup>	C.A. <sup>(1)</sup>	Conc., mol L <sup>-1</sup>	Ref
FMC	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	<b>1,5</b> ←	4,5	Ca	1,3	(2)
MAP	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	<b>3,5</b> ←	2,9	NH <sub>4</sub>	2,9	(2)
DAP	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	<b>8,0</b> ←	3,8	NH <sub>4</sub>	7,6	(2)
FDC	CaHPO <sub>4</sub> ; CaHPO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	<b>6,5</b>	10 <sup>-5</sup>	Ca	0,001	(3)
Hidroxiapatita	Ca <sub>10</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (OH)	<b>6,5</b>	10 <sup>-5</sup>	Ca	0,001	(3)

(<sup>1</sup>) C.A. = Acompanhante; (<sup>2</sup>) Lindsay et al. (1962); (<sup>3</sup>) TVA, dados não publicados.



**Resumo de compostos formados pela reação de fertilizantes fosfatados com os constituintes do solo <sup>(a)</sup>**

<b>Compostos contendo P</b>		<b>Referência</b>
<b>Fórmula Química</b>	<b>Nome do Mineral<sup>(b)</sup></b>	
<b>AlPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O</b>	<b>Variscita</b>	(9), (12), (24)
<b>AlPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O</b>	<b>Metavariscite</b>	(12)
<b>Al(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>H(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O</b>		(30)
<b>Al<sub>2</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O</b>		(12)
<b>Al<sub>2</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>.18H<sub>2</sub>O</b>	<b>NH<sub>4</sub>-taranakite</b>	(8), (9), (10), (19), (27)
<b>AlNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>OH.2H<sub>2</sub>O</b>		(19), (27)
<b>AlNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>OH.3H<sub>2</sub>O</b>		(16)
<b>Al<sub>2</sub>NH<sub>4</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>OH.2H<sub>2</sub>O</b>		(16)
<b>Al<sub>2</sub>NH<sub>4</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>OH.8H<sub>2</sub>O</b>		(19)
<b>AlKH<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O</b>		(16)
<b>Al<sub>2</sub>K<sub>3</sub>H<sub>6</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>8</sub>.18H<sub>2</sub>O</b>	<b>K-taranakite</b>	(8), (9), (10), (19), (28), (29)
<b>Al<sub>2</sub>K(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>OH.2H<sub>2</sub>O</b>	<b>Leucophosphate</b>	(12)
<b>AlKPO<sub>4</sub>OH.0,5H<sub>2</sub>O</b>		(16)
<b>AlKPO<sub>4</sub>OH.1,5H<sub>2</sub>O</b>		(16)
<b>Al<sub>2</sub>K(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(F,OH).3H<sub>2</sub>O</b>	<b>Minyulite</b>	(16)

<sup>(a)</sup> Adaptado de Sample et al. (1980), <sup>(b)</sup> Nome dos minerais em Inglês.

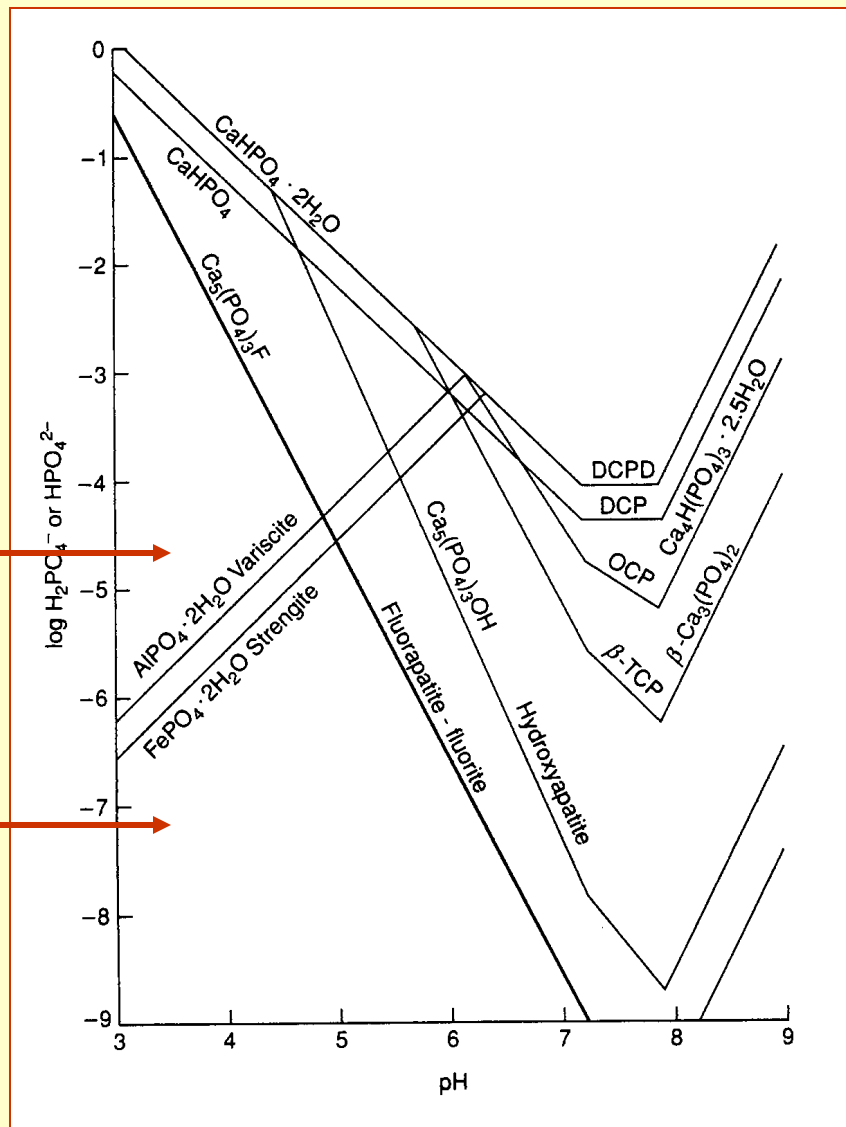
Referência: Texto.

**Produto de solubilidade para alguns compostos contendo P formados pela reação de fertilizantes fosfatados em solos<sup>(a)</sup>**

<b>Composto contendo P</b>	<b>pKsp</b>	<b>Referência</b>
<b>AlPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O</b>	<b>21,5-22,5<sup>(b)</sup></b>	<b>(1)</b>
<b>Al<sub>2</sub>NH<sub>4</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>OH.2H<sub>2</sub>O</b>	<b>57.0<sup>(b)</sup></b>	<b>(2)</b>
<b>Al<sub>2</sub>K(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>OH.2H<sub>2</sub>O</b>	<b>55.0<sup>(b)</sup></b>	<b>(2)</b>
<b>Al<sub>5</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>H<sub>6</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>8</sub>.18H<sub>2</sub>O</b>	<b>175.5<sup>(b)</sup></b>	<b>(3)</b>
<b>Al<sub>5</sub>K<sub>3</sub>H<sub>6</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>8</sub>.18H<sub>2</sub>O</b>	<b>178.7<sup>(b)</sup></b>	<b>(3)</b>
<b>CaHPO<sub>4</sub></b>	<b>6.66</b>	<b>(4)</b>
<b>CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O</b>	<b>6.56</b>	<b>(5)</b>
<b>Ca<sub>8</sub>H<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>.5H<sub>2</sub>O</b>	<b>93.81</b>	<b>(6)</b>
<b>Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>.(OH)<sub>2</sub></b>	<b>111.82</b>	<b>(4)</b>
<b>Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>F<sub>2</sub></b>	<b>120.86</b>	<b>(7)</b>
<b>CaAlH(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O</b>	<b>39.0<sup>(b)</sup></b>	<b>(8)</b>
<b>FePO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O</b>	<b>35.35<sup>(b)</sup></b>	<b>(9)</b>
<b>MgHPO<sub>4</sub>.3H<sub>2</sub>O</b>	<b>5.82</b>	<b>(10)</b>
<b>Mg<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.8H<sub>2</sub>O</b>	<b>25.20</b>	<b>(10)</b>
<b>Mg<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.22H<sub>2</sub>O</b>	<b>23.10</b>	<b>(10)</b>
<b>MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O</b>	<b>13.15</b>	<b>(11)</b>
<b>MgKPO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O</b>	<b>10.62</b>	<b>(11)</b>

<sup>(a)</sup> Adaptado de Sample et al. (1980), <sup>(b)</sup> Valor aproximado.

Referência: Texto.



Supersaturada

Subsaturada

**Diagrama de solubilidade de alguns fosfatos de Ca, Fe e Al em solos (Lindsay, 1979)**

# MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

(i) reação dos fert. P nos solos em diferentes sistemas de cultivo = saldo de P disponível

(ii) necessidades nutricionais e especificidades das plantas

Modelo de adubação-P

Complexidade dos sistema solo impossibilita a utilização de modelos deste tipo

Relações matemáticas envolvendo resposta das plantas advém de dados químicos ou experimentais e não de especulação teórica (adaptado de Rodella, 1994)

# MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

- Método muito empregado para a definição de doses (programa de adubação fosfatada):

Estudos de Correlação

Estudos de Calibração

Estudos de Curva de Resposta

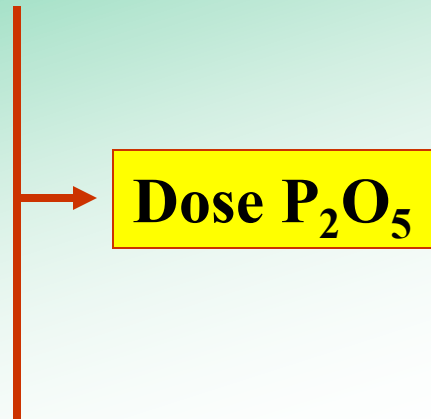
- Variáveis:

Dados de análise (solo e fert-P)

Cultura e potencial de produtividade

Tabela de adubação

Informações complementares



# MÉTODOS PARA AVALIAR A EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE

- Avaliar fonte em relação a não aplicação de P:

Indireto ou por diferença

Direto ou através de isótopos

Baseados em medidas de produtividade

- Avaliar fontes de P:

Índice de eficiência agronômica (IEA)

Comparação entre curvas de respostas

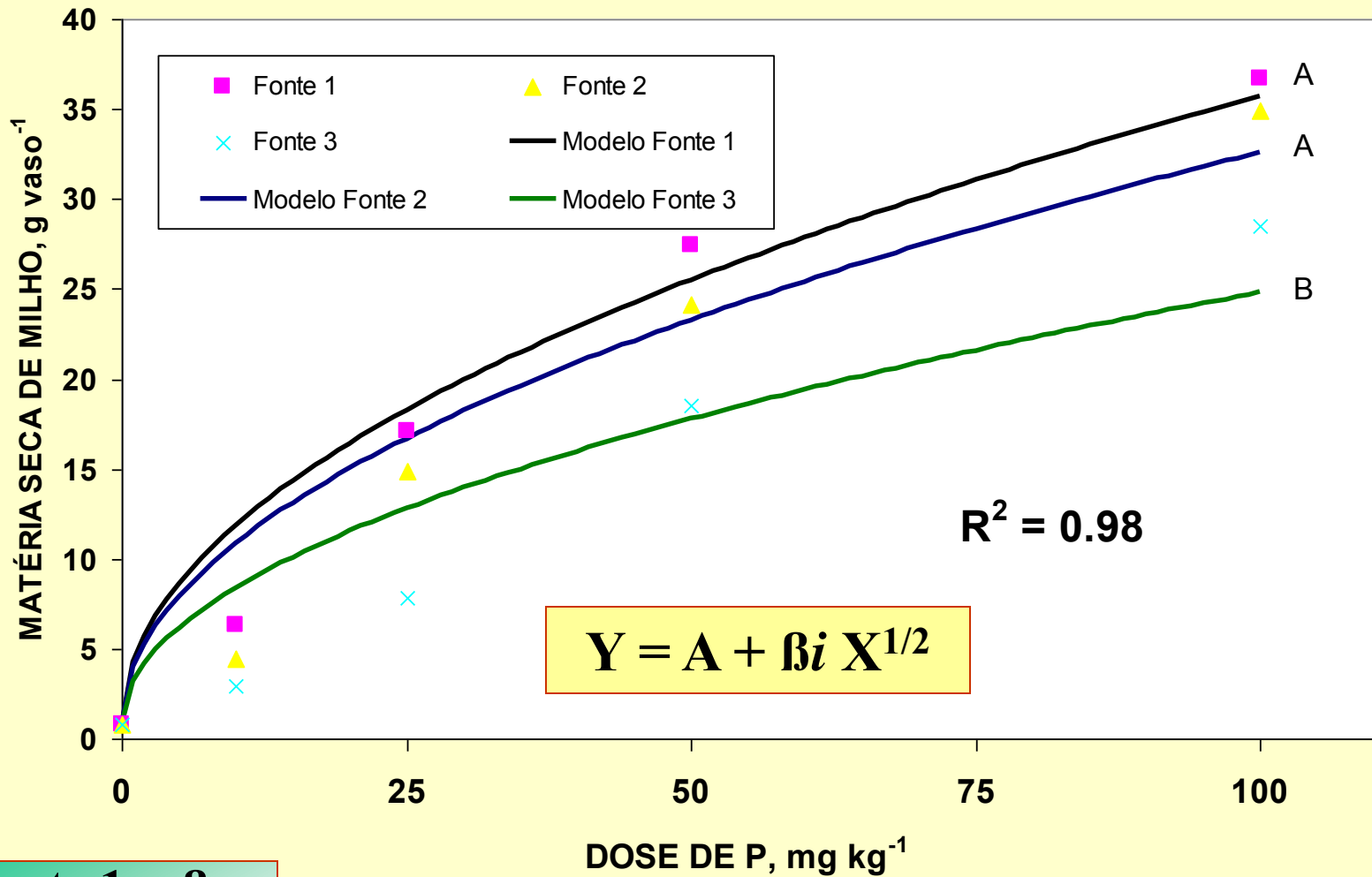


$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X + \varepsilon_i, X \geq 0$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i \ln X + \varepsilon_i, X \geq 1$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X^{1/2} + \varepsilon_i, X \geq 0$$

$$EAR = (\beta_i/\beta_n) * 100$$



$$\text{Fonte 1} = \beta_1$$

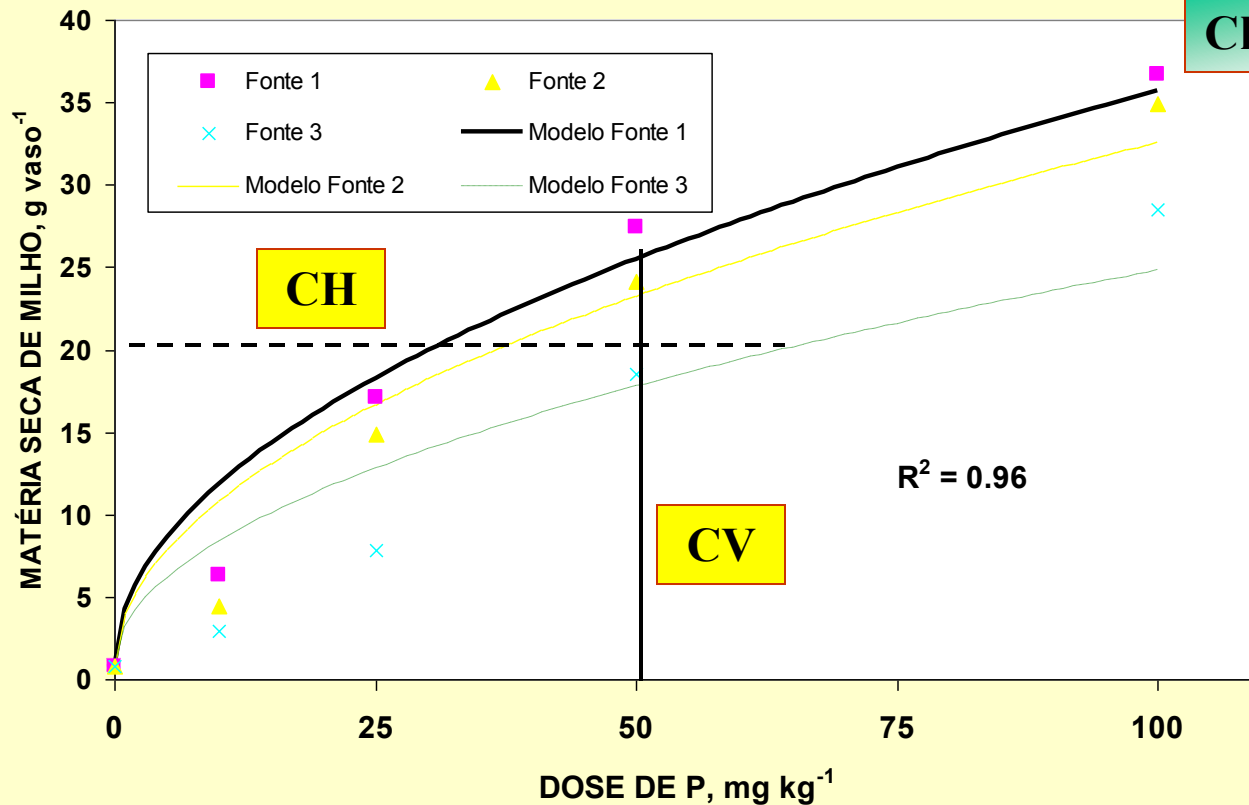
$$\text{Fonte 2} = \beta_2$$

$$\text{Fonte 3} = \beta_3$$

$$\text{EAR} = (\beta_i / \beta_1) * 100$$

$$t = \frac{(\beta_{ia} - \beta_{ib})}{\sqrt{(SE(\beta_{ia}))^2 + (SE(\beta_{ib}))^2}}$$





- **Comparação vertical** = classificar fontes de P quanto a capacidade de resposta.
- **Comparação horizontal** = avaliar economicamente fontes de P.
- **Comparação resposta linear** = doses a agricultores com possibilidades econômicas limitadas.

# **FATORES QUE INFLUEM NA EFICIÊNCIA** **AGRONÔMICA DE FFTA**

- (i) **Propriedades dos fertilizantes**
- (ii) **Propriedades dos solos**
- (iii) **Práticas de manejo**
- (iv) **Cultura**

## EF. AGR. FFTA:

### (i) PROPRIEDADES DOS FERTILIZANTES

#### Composição química:

- Capacidade ou não de minimizar ou eliminar outros efeitos limitantes ao desenvolvimento das plantas (inerentes ou não ao P).
- Eliminar outros efeitos limitantes: exemplo do gesso.
- Efeito da forma e reação do P no fertilizante: FFTA normalmente possuem eficiência similar em solos ácidos (mesma situação de solo e cultivo).
- Diferenças mais marcantes de FFTA poderão ocorrer no futuro com a produção de fertilizantes de solubilidade variável em água.

## EF. AGR. FFTA:

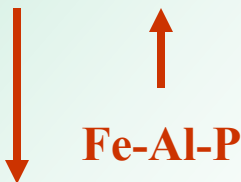
### (i) PROPRIEDADES DOS FERTILIZANTES

#### Solubilidade:

- P - CNA + H<sub>2</sub>O (P “disponível”).
- P - H<sub>2</sub>O (P “prontamente disponível”).
- Solubilidade = Fe-P, Al-P, Fe-Al-P X Ca-P. ←
- Legislação.

Efeito de fontes de P com diferentes composições químicas, dose de 50 mg kg<sup>-1</sup> de P-CNA+H<sub>2</sub>O, em diferentes modos de preparo e de aplicação na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Lat. Vermelho-Amarelo <sup>(1)</sup>

Fontes de fósforo <sup>(3)</sup>	Modo de Preparo	
	Original	Lavado
-----g/vaso-----		
<u>Volume total</u>		
FA1	11,4a	7,5a
FA2	9,0b	6,5a
FA3	8,5b	7,3a
FA4	7,9b	7,5a
<u>1% Volume</u>		
FA1	17,1a	5,4b
FA2	14,0b	6,0b
FA3	13,5b	7,6a
FA4	6,7c	7,8a



<sup>(1)</sup> Prochnow et al. (1998).

## EF. AGR. FFTA:

### (i) PROPRIEDADES DOS FERTILIZANTES

#### Granulometria:

- Minimizar contato do FFTA com as partículas de solo = granulação e aplicação em menor volume de solo.
- Granulação = propriedade do fertilizante.
- Aplicação em menor volume de solo = prática de manejo.
- ER de 31%, 69%, 109% e 100% para TSP na dose 120 mg P/vaso quando pó e grânulos de 2, 4 e 6 mm, respectivamente (adaptado de Souza, 1980).

## **EF. AGR. FFTA:**

### **(i) PROPRIEDADES DOS FERTILIZANTES**

#### **Mistura os fórmulas:**

**Poderão originar compostos que irão auxiliar ou minimizar a absorção de P, ou outros nutrientes, pelas plantas.**



## EF. AGR. FFTA:

### (ii) PROPRIEDADES DOS SOLOS

#### pH:

- Atuação nos compostos contidos nos fertilizantes ou seus produtos de reação.
- Atuação como fator de desenvolvimento das plantas.

## EF. AGR. FFTA:

### (ii) PROPRIEDADES DOS SOLOS

#### Capacidade de fixação de P (lábil para não lábil):

- Mineralogia da fração argila.
- Conteúdo de argila.
- Conteúdo de colóides amorfos.
- Conteúdo de metais trocáveis. ←
- Conteúdo de matéria orgânica. ←
- Potencial de óxi-reduação do solo. ←

Sanches & Uehara  
(1980)

## EF. AGR. FFTA:

### (ii) PROPRIEDADES DOS SOLOS

#### Conteúdo de Matéria Orgânica:

- **Maior dificuldade de contato íons ortofosfato com os sítios de adsorção.**
- **Formação de complexos organofosforados.**
- **Substituição de íons ortofosfato por íons orgânicos nos sítios de adsorção.**

Tisdale et al.  
(1985)

**Efeito particularmente importante em sistema de semeadura direta (SSD).**

**EF. AGR. FFTA:**  
**(iii) PRÁTICAS DE MANEJO**

**Forma de aplicação:**

**Intimamente relacionado ao tipo de adubação - P:**

- **Manutenção.**
- **Corretiva.**
- **Mista, corretiva a longo prazo.**

**Sanches & Uehara  
(1980)**

Efeito do modo de preparo e de aplicação de 50 mg kg<sup>-1</sup> de P de fosfatos acidulados com diferentes comp. químicas, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas 35 dias em amostras de Lat. Verm.-Am. <sup>(1,2)</sup>

Fontes de fósforo <sup>(3)</sup>	Modo de Preparo <sup>(4)</sup>	Modo de aplicação <sup>(5)</sup>	
		Volume total	1% Volume
		-----g/vaso-----	
FA1	original	11,4Ba	17,1Aa
	lavado	7,5Ab	5,4Bb
FA2	original	9,0Ba	14,0Aa
	lavado	6,5Ab	6,0Ab
FA3	original	8,5Ba	13,5Aa
	lavado	7,3Ab	7,6Ab
FA4	original	7,9Aa	6,7Ba
	lavado	7,5Aa	7,8Aa

<sup>(1)</sup> Prochnow et al. (1998).

## **EF. AGR. FFTA:**

### **(iv) CULTURA**

- **As plantas diferem na sua capacidade de se desenvolverem quanto a condição de P no solo.**
- **Entre outros motivos:**
  - (i) diferença de arquitetura/morfologia das raízes.**
  - (ii) exigência de P na solução do solo.**
- **Levar em consideração em determinadas situações.**

**Sanches & Uehara (1980),  
Goedert & Souza (1984),  
Bhadoria et al. (2002).**

**Concentração estimada de P na solução do solo associada com 75% e 95%  
para a produção máxima de algumas culturas**

**Concentração aproximada de P em solução para a  
produção indicada (ppm)**

<b>Cultura</b>	<b>75% do máximo</b>	<b>95% do máximo</b>
<b>Mandioca</b>	<b>0,003</b>	<b>0,005</b> ←
<b>Amendoim</b>	<b>0,003</b>	<b>0,01</b>
<b>Milho</b>	<b>0,008</b>	<b>0,025</b>
<b>Trigo</b>	<b>0,009</b>	<b>0,028</b>
<b>Repolho</b>	<b>0,012</b>	<b>0,04</b>
<b>Batata</b>	<b>0,02</b>	<b>0,18</b>
<b>Soja</b>	<b>0,025</b>	<b>0,20</b>
<b>Tomate</b>	<b>0,05</b>	<b>0,20</b>
<b>Alface</b>	<b>0,10</b>	<b>0,30</b> ←

**Fox (1982)**



## EF. AGR. FFTA:

### (iv) CULTURA

- Eficiência Relativa,  $Ef. = \frac{\text{Pr. sem P}}{\text{Pr. com P}} * 100$
- 3%, 38%, 57% e 100% para abóbora, trigo, alfafa e amêndoa, respectivamente.

Lilleland et al., citados por  
Bhadoria et al. (2002)

**OS FFTA DEVEM SEMPRE POSSUÍREM**  
**ELEVADA SOLUBILIDADE EM ÁGUA ?**

# BACKGROUND

## FATOS

- **O Brasil possui apenas aproximadamente 2% das reservas fosfáticas do mundo.**
- **Fertilizantes fosfatados totalmente acidulados devem conter aproximadamente 90% de P solúvel em água na fração solúvel em citrato (legislação).**
- **Altas quantidades de energia e recursos financeiros são gastos para se obter fertilizantes com elevada solubilidade em água.**

## DÚVIDA

- **Os fertilizantes fosfatados totalmente acidulados realmente devem conter elevada solubilidade em água para todas as situações de cultivo e manejo ?**

## Lehr (1980)

Devem os **fosfatos insolúveis em água\*** serem evitados a todo custo ?

A necessidade de um conjunto mais realista de especificações é um dos problemas mais importantes a confrontar os produtores de fertilizantes fosfatados no sentido de buscar alívio para etapas de purificação desnecessárias e custosas. Apenas a pesquisa agrônômica poderá providenciar o necessário aconselhamento.

---

\* Produzidos/ precipitados no processo de fabricação de fertilizantes fosfatados totalmente acidulados.

## **ESTUDO 1**

# **EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE SUPERFOSFATOS SIMPLES CONTENDO COMPOSTOS FOSFÁTICOS DE FERRO PARA ARROZ-DE-SEQUEIRO E ARROZ INUNDADO**

### **OBJETIVO**

**Biodisponibilidade de P de compostos do tipo Fe-P em condições de solo aerado e reduzido.**

## **ESTUDO 1 - FASE 1**

# **CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA/MINERALÓGICA DOS SUPERFOSFATOS SIMPLES**

# **ANÁLISE MODAL**

## **IDENTIFICAÇÃO E ESTIMATIVA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA/MINERALÓGICA DOS FERTILIZANTES**

- **Compostos previamente identificados (literatura).**
- **Solubilidade em água destes compostos.**
- **Análise química elementar do fertilizante na forma original e do resíduo insolúvel em água.**
- **Difratometria de raios x.**
- **Análise por infravermelho.**

Tabela 2. Análise química do fosfato monocálcico p.a. e dos superfosfatos simples SSP 1, SSP 2 e SSP 3 na forma original e do resíduo insolúvel em água.

Fonte de P <sup>(1)</sup>	CF <sup>(2)</sup>	P <sup>(3)</sup>			Si	Fe	Al	Ca	Mg	K	Na	Ti	Ba	Sr	Zn	F	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	fi <sup>(4)</sup>
		T	D	H <sub>2</sub> O														
%																		
SSP 1	Original	9,47	8,56	7,34	0,00	1,27	0,15	21,40	0,07	0,02	0,21	0,23	1,21	0,73	0,03	1,30	37,87	86
SSP 1	RIA	2,58	ND#	ND	0,25	1,67	0,17	23,93	0,01	0,03	0,24	0,33	1,84	0,99	0,02	1,90	51,39	NA
SSP 2	Original	8,27	7,03	5,59	0,00	2,21	0,22	19,35	0,08	0,02	0,20	0,35	0,84	0,63	0,04	1,18	38,81	80
SSP 2	RIA	3,28	ND	ND	0,12	2,37	0,19	21,08	0,01	0,03	0,16	0,42	1,05	0,67	0,02	1,42	45,93	NA
SSP 3	Original	7,93	7,16	3,28	0,50	4,29	0,27	17,53	0,09	0,03	0,27	0,47	0,86	0,56	0,06	1,19	37,33	46
SSP 3	RIA	5,75	ND	ND	0,53	4,88	0,20	18,01	0,01	0,03	0,25	0,92	0,97	0,48	0,02	1,23	38,44	NA
FMCpa	Original	24,19	24,15	23,84	0,00	0,00	0,00	17,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,27	99

(1) Fonte de P: SSP 1, SSP 2 e SSP 3, superfosfato simples produzidos respectivamente a partir dos concentrados apatíticos grosso, fino e reflotável oriundos da rocha fosfática de Araxá; FMCpa, fosfato monocálcico p.a.

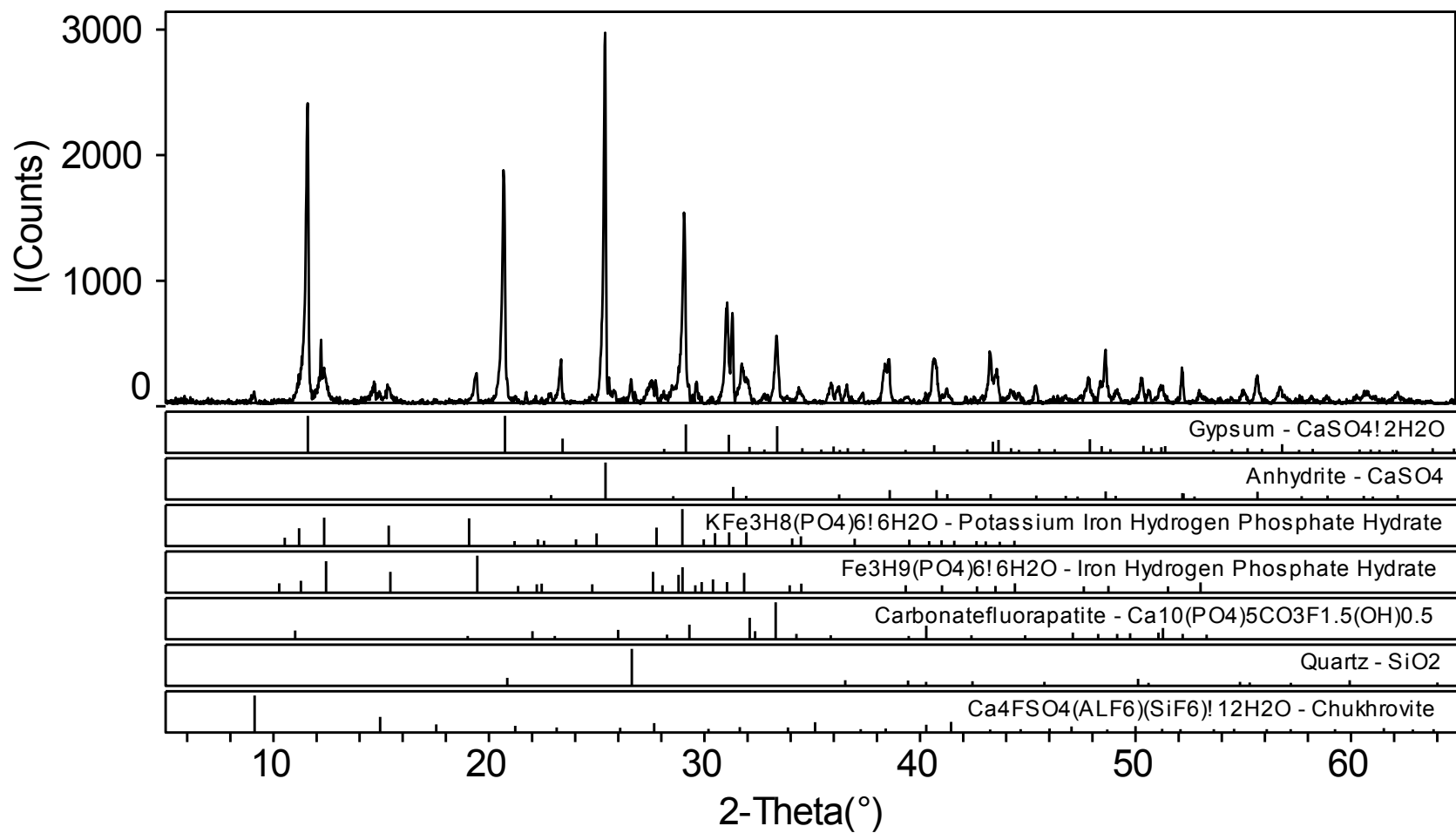
(2) CF: Condição do Fosfato; Original=forma não lavada com água; RIA = Resíduo Insolúvel am Água.

(3) Análise de P; T= Total P; D= P "disponível" (CNA+H<sub>2</sub>O); H<sub>2</sub>O= P solúvel em água.

(4) Percentual do P "disponível" solúvel em água; fi= (P solúvel em água/ P "disponível") \* 100

# Dado não disponível.





**Difratograma de raios-x, SSP 3 / fração insolúvel em água**

Tabela 9. **Composição química dos superfosfatos simples SSP 1, SSP 2 e SSP 3** calculada através da análise modal proposta.

Composto <sup>(1)</sup>	Superfosfato Simples <sup>(2)</sup>		
	SSP 1	SSP 2	SSP 3
	----- % -----		
<b>Fe<sub>3</sub>KH<sub>8</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub></b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>
<b>Fe<sub>3</sub>NaH<sub>8</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub></b>	<b>5,0</b>	<b>3,4</b>	<b>6,4</b>
<b>Fe<sub>3</sub>H<sub>9</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub></b>	<b>0,4</b>	<b>6,2</b>	<b>12,3</b>
Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	0,3	0,4	0,3
Ca <sub>10</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> OH <sub>0,97</sub> F <sub>1,03</sub>	2,8	2,6	3,1
Ca <sub>4</sub> SiAlSO <sub>4</sub> F <sub>13</sub>	2,2	0,4	2,1
SiO <sub>2</sub>	0	0	0,7
CaF <sub>2</sub>	0,3	1,4	0
MgSO <sub>4</sub>	0,4	0,4	0,5
SrSO <sub>4</sub>	1,5	1,3	1,2
ZnSO <sub>4</sub>	0,1	0,1	0,2
Ti <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,9	1,4	1,9
BaSO <sub>4</sub>	1,9	1,1	1,3
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,3	1,3	1,1
Ba(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0,2	0,4	0,3
CaSO <sub>4</sub>	49,2	49,7	46,9
<b>Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub></b>	<b>34,2</b>	<b>19,1</b>	<b>12,8</b>
TOTAL	100,1	89,6	91,7

(1) Fórmula química dos compostos possivelmente presentes nos superfosfatos simples SSP 1, SSP 2 e SSP 3 desconsiderando-se a água de hidratação.

(2) Fonte de P: SSP 1, SSP 2 e SSP 3, superfosfato simples produzido respectivamente a partir dos concentrados apatíticos grosso, fino e reftotável oriundos da rocha fosfática de Araxá

## **ESTUDO 1 - FASE 2**

# **EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA EM CONDIÇÕES CONTROLADAS**

## DESENHO EXPERIMENTAL:

4 Fontes de P:

- FMC, padrão

- 3 Super simples (Fe crescente)

6 Doses de P:

0, 5, 15, 30, 50 e 100 mg P kg<sup>-1</sup>

2 Culturas:

Arroz-de-sequeiro e arroz inundado

3 repetições

# ARROZ - SEQUEIRO

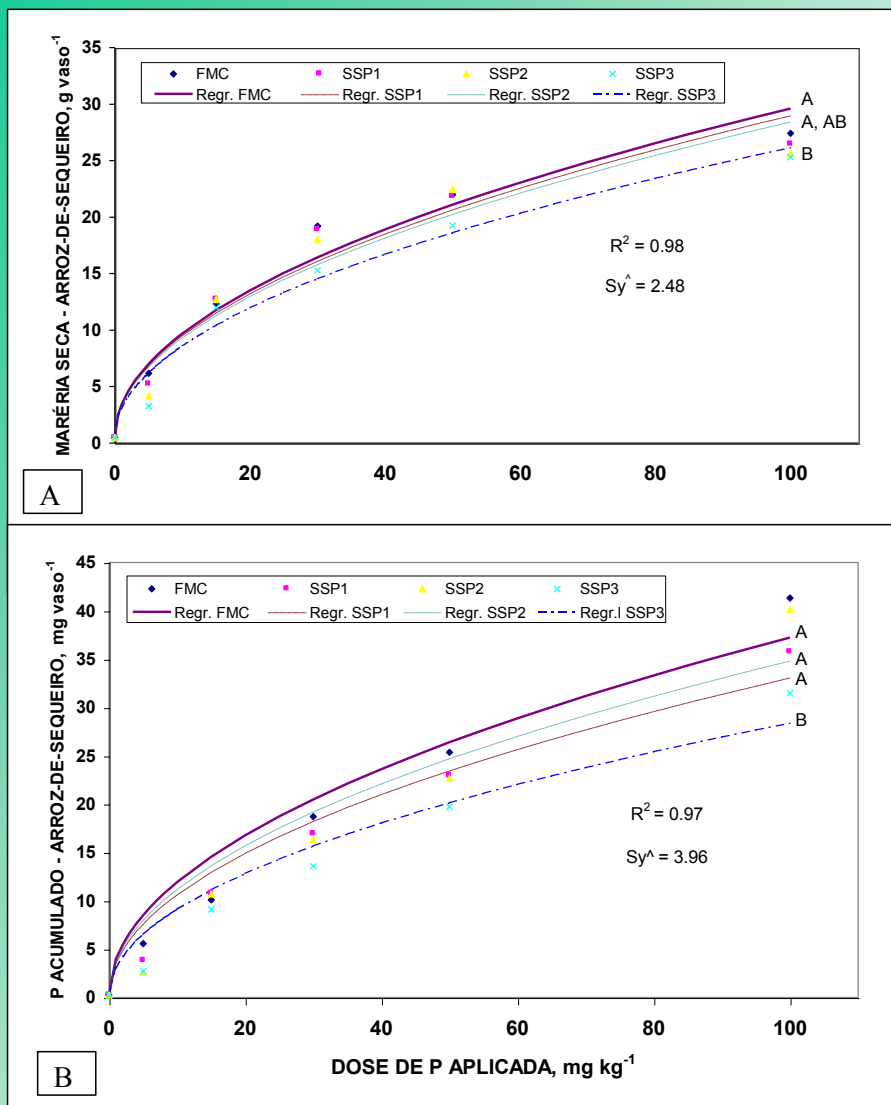


Figura 6. Efeito das fontes e doses de fósforo na produção de matéria seca (A) ou quantidade de P acumulado (B) por plantas de arroz-de-sequeiro cultivadas em amostras de terra de um solo classificado como Thermic Rhodic Kanhapludults. Modelos seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente ( $p \leq 0.05$ ).

**Tabela 11. Eficiência agrônômica relativa (EAR; %) dos superfosfatos simples SSP 1, SSP 2 e SSP 3 em relação ao FMCpa para plantas de arroz-de-sequeiro e arroz inundado.**

Fonte de P	Matéria seca	P acumulado
<b>Arroz-de-sequeiro</b>		
FMCpa	100	100
SSP 1	98	88
SSP 2	96	93
SSP 3	91	76
<b>Arroz inundado</b>		
FMCpa	100	100
SSP 1	97	94
SSP 2	111	110
SSP 3	102	85

**FPSA = 46%**

**EAR =  
(β<sub>i</sub>/β<sub>p</sub>)\*100**

FMCpa, fonte padrão de P.  
EAR = (β<sub>i</sub>/β<sub>FMCpa</sub>)\*100, i = SSP.

## **ESTUDO 2**

# **SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO, HIDRÓLISE E AVALIAÇÃO AGRONÔMICA PARA ARROZ-DE-SEQUEIRO E ARROZ INUNDADO DE COMPOSTOS FOSFÁTICOS DE FERRO EM SUPERFOSFATOS SIMPLES E TRIPLO**

### **OBJETIVO**

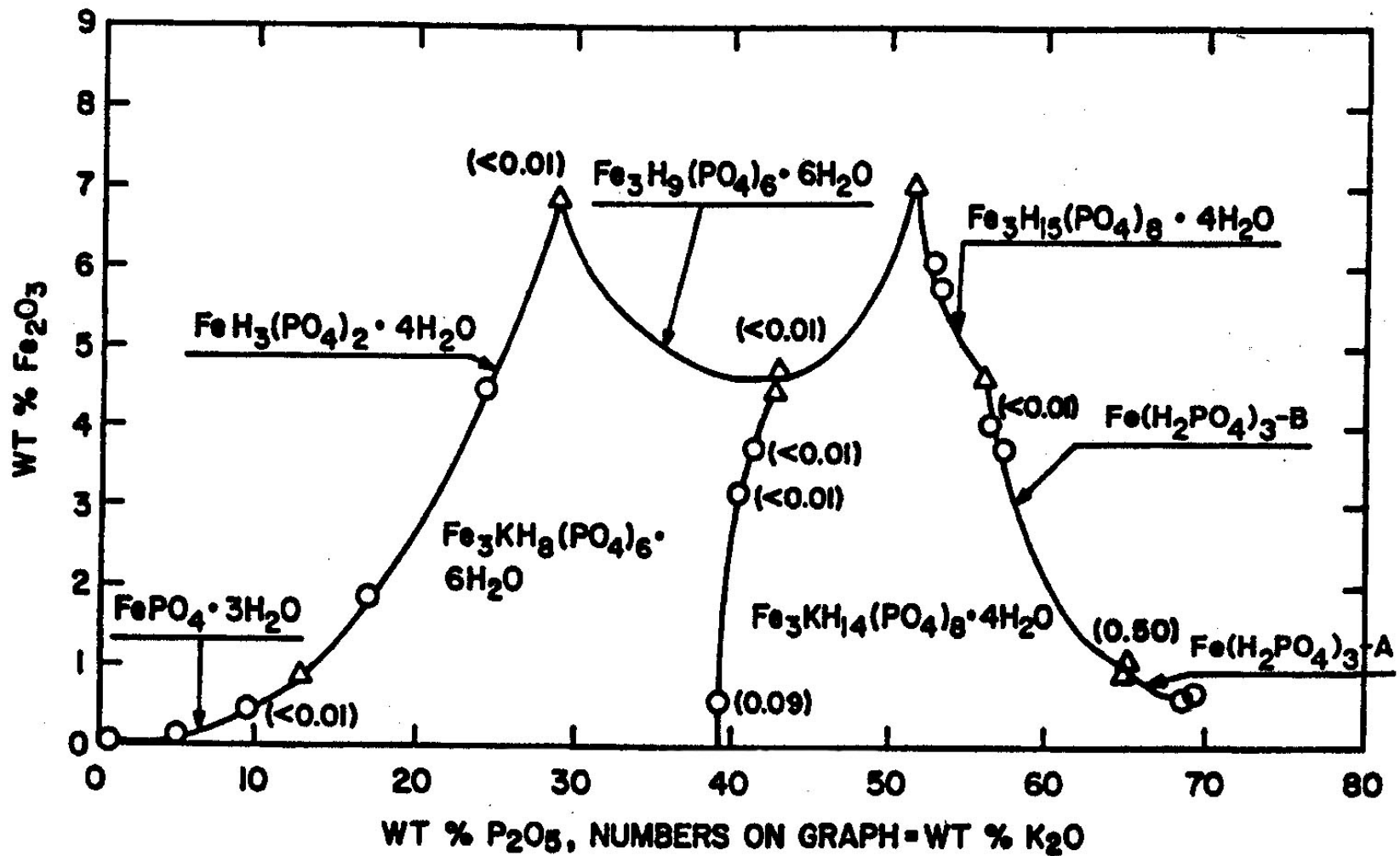
**Testar hipóteses do estudo 1 a partir de material sintetizado em condições de laboratório. Afirmações mais seguras a respeito dos resultados e implicações práticas.**

## ESTUDO 2 - FASE 1

### SÍNTESE







**Estudo de fases precipitadas a 25°C de soluções contendo  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{O}$  (Frazier et al., 1989)**

## ESTUDO 2 - FASE 2

### CARACTERIZAÇÃO

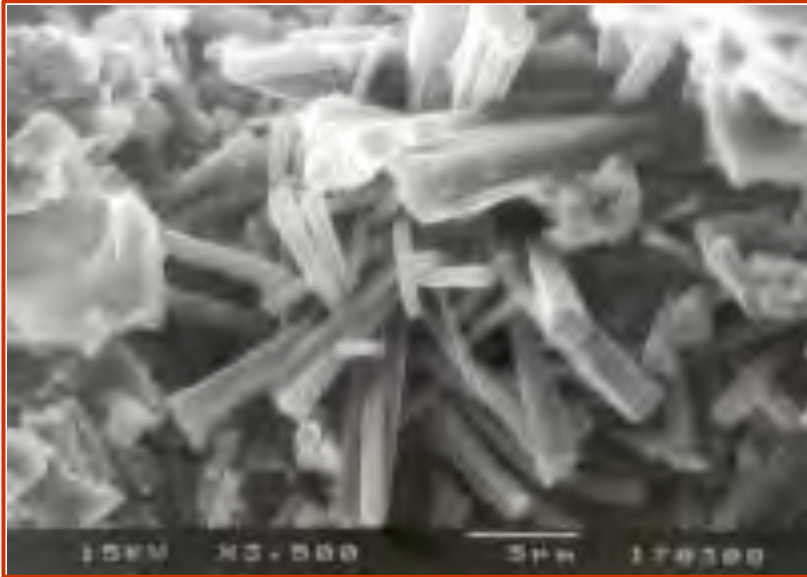


Tabela 16. Composição química dos compostos H8 e H14 sintetizados em condições de laboratório.

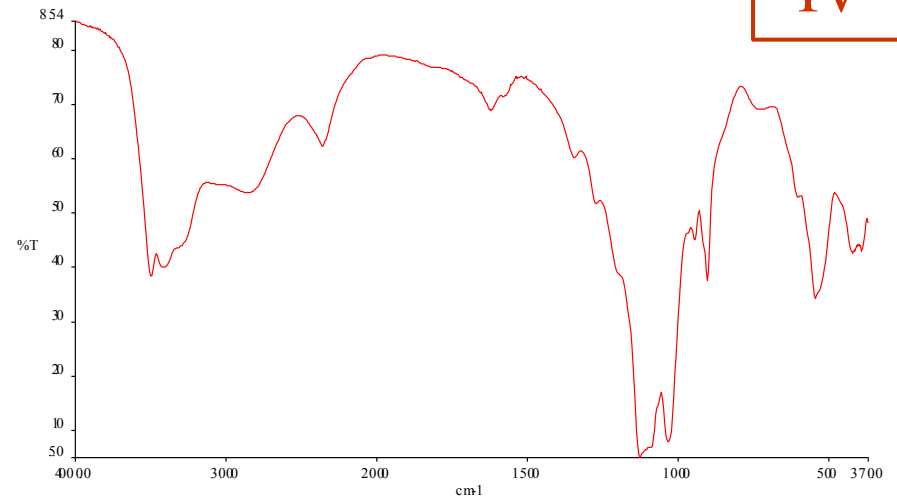
Determinação	Composição %, em massa	
	H8-sin	H14-sin
P total	20,4	23,8
P solúvel em CNA	19,3	22,8
P solúvel em água (PSA)	0,03	0,2
P disponível (CNA+PSA;AOAC)	19,4	23,0
(PSA/P disponível)*100	0,2	0,9
Fe	18,4	16,2
K	4,7	3,5
S-SO <sub>4</sub>	1,1	0,1
Água livre	0,3	0,1
Água total	12,3	7,5
Água de hidratação	12,0	7,4
Fórmula calculada	Fe <sub>2,8</sub> K <sub>1,1</sub> H <sub>8,5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6.4</sub> .1H <sub>2</sub> O	Fe <sub>3,0</sub> K <sub>0,9</sub> H <sub>14,1</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>8.4</sub> .3H <sub>2</sub> O



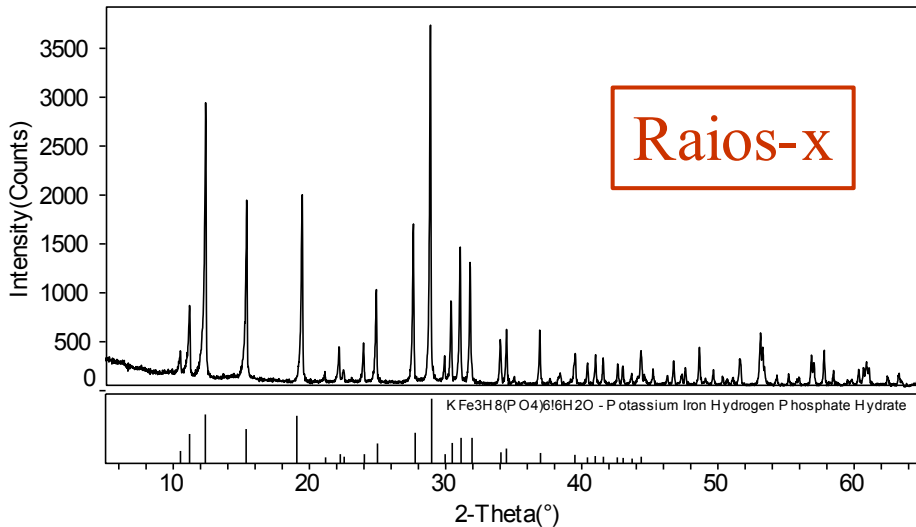
MEV



IV



Raios-x



**Análise química para os teores totais de P, Fe, K, S e água de hidratação →**

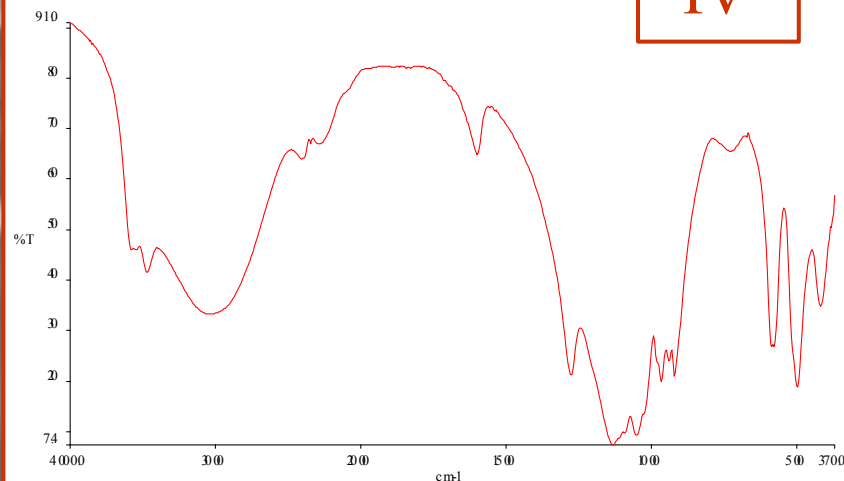
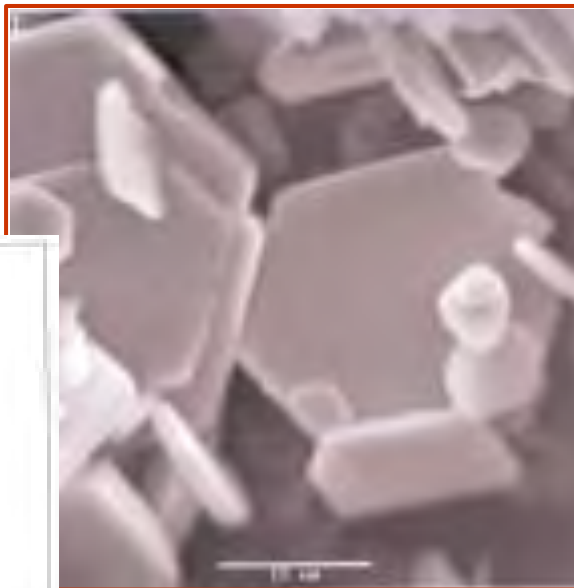
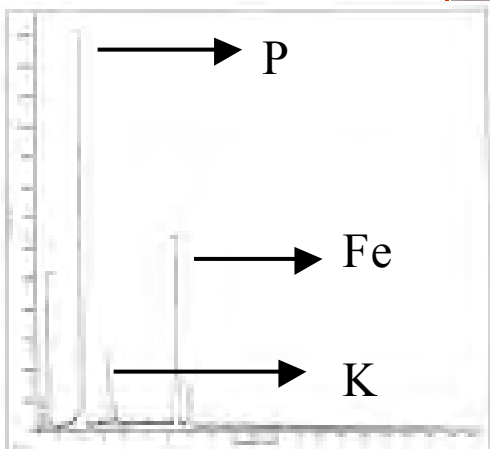
**Fórmula calculada:**





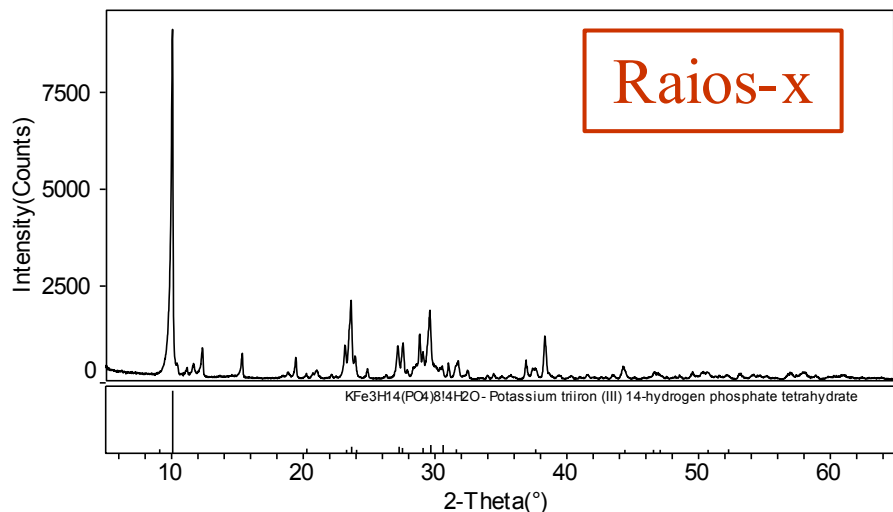
IV

EED



MEV

Raios-x



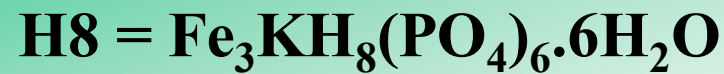
**Análise química dos teores totais de P, Fe, K, S e água de hidratação →**

**Fórmula calculada:**



## ESTUDO 2 - FASE 3

### HIDRÓLISE



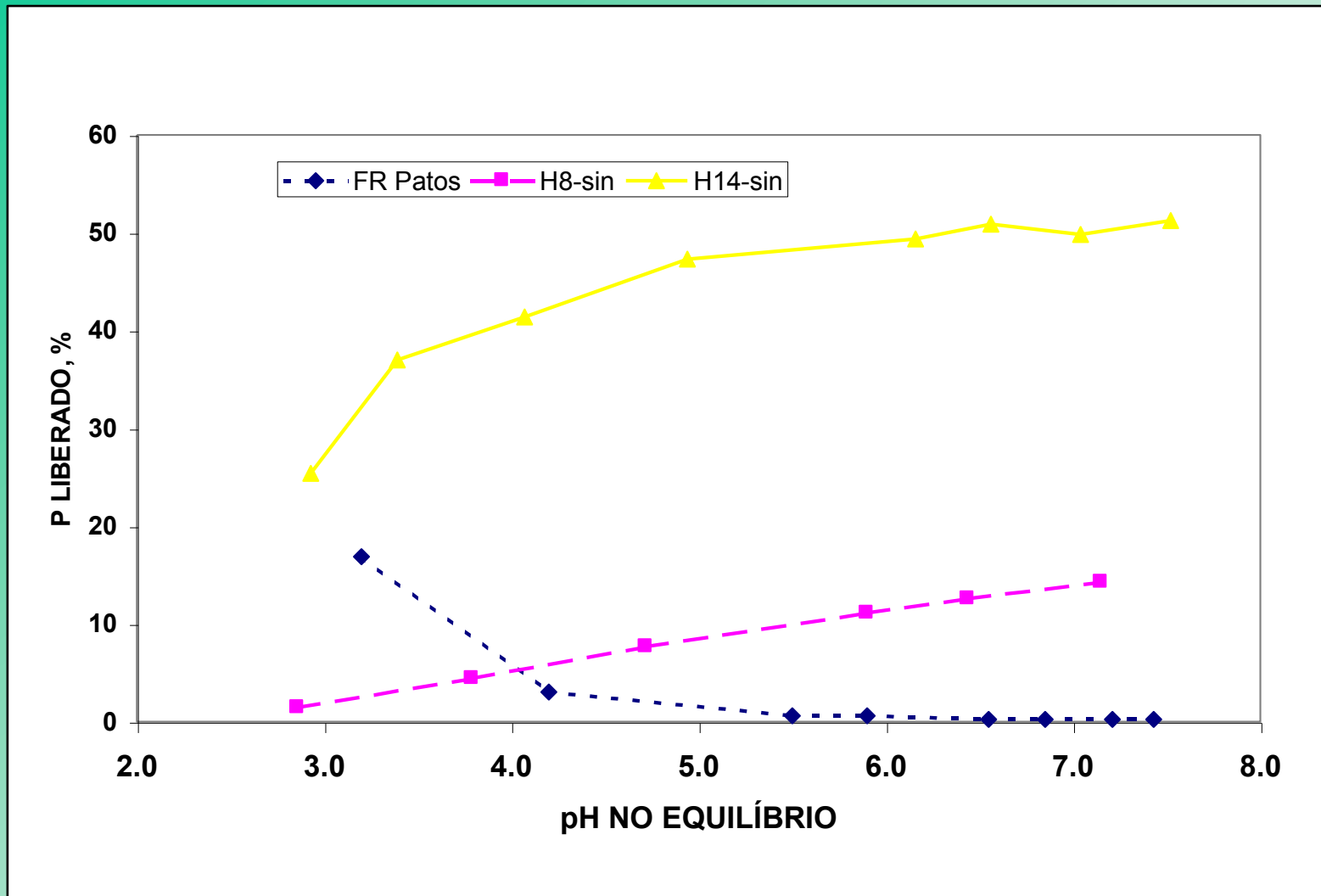


Figura 17. P liberado através da reação de hidrólise dos compostos H8-sin, H14-sin e fosfato de rocha de Patos de Minas em função do pH de equilíbrio de solução 0,01 mol L<sup>-1</sup> de KCl.

## **ESTUDO 2 - FASE 4**

### **EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA EM** **CONDIÇÕES CONTROLADAS**





# DESENHO EXPERIMENTAL:

3 Fontes de P:                   - FMC, padrão  
  - Fe-K-P (H8-sin e H14-sin)

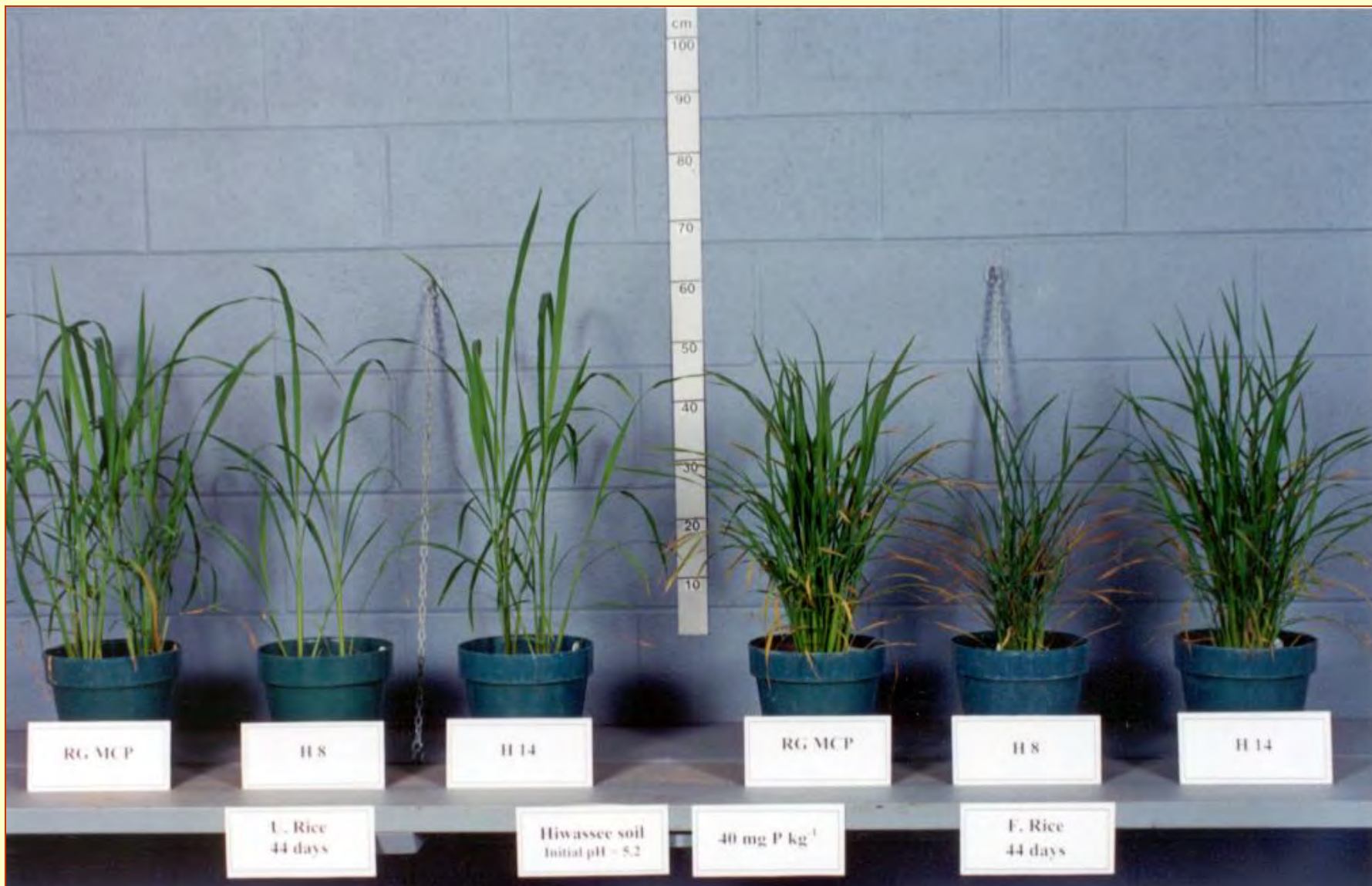
5 Doses de P:                   0, 10, 20, 40 e 80 mg P kg<sup>-1</sup>

4 Misturas Fe-K-P:   0, 25, 50, 75 e 100% PSA.

e FMCpa:

2 Culturas:                   Arroz-de-sequeiro e arroz inundado

3 repetições



**RG MCP**

**H8**

**H14**

**RG MCP**

**H8**

**H14**

**U. Rice**

**Hiwassee Soil**

**40 mg P kg<sup>-1</sup>**

**F. Rice**

**Tabela 18. Eficiência agronômica relativa (EAR) dos compostos H8-sin e H14-sin em relação ao FMCpa para plantas de arroz-de-sequeiro e arroz inundado.**

<b>Fonte de P</b>	<b>Matéria seca</b>	<b>P acumulado</b>
<b>Arroz-de-sequeiro</b>		
<b>FMCpa</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>H8-sin</b>	<b>32</b>	<b>33</b>
<b>H14-sin</b>	<b>72</b>	<b>73</b>
<b>Arroz inundado</b>		
<b>FMCpa</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>H8-sin</b>	<b>55</b>	<b>75</b>
<b>H14-sin</b>	<b>102</b>	<b>104</b>

**FMCpa, fonte padrão de P.**

$$\text{EAR} = (\beta_i / \beta_{\text{FMCpa}}) * 100, i = \text{SSP}.$$

# ESTATÍSTICA - SAS

- Modelo:

Segmentado (quadrático e linear)

- Produção Relativa:

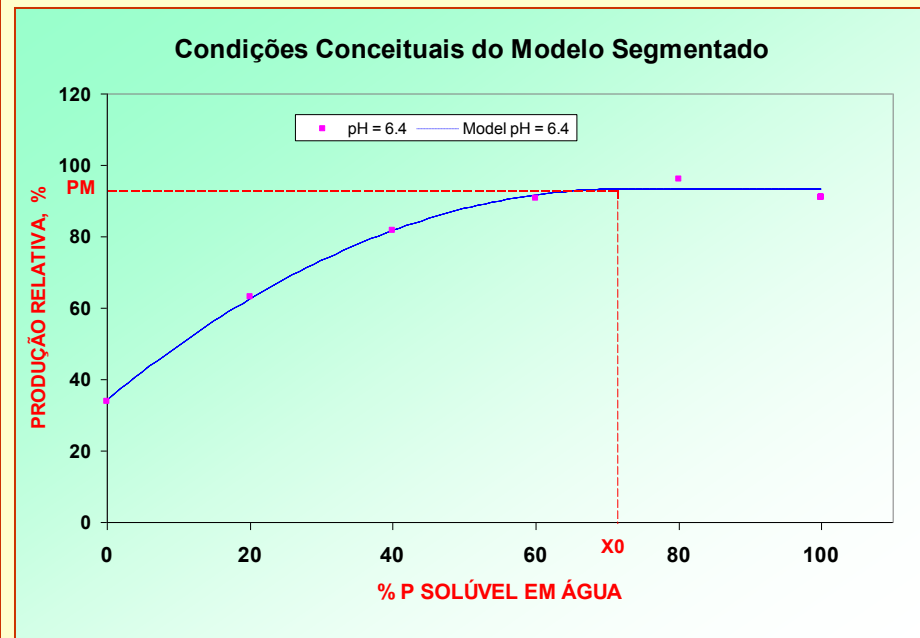
$(PMS_i/PMS_j) * 100$

- Platô:

$Y = A + BX + CX^2$  se  $X < X_0$  e  $Y = P$  se  $X > X_0$

As duas linhas se encontrem em  $X_0$

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



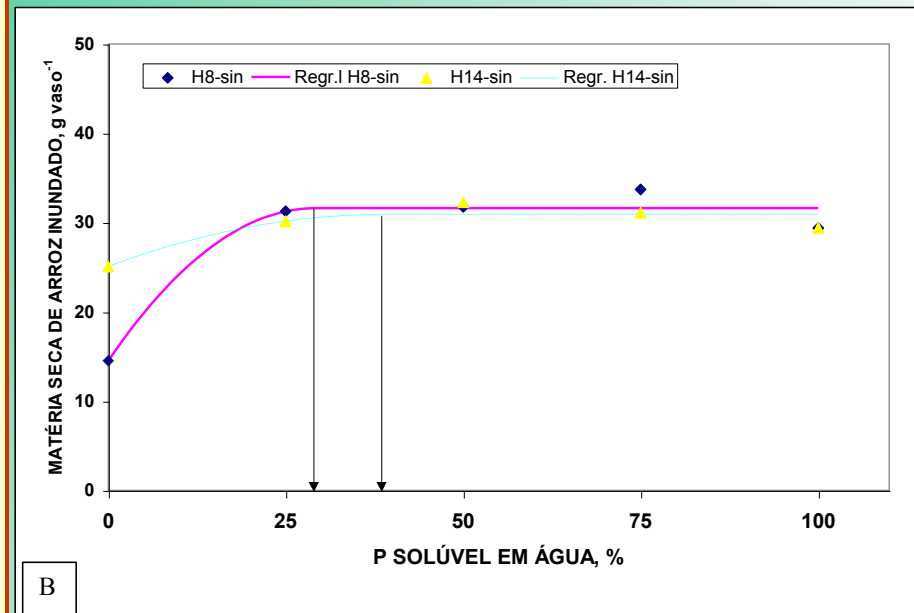
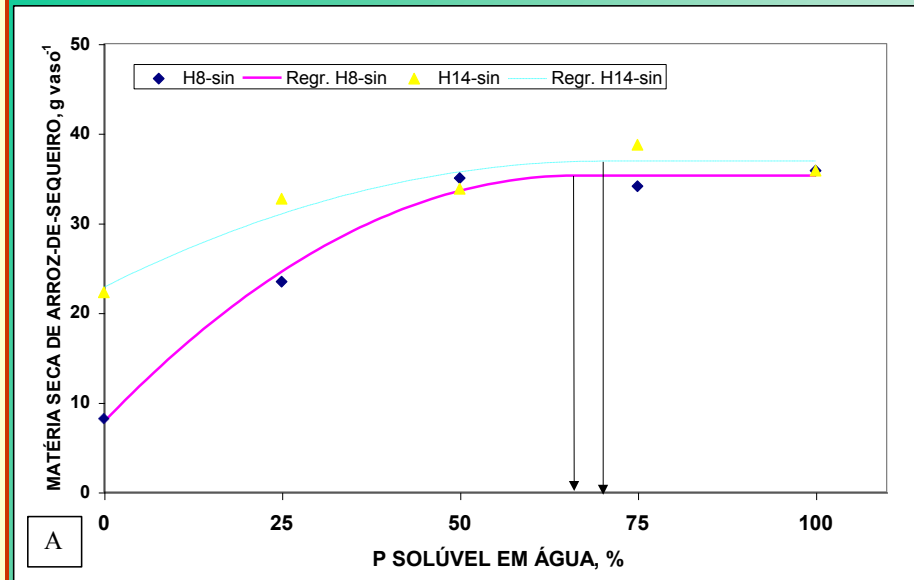


Figura 20. Efeito de fontes de P e percentagem de P solúvel em água na produção de matéria seca por plantas de arroz-de-sequeiro (A) e arroz inundado (B). As setas indicam a % PSA para a qual o platô foi atingido.

Tabela 20. Modelos de regressão segmentados descrevendo a relação entre produção de matéria seca de arroz-de-sequeiro ou arroz inundado e porcentagem de P solúvel em água utilizando-se misturas de H8-sin ou H14-sin com FMCpa como fonte de P às plantas. A representação gráfica destes regressões encontra-se na Figura 20.

Fonte de P	Cultura	Modêlos de regressão Segmentados			PSA (%) necessário para atingir <sup>(2)</sup>	
		Equação Quadrática	SE <sup>(1)</sup>	Platô	Platô	90% of Platô
H8-sin	Upland Rice	$Y = 7.81 + 0.826X - 6.2 \times 10^{-3}X^2$	1.59	35.3	66.6	42.7
H14-sin	Upland Rice	$Y = 22.83 + 0.398X - 2.8 \times 10^{-3}X^2$	2.36	36.9	70.9	34.6
H8-sin	Flooded Rice	$Y = 14.52 + 1.168X - 20.0 \times 10^{-3}X^2$	2.15	31.6	29.3	16.7
H14-sin	Flooded Rice	$Y = 25.08 + 0.299X - 3.8 \times 10^{-3}X^2$	1.45	30.9	39.1	10.6

<sup>(1)</sup> Erro padrão para comparação de valores estimados.

<sup>(2)</sup> Porcentagem de PSA necessária para obtêr-se o platô ou 90% do platô.

## **ESTUDO 3**

# **NECESSIDADE DE P SOLÚVEL EM ÁGUA EM FERTILIZANTES FOSFATADOS TOTALMENTE ACIDULADOS CONTENDO COMPOSTOS DO TIPO Fe-Al-P**

### **OBJETIVOS**

- **Investigar se a exigência por elevada solubilidade em água é realmente necessária em todas as condições de cultivo.**
- **Relacionar a necessidade de PSA com a composição química dos fertilizantes.**

## DESENHO EXPERIMENTAL:

### 4 Fontes de P:

- 2 Superfosfatos triplos  
Rochas Tapira e Jacupiranga
- 2 Superfosfatos simples  
Rochas Araxá e Patos

### Doses de P:

0, 20, 40, 80 e 160 mg P kg<sup>-1</sup>  
(Curva Padrão)  
40 mg P kg<sup>-1</sup> (demais)

6 Misturas FIA e FMC: 0, 20, 40, 60, 80 e 100% PSA.

### Cultura:

Trigo

3 repetições



## Necessidade de P solúvel em água em função do pH do solo.

Fonte de P †	pH	Modelo			Dose (mg P kg <sup>-1</sup> ) necessária para atingir‡		PSA necessária para atingir§	
		Quadrático	SE¶	Platô	Platô	90% do Platô	Platô	90% do Platô
MCP – DMY	5.2	$Y = 0.94 + 0.957X - 8.8 \times 10^{-3}X^2$	1.25	26.9	54.3	36.8		
MCP – RY	5.2	$Y = 3.27 + 3.337X - 30.0 \times 10^{-3}X^2$	4.37	93.9	54.3	36.8		
MCP – DMY	6.4	$Y = 0.70 + 1.447X - 19.3 \times 10^{-3}X^2$	1.45	27.8	37.4	25.4		
MCP – RY	6.4	$Y = 2.44 + 5.047X - 67.4 \times 10^{-3}X^2$	5.05	96.9	37.4	25.4		
<b>TSP 1 – RY</b>	<b>5.2</b>	$Y = 35.44 + 1.249X - 7.9 \times 10^{-3}X^2$	1.57	84.9			<b>79</b>	<b>46</b>
<b>TSP 1 – RY</b>	<b>6.4</b>	$Y = 34.13 + 1.830X - 15.3 \times 10^{-3}X^2$	2.66	88.8			<b>60</b>	<b>36</b>
<b>TSP 2 – RY</b>	<b>5.2</b>	$Y = 47.98 + 0.745X - 3.9 \times 10^{-3}X^2$	2.14	83.5			<b>95</b>	<b>49</b>
<b>TSP 2 – RY</b>	<b>6.4</b>	$Y = 42.97 + 1.161X - 6.8 \times 10^{-3}X^2$	5.04	92.9			<b>86</b>	<b>48</b>
<b>SSP 1 – RY</b>	<b>5.2</b>	$Y = 17.93 + 1.705X - 11.4 \times 10^{-3}X^2$	3.62	81.6			<b>75</b>	<b>48</b>
<b>SSP 1 – RY</b>	<b>6.4</b>	$Y = 24.42 + 1.897X - 13.1 \times 10^{-3}X^2$	2.21	93.2			<b>72</b>	<b>46</b>
<b>SSP 2 – RY</b>	<b>5.2</b>	$Y = 58.76 + 0.683X - 4.7 \times 10^{-3}X^2$	4.02	83.7			<b>73</b>	<b>31</b>
<b>SSP 2 – RY</b>	<b>6.4</b>	$Y = 60.97 + 0.926X - 6.9 \times 10^{-3}X^2$	5.24	92.1			<b>67</b>	<b>31</b>

† Fonte de P: TSP 1, Tapira; TSP 2, Jacupiranga; SSP 1, Araxá; SSP 2, Patos de Minas.

Análise modal da composição química dos fertilizantes fosfatados totalmente acidulados TSP 1, TSP 2, SSP 1 and SSP 2.

Composto†	Fonte de P‡			
	TSP 1	TSP 2	SSP 1	SSP 2
----- % -----				
Fe <sub>3</sub> (K, Na, H)H <sub>8</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub>	4.7 §		19.3 § ←	4.3 §
Fe <sub>3</sub> KH <sub>14</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>8</sub>		1.6 §		
CaAlH(HPO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> F <sub>2</sub>				6.0 § ←
Ca <sub>10</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (OH,F)	5.0 §	3.4 §	3.1 §	6.4 §
SiO <sub>2</sub>	0.7		0.7	18.7 §
CaSO <sub>4</sub>	3.1 §		46.9 §	40.3 §
Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	81.8 §	87.9 §	12.8 §	16.7 §
Total	95.3	92.9	82.8 ¶	92.4

† Fórmula química dos compostos presentes nos fertilizantes.

‡ Fonte de P: TSP 1, Tapira; TSP 2, Jacupiranga; SSP 1, Araxá; SSP 2, Patos de Minas.

§ Compostos identificados por raios x no fertilizante na forma original ou fração insolúvel em água.

¶ 91.5% quando incluindo Mg, Ti, Ba, Sr e Zn na forma de sulfatos.

**ALGUNS RESULTADOS  
PUBLICADOS E OUTROS EM  
VIAS DE PUBLICAÇÃO**

# CONCLUSÕES

## RESULTADOS SUGEREM:

- Impurezas catiônicas contendo P não devem ser vistas como necessariamente problemáticas quando presentes em fertilizantes fosfatados totalmente acidulados.
- Os resultados não confirmam a necessidade de elevada solubilidade em água (aprox. 90%) imposta pela legislação brasileira para os fertilizantes fosfatados totalmente acidulados para todas as condições de cultivo/manejo.
- Maior eficiência agrônômica de fosfatados acidulados contendo compostos do tipo Fe-P em condições de solos inundados. (Dissolução de fosfatos de ferro).
- Necessidade de outros estudos em condições de campo com o objetivo de avaliar a exigência de elevadas taxas de PSA em fosfatos totalmente acidulados, tal como prevê a legislação brasileira.

## **Acredita-se que será possível utilizar FR no futuro de forma mais adequada através de :**

- Maior conhecimento da composição química percentual dos fertilizantes (análise modal),
- Entendendo-se o comportamento de compostos hoje tido como impuros como fornecedores de P às culturas,
- Dominando processos de produção quanto ao controle do tipo e quantidade de “compostos impuros” formados nos fertilizantes.

# DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS - EXEMPLOS -

Fertilizante específico economicamente viável  
para:

- Arroz inundado.
- Minimizar problemas relacionados a contaminação de mananciais de água por P.

Pesquisas agronômicas e de viabilidade econômica  
são necessárias.

# Proposed Production and Utilization of the H14 in Specific Fertilizers

$\text{Fe}_3\text{KH}_8(\text{PO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  [H8]  
(water-insoluble, poor source of P for plants)

$\text{Fe}_3\text{KH}_{14}(\text{PO}_4)_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  [H14]  
(water-insoluble, available source of P for plants)

Supposing PR with high amounts of Fe

PR +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  → SSP containing H8

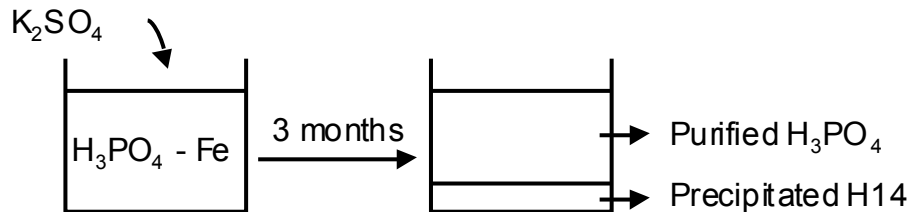
PR +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  → Filter-grade  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (~30%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) with Fe  
 Conc. by heat → Merchant-grade  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (~50%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) [ $\text{H}_3\text{PO}_4 - \text{Fe}$ ] + some H14

$[\text{H}_3\text{PO}_4 - \text{Fe}] + \text{K}_2\text{SO}_4$  → Low-impurity  $\text{H}_3\text{PO}_4$  + H14 → Used to produce "TSP" (MCP + H14) (lower water solubility than normal TSP)

↓  
used to produce good-quality MAP and on-grade DAP

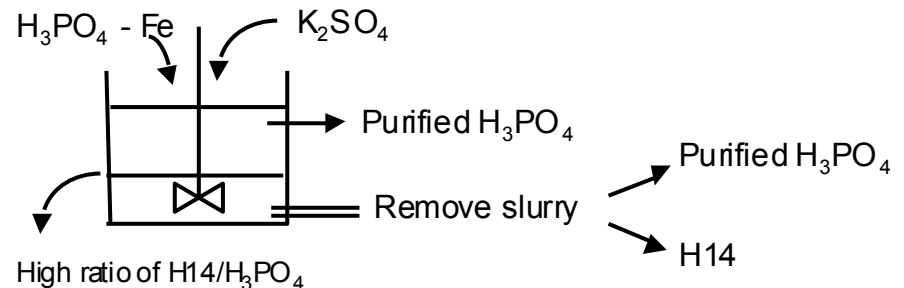
↓  
**Specific fertilizer for flooded rice or areas with problems with P runoff**

## Batch Process



(Dillard and Prochnow, unpublished.)

## Continuous Process to Increase Nucleation



**Acredita-se que:**

**SETOR INDUSTRIAL**

**+**

**SETOR AGRONÔMICO =**

**PRODUTOS FERTILIZANTES NOVOS, MAIS ADEQUADOS, MAIS ESPECÍFICOS PARA DETERMINADAS CONDIÇÕES. MELHOR UTILIZAÇÃO DAS RESERVAS FOSFÁTICAS.**



# AGRADECIMENTOS

- Ao Dr. Bernardo van Raij pela idéia inicial.
- FAPESP.
- LSN e ESALQ.
- IFDC, em especial aos pesquisadores Norman Chien, Gil Carmona, Julio Henao, Rick Austin e Ewald Dillard.
- Alabama A&M University, em especial ao Dr. Robert Taylor.

**SUCESSO A TODOS E  
MUITO OBRIGADO  
PELA ATENÇÃO**