

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**SUPERSFOSFATO SIMPLES CONTENDO FOSFATO DE FERRO  
DE BAIXA SOLUBILIDADE APLICADO EM SOLOS DE VÁRZEA  
DO RIO GRANDE DO SUL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**GERÔNIMO RODRIGUES PRADO**

**SANTA MARIA, RS, BRASIL**

**2009**

**SUPERSFOSFATO SIMPLES CONTENDO FOSFATO DE FERRO  
DE BAIXA SOLUBILIDADE APLICADO EM SOLOS DE VÁRZEA  
DO RIO GRANDE DO SUL**

**por**

**Gerônimo Rodrigues Prado**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Químicos e Ciclagem de Elementos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Ciência do Solo**

Orientador: Prof. Leandro Souza da Silva

Santa Maria, RS, Brasil  
2009

**Prado, Gerônimo Rodrigues, 1983-**

**P896s**

Superfosfato simples contendo fosfato de ferro de baixa solubilidade aplicado em solos de várzea do Rio Grande do Sul / por Gerônimo Rodrigues do Prado ; orientador Leandro Souza da Silva. - Santa Maria, 2009.

78 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2009.

1. Ciência do solo 2. Arroz irrigado 3. Fosfato de ferro 4. Fertilizantes 5. Superfosfato simples I. Silva, Leandro Souza da, orient. II. Título

CDU: 631.4:633.18.03

Ficha catalográfica elaborada por  
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**SUPERSFOSFATO SIMPLES CONTENDO FOSFATO DE FERRO DE BAIXA  
SOLUBILIDADE APLICADO EM SOLOS DE VÁRZEA DO RIO GRANDE DO SUL**

elaborada por  
**Gerônimo Rodrigues Prado**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Ciência do Solo**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Leandro Souza da Silva, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**João Kaminski, Dr. (UFSM)**

**Rogério Oliveira de Sousa, Dr. (UFPel)**

Santa Maria, 21 de maio de 2009.

**Dedico** aos meus pais e ao meu irmão  
Pela força e incentivo durante todo  
O desenvolvimento do trabalho

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais Jorge e Ana, ao meu irmão Leopoldo, Tia Jane, Sulene e demais familiares que no decorrer deste percurso estiveram presente oferecendo todo o carinho e amizade na hora da angústia, do nervosismo, do desânimo.

Ao Professor Leandro Souza da Silva, excelente orientador, que durante todo este período depositou confiança e balizou caminhos sempre demonstrando calma e paciência para orientar nos momentos de dificuldades. Também pelos demais ensinamentos deixados ao longo das reuniões e em sala de aula que serão lembrados no decorrer da vida.

A todos os professores do Departamento de Ciência do Solo que contribuíram para minha formação acadêmica, cívica e moral durante este período. Ao professor Luis Ignácio Prochnow (IPNI/Brasil) pelo estímulo ao projeto, pela disponibilidade dos fertilizantes e pelos textos enviados. Ao Dr. Nelson Horowitz e a empresa Roullier pelas análises de fósforo nos fertilizantes. Ao professor Rogério Oliveira de Sousa (UFPel) e aos técnicos do IRGA pelas amostras de solo.

Aos colegas de pesquisa Elisandra Pocojeski, Karine Arend, Darines Britzke, Álisson Pujol, Gustavo Griebeler, Vagner Moro, Simone Kaefer, Diovane Moterle que não mediram esforços para auxiliar no decorrer do trabalho e na resolução das dificuldades quando necessário. Pelas conversas de incentivo e pela cumplicidade depositada fazendo com que muitos momentos de angústias fossem amenizados.

Aos colegas da Pós Graduação em Ciência do Solo e aos bolsistas de iniciação científica pelas discussões, troca de experiência no decorrer do curso e pelas palavras de incentivo. Em especial a todos os do grupo de Química e Fertilidade do Solo pela força no desenvolvimento deste trabalho

Aos amigos da “Casa Beta” Enrique, Fernando e Thiago pelo grande exemplo de amizade e parceria nestes últimos 12 meses. E aos demais amigos, Genuir Denega, Stefen Pujol, Eduardo Lorenzi, Jovani Zalamena, Darcy Linke, Rafael Peres, Adriano Guilhermano, Cristiane Stecca.

E a todas as pessoas que de alguma forma ou de outra contribuíram para que eu conseguisse desenvolver este trabalho.

E por fim, mas não por último, agradeço a Deus que me guiou durante mais esta etapa da minha vida.

**AGRADEÇO À TODOS.**

A percepção do desconhecido é a mais fascinante das experiências. O homem que não tem os olhos abertos para o misterioso passará pela vida sem ver nada. (Albert Einstein)

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria

### **SUPERFOSFATO SIMPLES CONTENDO FOSFATO DE FERRO DE BAIXA SOLUBILIDADE APLICADO EM SOLOS DE VÁRZEA DO RIO GRANDE DO SUL**

Autor: Gerônimo Rodrigues Prado

Orientador: Leandro Souza da Silva

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 21 de maio, 2009

Algumas rochas utilizadas na produção de fertilizantes contêm impurezas de baixa solubilidade em água, destacando-se alguns fosfatos de ferro-alumínio (Fe-Al-P). A utilização destas rochas pode gerar superfosfato simples contendo essas impurezas o que não atende a legislação de fertilizantes no Brasil. Uma das possibilidades para o aproveitamento dos fertilizantes com grau elevado de impurezas de fosfato de ferro seria aplicá-los em solos alagados. Portanto, os objetivos do presente trabalho foram: a) estudar o comportamento do fósforo oriundo do superfosfato simples contendo impurezas de fosfatos de ferro com baixa solubilidade em água, quando submetidos a condições de alagamento em diferentes solos de várzea do RS usados para o cultivo do arroz; e b) estudar a eficiência da utilização do fósforo oriundo dos fertilizantes contendo impurezas de fosfatos de ferro insolúveis em água quando comparados a superfosfatos simples sem resíduos de fosfatos de ferro em plantas de arroz (*Oryza sativa*). Foram coletados seis solos de várzea, de diferentes locais do Estado do Rio Grande do Sul (RS), sendo dois solos na cidade de Santa Maria (Planossolo e Gleissolo) e um solo em cada uma das cidades de Santa Vitória do Palmar (Chernossolo); Uruguaiana (Chernossolo); Cachoeirinha (Gleissolo) e Pelotas (Planossolo). Os solos foram acondicionados em vasos plásticos de 8 L. Os tratamentos foram estruturados em um bifatorial 6x3 (seis solos, duas fontes de fósforo - superfosfato simples e superfosfato simples com resíduos de ferro - e testemunha sem P). Nos tratamentos com fósforo foi adicionado ao solo 100 mg de P kg<sup>-1</sup> de solo. Uma lâmina de água foi mantida a 5 cm de altura nos vasos acima do solo e realizou-se a coleta da solução do solo, semanalmente. O pH e o potencial redox foram medidos imediatamente após cada coleta da solução e em laboratório se procedeu a determinação dos teores de fósforo, ferro e manganês. Transcorrido 45 dias de alagamento, foram transplantadas oito plântulas de arroz cultivar IRGA 422 CL para serem cultivadas por um período de mais 45 dias. Foi determinado a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), o teor de fósforo (P) no tecido e o cálculo da quantidade de P absorvido. Os resultados mostraram aumento no pH, redução do Eh e aumento dos teores de fósforo, ferro e manganês em todos os solos. O superfosfato simples contendo impurezas de fosfato de ferro insolúveis em água apresentou comportamento semelhante ao superfosfato simples sem impurezas quando aplicados nos solos de várzea do Rio Grande do Sul, evidenciando seu potencial para uso nestes solos.

Palavras Chave: Fertilizantes, impurezas, arroz irrigado.



## **ABSTRACT**

Master Dissertation  
Graduate Program in Soil Science  
Universidade Federal de Santa Maria

### **SUPERPHOSPHATE CONTAINING LOW SOLUBILITY IRON PHOSPHATE APPLIED IN PADDY RICE FROM RIO GRANDE DO SUL STATE.**

AUTHOR: Gerônimo Rodrigues Prado

ADVISOR: Leandro Souza da Silva

Place and Date of Defense: Santa Maria, May 21, 2009.

Some rocks used in fertilizer production contain impurities of low solubility in water such as iron aluminum phosphate (Fe- Al- P). The use of these rocks generates simple superphosphate which may contain impurity levels that do not meet the fertilizer legislation in Brazil. One of the possibilities for the use of fertilizers containing high degree of impurities of iron phosphate would be to apply in flooded soils. Thus, the aims of this work were: a) to study the phosphorous behavior originating from the simple superphosphate containing impurities of iron phosphate with low solubility in water, when submitted to flooding conditions in different flooding soils from RS used for the cultivation of the rice; b) to study the efficiency of the use of phosphorus originating from fertilizers containing impurities of insoluble iron phosphates in water when compared to single superphosphates without residues of iron phosphates in rice plants (*Oryza sativa*). Six lowland soils were collected from different places in the State of Rio Grande do Sul: two soils in Santa Maria (Planossolo and Gleissolo) and the others in Santa Vitória do Palmar (Chernossolo); Uruguaiana (Chernossolo); Cachoeirinha (Gleissolo) and Pelotas (Planossolo). The soils were conditioned in 8 L plastic vases. The treatments were structured in a bifatorial 6x3 (six soils, two P sources, simple superphosphate and simple superphosphate with (Fe-P) residues without P addition). In treatments with P, 100 mg P Kg<sup>-1</sup> was added to the soil. A water layer was maintained at 5 cm of height in vases above the soil and the collection of the soil solution was carried out weekly. pH and redox potential were measured immediately after each collection of the solution and the reading of the amount of P, iron and manganese was done just after that. Forty five days after flooding, eight exemplars of rice cultivar IRGA 422 CL were transplanted to be cultivated for 45 more days. The yield of dry matter from aerial part, the P amount in the tissue and the calculation of the P amount absorbed were determined. The results showed an increase of pH and of the amount of P, iron and manganese as well as a decrease of Eh in all soils. The simple superphosphate containing insoluble impurities of iron phosphate in water presented behavior similar to simple superphosphate without impurities when applied in soils of meadow from Rio Grande do Sul, evidencing its potential to be used in these soils Rio Grande do Sul, evidencing its potential to be used in these soils.

Key words: Fertilizers, impurities, flooding rice.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Sistema de coleta da solução implantado nos vasos. ....	31
FIGURA 2 - Sistema de coleta implantado nos vasos e seringa de polietileno para coleta da solução. ....	32
FIGURA 3 - Sistema de leitura dos valores de pH e potencial redox .....	32
FIGURA 4 - Alterações do pH da solução do solo de seis solos de várzea submetidos a três fontes de fósforo durante 45 dias. Sendo SM I Planossolo de Santa Maria (a); PEL Planossolo de Pelotas (b); URUG Chernossolo de Uruguaiana (c); SVP Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (d); SMII Gleissolo de Santa Maria (e) CACH Gleissolo de Cachoeirinha (f).....	37
FIGURA 5 - Alterações do Eh da solução do solo de seis solos de várzea submetidos a três fontes de fósforo durante 45 dias. Sendo SM I Planossolo de Santa Maria (a); PEL Planossolo de Pelotas (b); URUG Chernossolo de Uruguaiana (c); SVP Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (d); SMII Gleissolo de Santa Maria (e) CACH Gleissolo de Cachoeirinha (f).....	39
FIGURA 6 - Alterações do Mn da solução do solo de seis solos de várzea submetidos a três fontes de fósforo durante 45 dias. Sendo SM I Planossolo de Santa Maria (a); PEL Planossolo de Pelotas (b); URUG Chernossolo de Uruguaiana (c); SVP Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (d); SMII Gleissolo de Santa Maria (e) CACH Gleissolo de Cachoeirinha (f).....	42
FIGURA 7 - Alterações do Fe da solução do solo de seis solos de várzea submetidos a três fontes de fósforo durante 45 dias. Sendo SM I Planossolo de Santa Maria (a); PEL Planossolo de Pelotas (b); URUG Chernossolo de Uruguaiana (c); SVP Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (d); SMII Gleissolo de Santa Maria (e) CACH Gleissolo de Cachoeirinha (f).....	44
FIGURA 8 - Alterações do P da solução do solo de seis solos de várzea submetidos a três fontes de fósforo durante 45 dias. Sendo SM I Planossolo de Santa Maria (a); PEL Planossolo de Pelotas (b); URUG Chernossolo de Uruguaiana (c); SVP Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (d); SMII Gleissolo de Santa Maria (e) CACH Gleissolo de Cachoeirinha (f).....	47

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Características químicas e físicas dos solos. ....	29
TABELA 2 - Teores de P total, solúvel em citrato neutro de amônio (CNA) + água (H <sub>2</sub> O) e em água das duas fontes de fertilizantes (SFS e SFS+P-Fe).....	30
TABELA 3 - Matéria seca de arroz em diferentes solos de várzea com adição de Superfosfato Simples (SFS) sem e com resíduos de baixa solubilidade (P- Fe).....	50
TABELA 4 - Teor de P no tecido da parte aérea das plantas de arroz em função dos tratamentos utilizados.....	51
TABELA 5 - Quantidade de P acumulado na parte aérea das plantas de arroz em função dos tratamentos utilizados.....	52

## LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1- Valores de pH no Planossolo de Santa Maria (SM I).....	61
APÊNDICE 2 - Valores de pH no Planossolo de Pelotas (PEL). ....	61
APÊNDICE 3 - Valores de pH no Chernossolo de Uruguaiana (URUG).....	62
APÊNDICE 4 - Valores de pH no Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (SVP).....	62
APÊNDICE 5 - Valores de pH no Gleissolo de Santa Maria II (SM II). ....	63
APÊNDICE 6 – Valores de pH no Gleissolo de Cachoeirinha. ....	63
APÊNDICE 7- Valores de Eh no Planossolo de Santa Maria (SM I). ....	64
APÊNDICE 8 - Valores de Eh no Planossolo de Pelotas (PEL).....	64
APÊNDICE 9 - Valores de Eh no Chernossolo de Uruguaiana .....	65
APÊNDICE 10 - Valores de Eh no Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (SVP).....	65
APÊNDICE 11 - Valores de Eh no Gleissolo de Santa Maria II (SM II).....	66
APÊNDICE 12 - Valores de Eh no Gleissolo de Cachoeirinha.....	66
APÊNDICE 13- Valores de Mn no Planossolo de Santa Maria (SM I). ....	67
APÊNDICE 14 - Valores de Mn no Planossolo de Pelotas (PEL).....	67
APÊNDICE 15 - Valores de Mn no Chernossolo de Uruguaiana (URUG). ....	68
APÊNDICE 16 - Valores de Mn no Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (SVP). ....	68
APÊNDICE 17 - Valores de Mn no Gleissolo de Santa Maria II (SM II).....	69
APÊNDICE 18 - Valores de Mn no Gleissolo de Cachoeirinha.....	69
APÊNDICE 19 - Valores de Fe no Gleissolo de Cachoeirinha.....	70
APÊNDICE 20 - Valores de Fe no Planossolo de Santa Maria (SM I). ....	70
APÊNDICE 21 - Valores de Fe no Planossolo de Pelotas (PEL).....	71
APÊNDICE 22 - Valores de Fe no Chernossolo de Uruguaiana (URUG).....	71

APÊNDICE 23 - Valores de Fe no Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (SVP). .....	72
APÊNDICE 24 - Valores de Fe no Gleissolo de Santa Maria II (SM II).....	72
APÊNDICE 25 - Valores de P no Gleissolo de Cachoeirinha.....	73
APÊNDICE 26 - Valores de P no Gleissolo de Cachoeirinha. ....	73
APÊNDICE 27 - Valores de P no Planossolo de Santa Maria (SM I). ....	74
APÊNDICE 28 - Valores de P no Planossolo de Pelotas (PEL).....	74
APÊNDICE 29 - Valores de P no Chernossolo de Uruguaiana (URUG).....	75
APÊNDICE 30 - Valores de Fe no Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (SVP). .....	75
APÊNDICE 31 - Ilustração mostrando o alagamento do solo (a), a coleta da solução, estrutura para medir o pH e o Eh (b), filtragem da solução (c), estrutura para acomodar as sementes até a germinação (d), vaso com plantas de arroz (e), desenvolvimento das plantas em todos os tratamentos (f) .....	76
APÊNDICE 32 - Resumo da análise estatística.....	77

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
2.1 Disponibilidade de fósforo no solo.....	17
2.1.1 Capacidade de adsorção de fósforo nos solos.....	17
2.2 Fertilizantes fosfatados.....	20
2.2 Impurezas em fertilizantes fosfatados.....	21
2.4 Aproveitamento de resíduos de baixa solubilidade em água.....	23
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	27
3.1 Coleta e preparo dos solos.....	27
3.2 Aplicação dos tratamentos e montagem dos vasos.....	28
3.3 Condução do experimento e análises.....	31
3.3.1 Coleta da solução do solo e análise de pH e Eh.....	31
3.3.2 Análises químicas da solução do solo.....	33
3.4 Cultivo de arroz nos vasos.....	33
3.4.1 Análise de P no tecido.....	34
3.5 Análise estatística.....	34
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	35
4.1 Valores pH e Eh na solução do solo.....	35
4.2 Mn e Fe na solução do solo.....	40
4.3 P na solução do solo.....	43
4.4 Produção de matéria seca, teor de P no tecido e P acumulado na parte aérea do arroz irrigado.....	49
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	53
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	54
<b>7 APÊNDICES</b> .....	61

# 1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um nutriente essencial às plantas, contribuindo para o crescimento e o desenvolvimento vegetal pela sua participação nos processos de transferência de energia celular e na estrutura dos ácidos nucléicos e membranas. Assim, quantidades adequadas de P no solo são necessárias para um bom desenvolvimento das culturas, com reflexos na absorção, produtividade e aproveitamento de outros nutrientes essenciais.

Entretanto, é comum a deficiência de P nos solos brasileiros, o que exige a necessidade de adubações fosfatadas para tornar os rendimentos das culturas economicamente viáveis. As principais fontes industriais de P utilizadas na agricultura são obtidas através do tratamento de rochas fosfáticas (fosfatos naturais). Os fosfatos naturais, por apresentarem baixa solubilidade em água, sofrem processos físicos, como lavagem e/ou flotação, e químicos, como acidulação através de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) e ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), para aumentar sua solubilidade em água, produzindo o superfosfato simples, o triplo e outros fertilizantes fosfatados, comumente denominados de fertilizantes acidulados ou solúveis.

Tendo em vista a escassez de fosfatos naturais de alta qualidade para industrialização, estudos têm sido desenvolvidos para o aproveitamento de rochas fosfáticas com maiores teores de impurezas. Nesse caso, têm sido identificadas como resíduos do processo industrial alguns fosfatos de ferro-alumínio (Fe-Al-P) de baixa solubilidade em água, presentes no final da acidulação dos fertilizantes. Como a legislação de fertilizantes estabelece determinados parâmetros de solubilidade para comercialização de fertilizantes fosfatados solúveis, associado com o aumento dos custos dos fertilizantes, têm aumentado o interesse em estudar a presença desses compostos Fe-Al-P nos fertilizantes, avaliando a sua eficiência no fornecimento de fósforo às plantas.

Estudos sugerem que uma das possibilidades para o aproveitamento dos fertilizantes que contém grau elevado de impurezas (especificamente fosfatos de ferro) seria aplicá-los em solos alagados para o cultivo do arroz irrigado. Nas condições de alagamento, ocorrem reações de redução de  $Fe^{+3}$  para  $Fe^{+2}$  nos compostos, devido à presença de microrganismos anaeróbios presentes nesses ambientes, favorecendo a solubilização do mineral e a conseqüente liberação de

fosfato. Além disso, a elevação do pH que ocorre nos solos alagados também é favorável a liberação do P nos fosfatos de ferro residuais contidos nos fertilizantes.

No Estado do Rio Grande do Sul (RS) aproximadamente 20% da área total é constituída por solos de várzea. Estes solos geralmente são encontrados nas regiões de planície costeira interna e externa, nas regiões do litoral sul (junto à Lagoa dos Patos e Mirim) e nas planícies de rios situados na região da Depressão Central, da Campanha e da Fronteira Oeste, predominando os Planossolos, Gleissolos, Chernossolos no Rio Grande do Sul. Apesar de todos os solos caracterizarem-se como solos de várzea, os diferentes tipos de solo possuem algumas características distintas entre si como, por exemplo, a capacidade de adsorção de fósforo. Desta maneira, surge a dúvida sobre o comportamento dos fertilizantes acidulados contendo elevado grau de impurezas de baixa solubilidade em água na adubação do arroz irrigado em diferentes solos de várzea do RS.

O objetivo geral desse trabalho foi avaliar os efeitos da utilização de superfosfato simples contendo impurezas de fosfato de ferro de baixa solubilidade em água em solos de várzea do Rio Grande do Sul.



## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Disponibilidade de fósforo no solo**

Para facilitar o entendimento do fósforo (P) no solo, este pode ser dividido em duas classes (fontes) principais: O P orgânico e o P inorgânico. O P orgânico é derivado de restos de culturas vegetais e organismos em decomposição (COELHO; VERLENGIA, 1972). Grandes quantidades de P orgânico podem ser encontradas no solo (em torno de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$ ), sendo que as principais formas já identificadas apresentam-se na forma de fosfato de inositol (30 a 50% do P orgânico total), ácidos nucléicos e nucleotídeos (3 a 5%), fosfolipídios e outros em quantidades menores (SIQUEIRA, 2004). Já as fontes de P inorgânico são oriundas da mineralização de formas orgânicas e do intemperismo das rochas (apatita) com presença de minerais fosfatados, formando compostos com cálcio, alumínio e ferro (Ca-P; Al-P; Fe-P), em diferentes graus de labilidade (disponibilidade às plantas) independente do tipo de solo, do método de preparo e sucessão de culturas (RHEINHEIMER, 2001).

As quantidades de fósforo (P) presentes no solo podem variar de 100 a  $1.000 \text{ mg kg}^{-1}$ , sendo que somente valores inferiores a 1% desta quantidade estão presentes na solução do solo (BRADY; WEIL, 2002). Segundo Tisdale (2005), a baixa disponibilidade de P na solução do solo, em alguns solos, é consequência da imobilização que este elemento é capaz de sofrer através de sua adsorção na fase sólida do solo, principalmente com os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Estas ligações geralmente formam compostos estáveis de alta energia de ligação e baixa solubilidade.

#### **2.1.1 Capacidade de adsorção de fósforo nos solos**

O processo de adsorção de P no solo é bastante conhecido na literatura, sendo que a adsorção de P ao solo pode ocorrer quando o fósforo presente na solução reage com formas iônicas do tipo ferro (Fe), alumínio (Al), cálcio (Ca) ou ainda quando tal elemento é adsorvido pelos oxidróxidos de Fe e de Al. Os

oxidróxidos de Fe e Al geralmente apresentam-se em maiores quantidades em solos com maior grau de intemperismo. Desta maneira, em solos mais intemperizados processo de adsorção de P ocorre com maior freqüência (NOVAIS et al., 2007).

De maneira geral, quanto mais argiloso e intemperizado o solo, menores os valores observados de P em solução e maior a capacidade máxima de adsorção, conseqüentemente, menor a disponibilidade de P às plantas (SOUSA, 2006). Valladares (2003), observou que houve uma maior capacidade de adsorção de fósforo nos solos com maior textura argilosa com destaque para os formados a partir de rochas básicas ou alcalinas. Segundo Falcão e Silva (2004), a capacidade máxima de fixação de fósforo (CMAP) pode ser correlacionada positivamente com o conteúdo de argila e alumínio presente no solo negativamente com a saturação de bases. A capacidade de adsorção de fósforo no solo é inteiramente influenciada pela cristalinidade dos óxidos de ferro e alumínio, pois a baixa cristalinidade aumenta a área superficial específica de tais óxidos e, como conseqüência, o aumento da reatividade química com os fosfatos (HERNANDEZ; MEURER, 1998). Ranno (2007), utilizando solos de várzea do Rio Grande do Sul (RS), encontrou correlação positiva entre a capacidade de fixação de fósforo no solo e o teor de óxidos de ferro pouco cristalino presente.

Existem outros fatores envolvidos no processo de adsorção de fósforo nos solos, além da quantidade de óxidos de Fe, Al e Ca presentes e do teor de argila no solo. Fatores como mineralogia predominante no solo, área superficial específica do mineral, teor de alumínio trocável, teor de matéria orgânica e pH, também interferem nos fenômenos de adsorção de fósforo ao solo (BRADY; WEIL, 2002). As partículas de carga variável (orgânicas ou minerais) presentes nos solos tornam-se progressivamente mais negativa com o aumento do pH na solução do solo. Este fenômeno físico-químico contribui para que os ânions sejam fracamente adsorvidos nestas partículas e, assim, a adsorção de fosfato no solo diminui em ambientes com pH mais próximos de 7,0 (MEURER; ANGHINONI, 2006). Sato (2005), estudando processos de adsorção de P num Ultisol, (correspondente à um Nitossolo no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS, 2005), observou que o aumento do pH no solo de 4,7 para 5,9 e 7,0 proporcionou a diminuição da adsorção do P no solo entre 21 e 34% respectivamente.

O teor de matéria orgânica presente no solo também interfere nos processos de adsorção de fósforo. A matéria orgânica presente no solo apresenta um

determinado caráter iônico e, devido a esta característica, é possível afirmar que a mesma influencia fortemente os compostos iônicos ali presentes, influenciando também capacidade de adsorção de fósforo (NOVAIS et al., 2007). Devido ao caráter aniônico apresentado pela matéria orgânica, esta pode adsorver o fósforo ou bloquear os sítios de adsorção que ocorrem nas superfícies das argilas e dos óxidos de ferro e alumínio (SANYAL; DE DATTA, 1991). Uma diminuição da adsorção e precipitação de fosfato no solo ocorre devido a liberação de ácidos orgânicos oriundos da matéria orgânica presente no solo. Estes ácidos, ao serem liberados, competem com os sítios de adsorção de fósforo como óxidos de ferro, alumínio teor e tipo de argila. Os ácidos orgânicos presentes no solo também podem reagir com o P da solução ou ainda complexar o alumínio e o ferro que fixam (adsorvem) o fósforo (SILVA, 2006). Guppy et al. (2005), concluíram que concentrações de ácidos orgânicos (ácidos húmicos, fúlvicos e alifáticos) no solo diminuem a adsorção de fósforo, pois estes ácidos são capazes de bloquear os sítios de ligação ou solubilizar alguns oxidróxidos, inibindo assim as superfícies de adsorção.

Em solos alagados, o processo de adsorção de fósforo é afetado, pois, quando o solo é alagado, a exaustão do oxigênio torna o ambiente anaeróbico e desta maneira os microrganismos anaeróbicos passam a utilizar-se de compostos oxidados como receptores de elétrons. Vários elementos como o  $\text{Fe}^{+3}$  e o  $\text{Mn}^{+4}$  que estão nas superfícies dos óxidos sofrem redução passando a formas de  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{Mn}^{+3}$  sendo que ocorre aumento do pH devido ao consumo de hidrogênio nas reações de redução. Desta maneira a disponibilidade de fósforo é influenciada pela redução  $\text{Fe}^{+3}$  a  $\text{Fe}^{+2}$  (VAHL; SOUSA, 2004a) e aumento do pH. Segundo Sposito (1989), quando ocorre o aumento do pH ao ponto deste ser maior que o ponto de carga zero (PCZ), há um aumento das cargas negativas nas superfícies dos argilominerais e, com isso, há uma maior competição de íons  $\text{OH}^-$  e ácidos orgânicos pelos sítios de sorção, ocasionando uma repulsão de íons fosfatos e, conseqüentemente, a sua liberação na solução do solo. Desta maneira os solos alagados diminuem a adsorção de fósforo aos argilominerais devido a dinâmica de transformações que ocorre nestas condições anaeróbicas.

## 2.2 Fertilizantes fosfatados

Os fosfatos naturais são concentrados apatíticos retirados de jazidas que são recursos naturais e podem ter origem ígnea ou sedimentar. Segundo Kaminski e Peruzzo, (1997), depósitos de fosfato natural de origem ígnea originam-se de massas ígneas ou estado de fusão do globo e geralmente são pobres em sílica e contém rochas associadas do tipo carbonáticas e ultrabásicas em que a fluoroapatita é o principal mineral fosfático. Já os fosfatos de origem sedimentar possuem história geológica complexa, podendo ser detríticos, precipitados químicos ou conter quantidades significativas de apatita fóssil (orgânica), apresentando cimentação por sílica, carbonatos ou óxidos de ferro e ou alumínio. Para Cathcart (1980), os fosfatos naturais ainda podem ser derivados de depósitos Guano, os quais são encontrados na ilhas do pacífico. De origem ígnea, que ocorrem por ação vulcânica ao longo das zonas de fraqueza da crosta terrestre, caracterizando-se no Brasil Central, Canadá, Rússia e África do Sul. Por fim, de origem sedimentar estando presente no leito dos oceanos e em áreas costeiras sendo encontradas ao Norte da África, China, Oriente Médio e Estados Unidos.

A utilização do fosfato como fonte de P às plantas depende da maneira como são produzidos os fertilizantes fosfatados (PROCHNOW et al. 2004). São eles: os fosfatos naturais, que são simplesmente a rocha moída com reatividade variável nos solos; os termofosfatos que se caracterizam por serem produzidos através de processos térmicos e consumo de elevada energia; os fosfatos totalmente acidulados que são produzidos através de processos de acidificação com ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) ou com ácido fosfórico ( $HPO_4$ ); e, ainda, os fosfatos alternativos onde se enquadram os fertilizantes parcialmente acidulados e compactados. Os fertilizantes obtidos através da acidulação são muito mais solúveis em relação aos fosfatos naturais (HOROWITZ; MEURER, 2003).

No caso dos fertilizantes acidulados, também denominados de solúveis, utiliza-se o emprego de ácidos inorgânicos fortes, como o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) ou o ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) para a solubilização do P, produzindo assim os superfosfatos ou fosfatos de amônio (KAMINSKI; PERUZZO, 1997). A produção de superfosfato simples é obtida através da adição de  $H_2SO_4$  na rocha moída (apatita), e, por isso, este fertilizante é chamado de acidulado. O principal objetivo da

acidulação é proporcionar uma quantidade de fósforo aos fertilizantes que devem apresentar solubilidade em citrato de amônio + água (CNA+H<sub>2</sub>O) e água (H<sub>2</sub>O). O grau de solubilidade dos fertilizantes é um parâmetro utilizado para averiguar a disponibilidade de P através dos teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em água e a quantidade mínima de compostos insolúveis em água destes produtos (LEHR, 1980).

A qualidade da rocha ao qual são extraídos os fertilizantes fosfatados é consequência da composição mineral e das diferenças geológicas de onde se formaram. Quando na produção de fertilizantes se utilizam rochas de elevada qualidade com altos teores de P, o resultado é formação de compostos com elevado grau de solubilidade em H<sub>2</sub>O e CNA. A elevada solubilidade em água de fertilizantes oriundos destas rochas é devido a ausência de impurezas catiônicas (Fe e Al) e a presença de compostos como sulfato de cálcio (CaSO<sub>4</sub>) (LEHR, 1980). Entretanto, a origem da rocha fosfática influencia o grau de contaminação presente no concentrado podendo inviabilizar o seu uso industrial para a obtenção de fertilizantes convencionais (KAMINSKI; PERUZZO, 1997).

### **2.3 Impurezas em fertilizantes fosfatados**

Para que os fertilizantes fosfatados tenham uma boa eficiência, há a necessidade que estes sejam solúveis em água e solúveis em CNA+ água. O grau de solubilidade em água de um fertilizante indica todo o fertilizante disponível na forma de íon orto-fosfato primário (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) e grande parte do íon orto-fosfato secundário (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-2</sup>). Desta maneira, todo o fósforo determinado por este processo se encontra possível de ser assimilado pelas plantas tendo relação estreita com o valor agrônômico do fertilizante. Já o fósforo solúvel em CNA solubiliza somente a forma de íon orto-fosfato secundário sendo utilizado para avaliar os fertilizantes que se encontram nesta forma e ainda para avaliar os fertilizantes não solúveis em água. Assim, a qualidade do fertilizante e o seu enquadramento dentro da legislação são dados conforme os resultados da solubilidade em água e CNA + H<sub>2</sub>O (LEHR, 1980).

A utilização de fosfatos de rocha de elevada qualidade (sem a presença ou com pouca quantidade de compostos insolúveis em água do tipo Fe-Al-P) na produção dos fertilizantes fosfatados acidulados conduz a obtenção de formas de

fósforo solúveis em água, prontamente disponíveis às plantas atendendo a legislação. Entretanto, devido à exaustão das rochas fosfáticas de elevada qualidade, em função da contínua exploração das reservas, cada vez mais compostos do tipo Fe-Al-P fazem parte dos fertilizantes fosfatados. Quando concentrados apáticos com muitas impurezas catiônicas (Fe e Al) sofrem acidulação, alguns compostos do tipo Fe-Al-P insolúveis em água, podendo ou não ser solúveis em citrato de amônio mais água (CNA + H<sub>2</sub>O) presentes nestes concentrados, descaracterizam a qualidade do fertilizante, indisponibilizando-os para a agricultura, pois não atendem à legislação, devido ao baixo ou nenhum grau de solubilidade em água (PROCHNOW, 2001).

Prochnow et al. (2003), ao caracterizar e avaliar a eficiência agrônômica de três superfosfato simples com diferentes graus de fosfato de ferro, produzidos a partir dos concentrados apáticos com diferentes concentrações de P total P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (15,7 % 15,2% 13,9 % os quais denominou respectivamente SSP 1, SSP2 e o SSP3) ambos oriundos de fosfato de rocha de Araxá, evidenciou através da análise por raio X que estes fertilizantes apresentavam compostos do tipo Fe<sub>3</sub>H<sub>9</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>.6H<sub>2</sub>O e Fe<sub>3</sub>H<sub>15</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>8</sub>.4H<sub>2</sub>O. Segundo o autor, é possível que a baixa solubilidade destes fertilizantes em água esteja associada com a presença dos compostos anômalos Fe<sub>3</sub>H<sub>9</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>.6H<sub>2</sub>O e Fe<sub>3</sub>H<sub>15</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>8</sub>.4H<sub>2</sub>O presentes nas formas dos fertilizantes e encontrados em grande quantidade no SSP3 e pouca nos demais SSP1 e SSP2.

Em outro trabalho, Prochnow et al. (2003b) sintetizaram em laboratório compostos contendo fosfatos de ferro, cujas fórmulas empíricas são Fe<sub>28</sub>K<sub>1.1</sub>H<sub>8.5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub> 4.1H<sub>2</sub>O e Fe<sub>30</sub>K<sub>0.9</sub>H<sub>14.1</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>8</sub> 4.3H<sub>2</sub>O, respectivamente, com o objetivo de caracterizar quimicamente estes compostos, estudar o efeito do pH na solubilidade e avaliar a sua eficiência agrônômica. A análise química destes compostos evidenciou a baixa solubilidade de fósforo em água (0,03% para o composto sintetizado Fe<sub>28</sub>K<sub>1.1</sub>H<sub>8.5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub> 4.1H<sub>2</sub>O e 0,20% Fe<sub>30</sub>K<sub>0.9</sub>H<sub>14.1</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>8</sub> 4.3H<sub>2</sub>O), enquanto que a solubilidade em citrato de amônio foi de 20,42% para o Fe<sub>28</sub>K<sub>1.1</sub>H<sub>8.5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub> 4.1H<sub>2</sub>O e de 23,78% para o Fe<sub>30</sub>K<sub>0.9</sub>H<sub>14.1</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>8</sub> 4.3H<sub>2</sub>O. Nas análises de raio X foi possível verificar que a morfologia destes compostos foi semelhante com os compostos Fe<sub>3</sub>H<sub>9</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>.6H<sub>2</sub>O e Fe<sub>3</sub>H<sub>15</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>8</sub>.4H<sub>2</sub>O citados anteriormente. Ainda, a análise específica da área destes cristais sugere basicamente que a sua composição é constituída por ferro, potássio e fósforo. Os autores concluíram que a dissolução destes compostos contendo altas quantidades

de Fe-K-P aumenta com o aumento do pH. Também foi possível concluir que fertilizantes acidulados com somente 11 ou 17% de solubilidade em água podem produzir 90% de matéria seca de arroz em ambiente alagado.

Anteriormente no Brasil foram estabelecidos níveis mínimos de P solúvel em água em fertilizantes fosfatados (16%; 37%; 38%; 44%), respectivamente para o superfosfato simples, superfosfato triplo, DAP e MAP, os quais correspondem a aproximadamente 90% de P disponível em CNA + água como P solúvel em água nestes fertilizantes (BRASIL, 1982). Entretanto, no ano de 2007 a instrução normativa de 23/02/2007 (BRASIL, 2007), atualmente válida e usada, oriunda de (BRASIL, 2004) que aprova o registro e controle de fertilizantes minerais, em seu anexo II estabelece alterações no mínimo de P solúvel em água em fertilizantes fosfatados de 15%; 36%, 38% e 44% respectivamente para o superfosfato simples, superfosfato triplo, DAP e MAP. Com isso, o P solúvel em água para o superfosfato simples passa a ser considerado 84% do P disponível em CNA + água. No processo de beneficiamento e de acidulação dos fosfatos de rocha, ou concentrados apatíticos (material originado no beneficiamento), quantidades significativas de compostos contendo Fe-Al-P podem ser descartadas no sentido de produzir fertilizantes finais que atendam especificações da legislação quanto a solubilidade de água (PROCHNOW, 2001).

No entanto, parece que não há necessidade de que fertilizantes fosfatados tenham elevada solubilidade em água para serem utilizados como insumo na agricultura. Em experimento em casa de vegetação, Bartos et al. (1992) observaram que o rendimento do sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) não foi afetado quando foram aplicados fertilizantes (DAP) com grau de solubilidade de P (solúvel em água) inferior a 90%. Consequentemente, o atendimento a legislação limita o aproveitamento de fertilizantes obtidos de fosfatos naturais de baixa qualidade, contendo impurezas de baixa solubilidade em água (PROCHNOW, 2001).

## **2.4 Aproveitamento de impurezas de baixa solubilidade em água**

Estudando a disponibilidade de P às plantas oriundas de fontes de compostos residuais (insolúveis em água) de alguns superfosfatos triplo, Mullins et al. (1990) concluíram que o P insolúvel em água dos superfosfatos triplos não foi disponível

para as plantas tal como as fontes solúveis em água. Bartos et al. (1991) estudaram em casa de vegetação a eficiência agronômica de sete fertilizantes monoamônio fosfato (MAP) contendo resíduos insolúveis em água. As fontes foram aplicadas em um thermic Typic Paleudult (Argissolo Vermelho segundo o SiBCS, 2005) com pH corrigido para 6,7 e testadas na cultura do sorgo. Os autores evidenciaram que o rendimento do sorgo variou com as fontes aplicadas devido à composição química das mesmas e concluíram que as impurezas presentes em tais fertilizantes não foram disponíveis às plantas. Entretanto, o nível de impurezas presentes nos MAP não se tornou um problema à cultura e, conseqüentemente, não se tornando um problema agronômico.

Mais recentemente, Prochnow et al. (2006) testaram a eficiência agronômica relativa de algumas fontes de fósforo com variada solubilidade em água sendo um fosfato monocálcico, um superfosfato simples, um multifosfato magnesiano, fosfato de rocha e um superfosfato triplo com elevado grau de impureza de fosfato de ferro. Os autores observaram que, quando aplicada em baixa dose, a fonte de superfosfato triplo com elevado grau de impurezas de fosfato de ferro apresentou boa eficiência agronômica no Latossolo com elevada capacidade de fixação de fósforo. A possível explicação é que fontes padrões como o fosfato monocálcico apresentam alta adsorção pelas partículas presentes no Latossolo, enquanto fontes contendo impurezas e principalmente os fosfatos de ferro sofreriam menos adsorção nestes tipos de solo.

O uso de fertilizantes com altos níveis residuais provou ser eficiente em solos alagados cultivados com arroz irrigado (PROCHNOW, 2001). Inúmeros processos afetam as características físicas, químicas e biológicas em ambientes alagados (solos de várzea) alterando a disponibilidade e a dinâmica dos nutrientes presentes nesse ambiente. Dentre as principais alterações químicas nestes solos, evidencia-se a diminuição do potencial redox (Eh) e o aumento do pH do meio até próximo a neutralidade devido as reações de oxirredução que se processam com consumo de hidrogênio (SOUSA, 2006). Devido à ausência de oxigênio ( $O_2$ ) nos solos alagados, os microrganismos utilizam-se de compostos inorgânicos oxidados do tipo nitrato ( $NO_3^-$ ), manganês ( $Mn^{+4}$ ), ferro III ( $Fe^{+3}$ ), sulfatos ( $SO_4^-$ ) como aceptores finais de elétrons na cadeia respiratória. Ainda, podem utilizar-se de produtos da dissimilação da matéria orgânica ( $CO_2$ ,  $N_2$ ) e até mesmo íons  $H^+$  no processo respiratório de acceptor de elétrons. Devido às reações de redução, o alagamento do solo também



causa alterações na condutividade elétrica, na força iônica e na sorção e dessorção de muitos outros íons (OLIVIE-LAUQUET et al., 2001).

Alguns ânions também apresentam dinâmica modificada nos solos de várzea e/ou alagados. O P adicionado por meio de fertilizantes, ou presente nos solos na forma de fosfatos de ferro Fe-P, semelhante ao dos resíduos presentes em fertilizantes, não está diretamente envolvido nas reações de oxidação e redução, mas sua presença em compostos passíveis de redução proporciona grandes modificações nestes ambientes (SOUSA, 2006). São justamente os fosfatos de ferro (Fe-P) presentes nos solos de várzea cultivados com arroz irrigado que apresentam a maior contribuição para o P disponível às plantas antes e após o alagamento (RANNO, 2004; RANNO et al., 2007). As formas inorgânicas de fósforo (Fe-P) + fosfato de cálcio (Ca-P) são as mais importantes para a nutrição das plantas quando comparadas com o fósforo total nos solos de várzea. Estas formas podem representar em média de 31% do conteúdo total de fósforo no solo no período que antecede o alagamento (RANNO et al., 2007).

A eficiência agronômica de três superfosfatos simples ( $SSP_1$ ,  $SSP_2$ ,  $SSP_3$ ), contendo diferentes graus de impurezas tipo  $Fe_3H_9(PO_4)$ , comumente chamados de Fe-P, em solos alagados cultivados com arroz foi testada por Prochnow et al. (2003b). Neste trabalho, avaliou-se a quantidade de matéria seca de arroz produzida em função dos fertilizantes utilizados, indicando que o fertilizante com maiores quantidades de impurezas de fosfato de ferro ( $SSP_3$ ) apresentou eficiência semelhante às demais fontes, inclusive para a testemunha contendo todo o P solúvel em água. Estes resultados mostram que fertilizantes contendo impurezas insolúveis em água podem suprir as necessidades de P às plantas em condições de alagamento.

Apesar da potencialidade dos fertilizantes contendo impurezas de fosfato de ferro insolúveis em água suprir as necessidades de P às plantas em condições de alagamento, alguns fatores de solo podem afetar a eficiência desses fertilizantes para o arroz irrigado por alagamento. Segundo Braga (2006), fontes de P com menor solubilidade em água podem apresentar maior eficiência agronômica relativa em solos de elevada capacidade de fixação de fósforo. Os solos de várzea utilizados para cultivo do arroz são bastante variáveis em termos de características. Segundo Ranno et al. (2007), alguns solos do Rio Grande do Sul apresentam diferentes capacidades de adsorção de P, variando entre 71 a 933 mg kg<sup>-1</sup>, refletindo na

quantidade de P necessária para alterar o P disponível do solo. Segundo os mesmos autores, a capacidade máxima de adsorção de fósforo nesses solos está relacionada diretamente com os teores de argila, matéria orgânica e os teores de óxidos de ferro, especialmente os de baixa cristalinidade.

Outro aspecto a ser considerado, além da capacidade de adsorção dos solos, é que a liberação do P depende da redução dos compostos de Fe-P. O P não participa diretamente das reações de oxirredução em solos alagados, mas devido à sua reatividade com os compostos de ferro passíveis de redução, seu comportamento é profundamente afetado pelo curso da redução. Assim, a liberação do P contido nos compostos Fe-P será dependente do curso de redução do solo, o qual pode ser associado com a composição do solo, tais como teores de argila, nitrato, matéria orgânica, óxidos de ferro e manganês e sulfato. Assim, as condições que propiciam o aumento de Fe na solução do solo também contribuem para a disponibilidade de P presente nos fertilizantes contendo resíduos Fe-P.

### **Hipóteses**

A disponibilidade de fósforo na solução do solo, presente em superfosfato simples contendo impurezas de fosfatos de ferro de baixa solubilidade em água pode ser semelhante ao fósforo liberado oriundo de superfosfato simples solúvel em água em solos alagados devido às alterações químicas que ocorrem nestes locais.

Superfosfatos simples contendo impurezas de fosfato de ferro com baixa solubilidade em água podem ser aproveitados pelas plantas de arroz (*Oryza sativa*) irrigado por alagamento similarmente a fertilizantes solúveis em água como o superfosfato simples.

### **Objetivos específicos**

a) estudar a disponibilidade de fósforo presente em superfosfato simples contendo impurezas de fosfatos de ferro com baixa solubilidade em água, quando submetidos a condições de alagamento em diferentes solos de várzea do RS comparando-os com o comportamento de superfosfato simples solúvel em água.

b) estudar a eficiência da utilização do fósforo oriundo dos fertilizantes contendo impurezas de fosfatos de ferro insolúveis em água quando comparados a superfosfatos simples sem resíduos de fosfatos de ferro em plantas de arroz (*Oryza sativa*).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi executado na casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizado no município de Santa Maria no Estado do Rio Grande do Sul (RS). As coordenadas geográficas onde realizou-se o experimento são 29° 43' 07. 12" de Latitude Sul e 53° 42' 30. 19" de longitude Oeste.

Para a realização deste trabalho coletou-se seis solos de várzea do Estado do Rio Grande do Sul (RS), solos estes de interesse agrônômico para o cultivo do arroz irrigado. As análises foram realizadas no laboratório de Química e Fertilidade do Solo no Departamento de Solos da UFSM.

#### **3.1 Coleta e preparo dos solos**

Foram coletadas seis amostras de solos de várzea representativas da área de arroz no Estado do RS, sendo dois Planossolos, um da cidade de Santa Maria coletado na área experimental do Departamento de Solos e outro da cidade de Pelotas coletado na área experimental da EMBRAPA/CPACT. Dois Gleissolos, um da cidade de Santa Maria coletado na área experimental do Departamento de Solos e outro da cidade de Cachoeirinha coletado na área experimental do IRGA. E por fim, dois Chernossolos um da cidade de Uruguaiana coletado em propriedade rural e outro da cidade de Santa Vitória do Palmar na área experimental da subestação do IRGA.

Aproximadamente 40 kg de cada solo foram coletados nas diferentes cidades. A coleta realizou-se na camada superficial (0-20cm). Após a coleta procedeu-se a secagem das amostras (ao ar) e a moagem do solo. Por fim os solos foram peneirados em peneira de 4 mm. Uma alíquota de cada solo (1 kg) seco e moído foi separada e colocada em embalagem plástica identificada, sendo então encaminhadas ao laboratório de análises de solo do Departamento de Solos da

UFSM para caracterizá-lo conforme métodos descritos por Tedesco et al. (1995). Os resultados das análises estão apresentados na Tabela 1.

### **3.2 Aplicação dos tratamentos e montagem dos vasos**

Alíquotas de 4 kg de cada solo foram acondicionadas em vasos plásticos de 8L de modo a preparar nove vasos para cada solo. O experimento foi instalado com os seguintes tratamentos: a) uma testemunha sem adição de P; b) 100 mg de P total  $\text{kg solo}^{-1}$  na forma de superfosfato simples (SFS), e 100 mg de P total  $\text{kg solo}^{-1}$  na forma de superfosfato simples contendo impurezas de fosfato de ferro (SFS + P-Fe), com três repetições cada. Desta maneira, o experimento ficou caracterizado por um bifatorial (6x3) com seis tipos solos e três condições de P (duas fontes + testemunha sem adição) em delineamento completamente casualizado.

**Tabela 1. Características químicas e físicas dos solos**

Solo	P <sub>Mehlich</sub>	K	Argila	M.O	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	Al	Ca	Mg	H + Al	CTC <sub>pH 7</sub>	CTC <sub>efet.</sub>	F <sub>o</sub>	Fe <sub>di</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>o</sub>
	---mg Kg <sup>-1</sup> ---		g Kg <sup>-1</sup>	%						-----cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> -----			-----mg Kg <sup>-1</sup> -----	
PLANOSSOLO (SM I)	18,9	112	21	1,9	6,9	1,6	11,0	1,1	1,4	13,8	14,0	1,2	4,9	0,24
PLANOSSOLO (PEL)	6,8	48	20	1,8	5,8	0,7	9,2	1,4	4,4	15,1	11,4	1,2	3,9	0,30
CHERNOSSOLO (URUG)	10,9	132	57	3,2	4,9	0,0	11,0	5,0	6,9	23,2	16,3	8,7	13,5	0,64
CHERNOSSOLO (SVP)	25,8	224	23	2,9	5,7	0,0	12,0	3,4	3,1	19,1	16,0	0,6	0,9	0,66
GLEISSOLO (SM II)	9,3	108	29	4,2	4,6	2,0	6,4	2,5	13,7	22,9	11,2	6,6	9,0	0,73
GLEISSOLO (CACHO)	10,1	52	19	1,1	5,1	0,1	2,1	0,8	2,5	5,5	3,1	1,6	3,5	0,47

**SM I e SM II = Santa Maria; PEL = Pelotas; URUG = Uruguaiana; SVP = Santa Vitória do Palmar; CACH = Cachoeirinha**

As características dos fertilizantes utilizados encontram-se na tabela 2, conforme análises realizadas no laboratório de fertilizantes da empresa Roullier localizado em Rio Grande (RS).

Os fertilizantes foram pesados separadamente para cada vaso e misturados aos solos. Foi pesado a quantidade de 4,908 g para cada vaso de superfosfato simples e 5,033 g para cada vaso de superfosfato simples contendo impurezas de fosfato de ferro. A mistura dos fertilizantes ao solo foi realizada em um recipiente de plástico, onde se despejou a quantidade de solo (4 kg) e adicionou a dose de fertilizante também pesada para cada fonte (superfosfato simples e superfostato simples com impurezas de ferro). Logo, solo e fertilizantes foram homogenizados e recolocados nos vasos para posterior alagamento.

**Tabela 2 - Teores de P total, solúvel em citrato neutro de amônio (CNA) + água (H<sub>2</sub>O) e em água das duas fontes de fertilizantes (SFS e SFS + P-Fe)**

Fonte	P total	C.N.A + H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
		..... %P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	
Superfosfato Simples (SFS)	18,7	17,5 (94%) <sup>1</sup>	13,9 (79%) <sup>2</sup>
SFS com Resíduo (SFS + Fe-P)	18,2	15,8 (87%)	9,2 (58%)

<sup>1</sup>Número entre parênteses representa a % em relação ao P total.

<sup>2</sup>Número entre parênteses representam a % em relação ao P em C.N.A + H<sub>2</sub>O.

Anterior ao alagamento, foi instalado em cada vaso um sistema de coleta da solução do solo, localizado no centro dos vasos e aos 5 cm de profundidade. Este sistema objetivou a remoção da solução após o alagamento, para posterior análise. O sistema de coleta da solução do solo foi construído a partir de canos PVC rígido de 0,10 m x 0,025 m perfurado, recoberto com uma tela de poliamida de 0,80 µm. No centro do cano foi conectado um segmento de PVC flexível (mangueira de plástico) conectado a um sifão de vidro em cuja extremidade fora do vaso foi possível a coleta da solução através de drenagem livre ou por sucção quando necessário. Um esquema do coletor pode ser visualizado na figura 1.

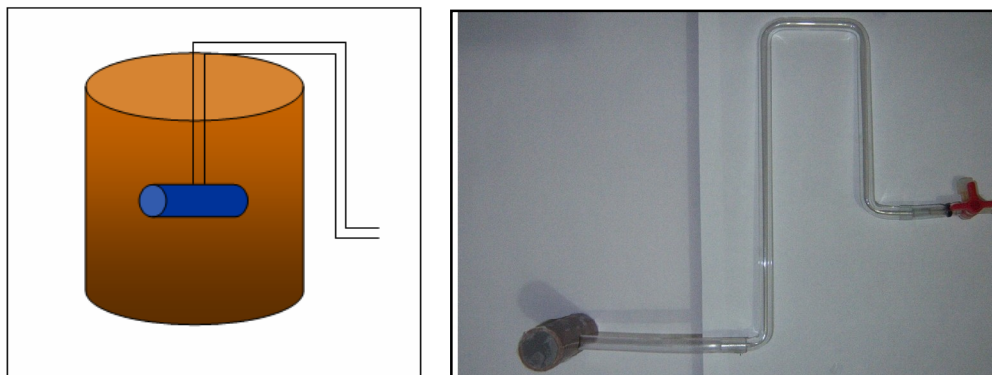


Figura 1 - Sistema de coleta da solução do solo implantado no vaso.

### 3.3 Condução do experimento e análises

Após a montagem dos vasos e aplicação dos tratamentos, os solos foram alagados com água destilada e o nível de água foi mantido a 5 cm de altura acima do solo durante todo o período de avaliação da solução do solo que se estendeu por 45 dias.

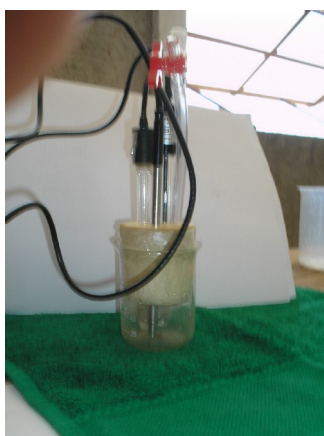
#### 3.3.1 Coletas da solução do solo e análises de pH e Eh

Transcorrido o alagamento dos solos, procedeu-se a coleta da solução do solo semanalmente durante oito semanas nos seguintes dias (08/01; 12/01; 16/01; 23/01; 30/01; 06/02; 13/02 e 20/02/2008). A coleta da solução do solo foi realizada com uma seringa de 60 ml implantada no sistema de coleta da solução fixado nos vasos. Coletou-se aproximadamente 60 ml de solução do solo de cada vaso, conforme mostrado na figura 2.



**Figura 2 – Sistema de coleta implantado nos vasos e seringa de polietileno para coleta da solução.**

Após a coleta da solução do solo, procedeu-se com a avaliação do pH e do potencial redox através de eletrodos específicos (no caso do potencial redox foi utilizado um eletrodo do tipo Ag/AgCl com anel de platina), conectados a um potenciômetro portátil. Para realizar a leitura da solução do solo, elaborou-se um sistema no qual os eletrodos foram fixados através de uma rolha em um copo de béquer de 50mL (Figura 3), procurando-se assim evitar a entrada de ar enquanto procedia a leitura do pH e do potencial redox e, conseqüentemente, o processo de reoxidação na solução. Para converter as leituras do potencial redox medido em padrão Eh, foi adicionado o valor de 220 mV as leituras.



**Figura 3 - Sistema de leitura dos valores de pH e potencial redox**



Enquanto uma alíquota era utilizada para quantificar os valores de pH e o potencial redox realizou-se a filtração de outra alíquota das amostras em filtro Millipore® de 0,47µm através de um sistema implantado em um motor capaz de realizar vácuo. Logo após a filtração, 50 mL da solução do solo foi armazenada em frascos de plástico contendo 1 ml de ácido clorídrico HCl, na concentração de 1 mol L<sup>-1</sup>, e encaminhadas ao laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da UFSM.

### **3.3.2 Análises químicas da solução do solo**

No laboratório foram avaliados os teores na solução do solo de ferro, manganês, cálcio e magnésio, em espectrofotômetro de emissão atômica, seguindo metodologia descrita por Tedesco et al (1995) e os teores de fósforo na solução do solo, segundo metodologia descrita por Murphy; Riley (1962).

### **3.4 Cultivo do arroz nos vasos**

Logo após a oitava coleta da solução do solo (45 dias), cessou-se a adição de água destilada nos vasos, até que a lâmina de água atingisse a altura acima do solo de aproximadamente 1 cm. No instante em que a altura da lâmina alcançou o desejado (aproximadamente três dias) foi implantado aos vasos plântulas de arroz cultivar IRGA 422CL de aproximadamente 10 dias (8 plântulas por vaso). A lâmina de água foi mantida na mesma altura (1cm) por 12 dias, quando então foi adicionado novamente água destilada aos vasos proporcionando que a lâmina atingisse novamente a altura de 5 cm.

As plantas de arroz foram cultivadas por um período de 45 dias, sendo então coletada a parte aérea, a qual foi seca em estufa a 60°C durante 72 horas até atingir peso constante. Posteriormente foi realizada a determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA) através da pesagem e análise do teor de P no tecido.

### **3.4.1 Análise de P no tecido**

Após a pesagem, as plantas foram encaminhadas ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo onde se realizou a moagem do tecido e posteriormente a determinação das concentrações de fósforo segundo método descrito por Tedesco et al. (1995). O fósforo acumulado na parte aérea das plantas foi obtido através da multiplicação da produção de matéria seca e a concentração de fósforo no tecido da parte aérea.

### **3.5 Análise estatística**

Os valores de pH, Eh e as concentrações de manganês, ferro e fósforo na solução para as 8 avaliações (fatorial 3 condições de P x 8 épocas de coleta) foram submetidas a análise de variância pelo Teste F e, quando significativa, as médias dos tratamentos em cada solo foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Os resultados de matéria seca da parte aérea, teor de P no tecido e a quantidade de P acumulada na parte aérea das plantas (fatorial 6 solos x 3 condições de P) foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando significativa, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. O programa utilizado para as análises estatísticas foi o ASSISTAT (2008).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Valores de pH e Eh na solução do solo

Os valores de pH da solução do solo aumentaram, em todos os solos, nos primeiros 10 dias de alagamento (Figura 4). Passado os 10 dias houve uma estabilidade do pH em todos os solos, cujos valores se mantiveram entre 6,0 e 6,5. O aumento do pH na solução do solo é justificado pela presença de microrganismos anaeróbicos nestes ambientes que obtém energia através da redução de compostos oxidados, especialmente os mangânicos e os férricos, sendo que estas reações consomem grande quantidade de  $H^+$ , conseqüentemente diminuindo o número de prótons de hidrogênio na solução do solo e promovendo a elevação do pH (PONNAMPERUMA, 1972).

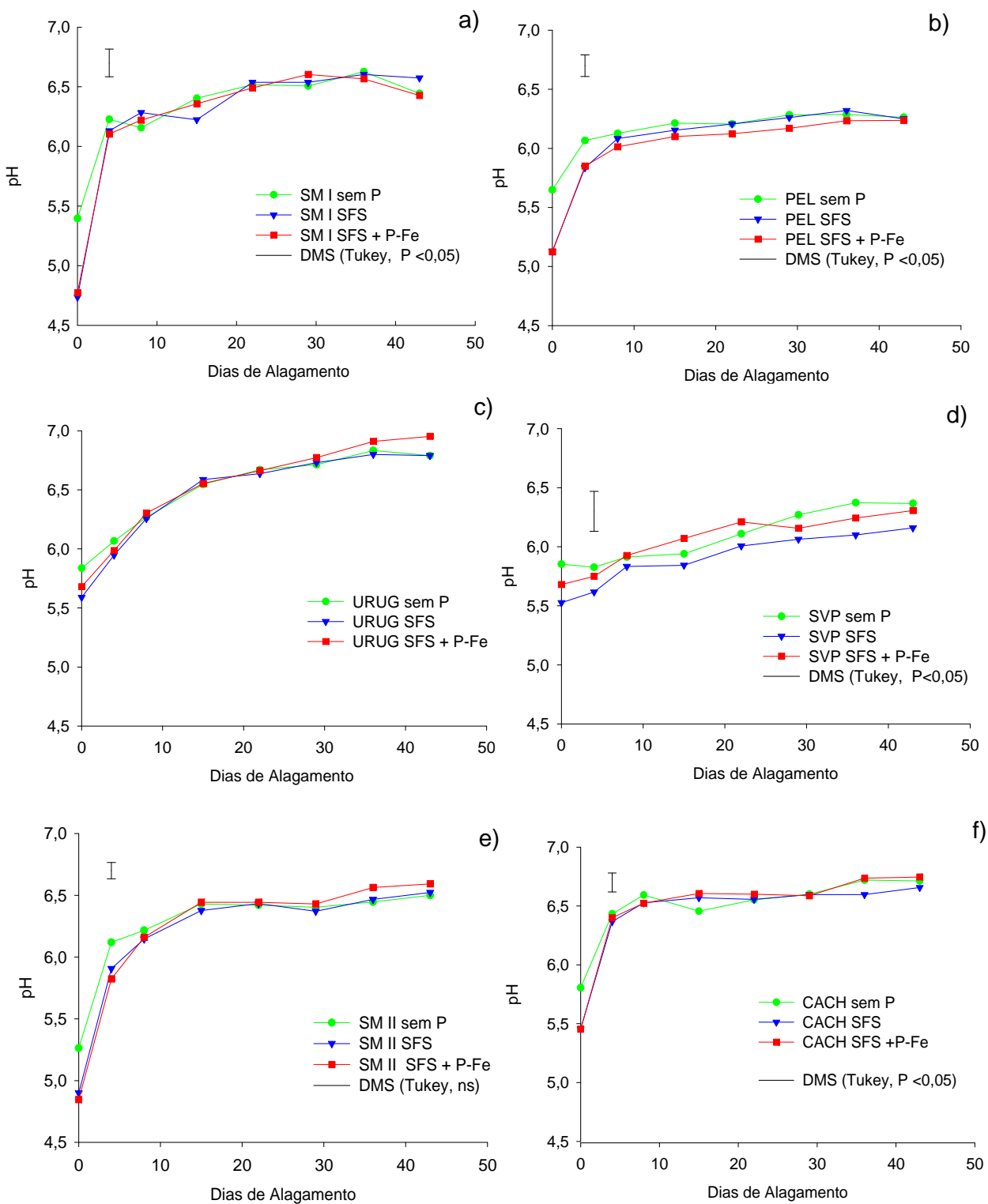
A intensidade de variação e amplitude do pH nos solos alagados é dependente do pH inicial do solo, sendo ainda associada com a redução dos compostos presentes, a natureza e quantidade dos compostos oxidados do solo (principalmente os de ferro) e da espécie e quantidade de matéria orgânica presente no solo (SOUSA 2002). Segundo Ponnampereuma (1972), é justamente nas primeiras três semanas de alagamento que ocorrem as mudanças mais significativas no pH dos solos e ainda durante este período o pH do solo atinge valores próximos a neutralidade.

O aumento do pH no solo modifica intensamente o equilíbrio de reações químicas envolvendo hidróxidos, carbonatos, sulfatos, fosfatos e silicatos em solos alagados. Alterações neste equilíbrio regulam os fenômenos de precipitação, dissolução, sorção e dessorção de muitos elementos na solução do solo (NHUNG; PONNAMPERUMA, 1966). O aumento do pH conseqüente dos processos de redução do solo influencia a concentração de vários nutrientes na solução do solo como, por exemplo, o aumento da disponibilidade de manganês ( $Mn^{+2}$ ) e de ferro ( $Fe^{+2}$ ). Outro elemento que aumenta a disponibilidade no solo devido ao aumento do pH é o fósforo. Grande parte do fósforo inorgânico em solos de várzea está associada ao ferro. Devido ao processo de redução do ferro, uma fração significativa dos óxidos e dos fosfatos férricos é solubilizada e com isso a disponibilidade de

adsorção do P diminui e conseqüentemente a disponibilidade de P na solução aumenta (VAHL, 2004).

Os resultados de pH estão coerentes com outros trabalhos, como o de Gonçalves et al. (2008) que avaliou o pH da solução de um Planossolo e um Cambissolo, observando que os valores de pH na solução do solo aumentaram até próximo de 6,0. Também resultados obtidos por Sousa (2002) que, ao estudar a oxirredução em solos alagados afetada por resíduos vegetais observou um aumento de pH durante o alagamento até próximo a 6,5. Segundo Moraes e Freire (1974), a intensidade de variação do pH é dependente do pH inicial do solo, da natureza e quantidade dos componentes oxidados no solo e, por fim, do tipo e quantidade de matéria orgânica presente nesse solo.

Houve diferença de pH apenas entre a aplicação de P, independente da fonte aplicada, e a testemunha sem P para a maioria dos solos (Planossolo SMI, Planossolo PEL, Gleissolo SMII, Gleissolo CACHO) apenas nas duas primeiras coletas ou até aproximadamente os oito dias de alagamento (Figuras 4a, 4b, 4e e 4f). Após o oitavo dia de alagamento os valores de pH não se diferenciaram entre os tratamentos em cada solo. Já para Chernossolo da cidade de Santa Vitória do Palmar não ocorreu diferença significativa de pH em nenhuma das coletas quando comparadas as fontes de fósforo e a testemunha (Figura 4d). No Chernossolo de Uruguaiana não houve efeito dos tratamentos nas oito coletas da solução do solo (Figura 4c). Gonçalves et al. (2008), estudando a solubilização de fosfato natural e fosfato solúvel em dois solos alagados, também observou que o pH da solução do solo não apresentou diferenças entre as fontes de fósforo na maior parte do tempo. O autor ainda sugere que quando não há diferenças significativas nos valores de pH, as possíveis diferenças de solubilidade do fósforo no solo entre as fontes de P não podem ser exclusivamente atribuídas as alterações nos valores de pH em uma determinada época de alagamento, o que também pode ser considerado nesse trabalho.

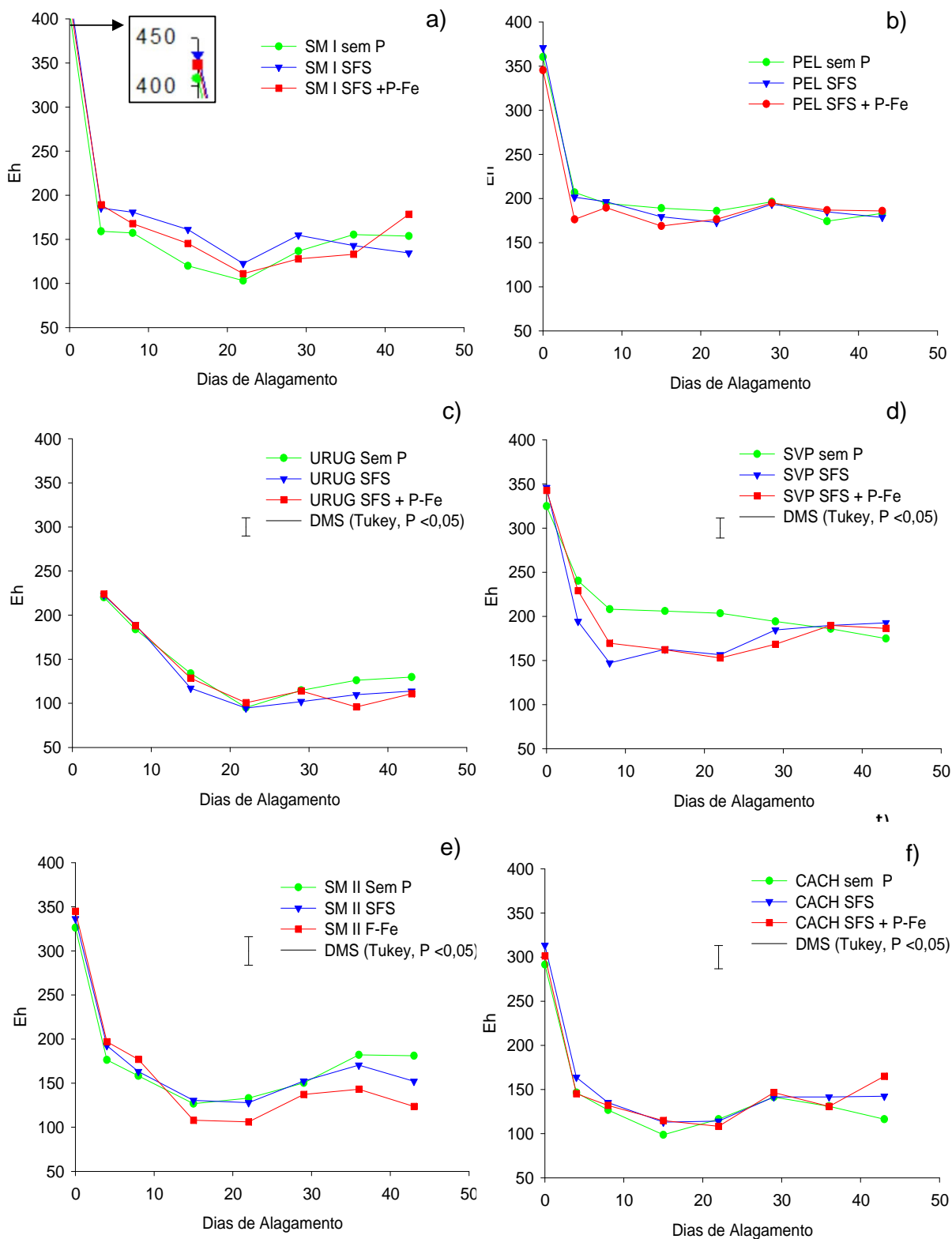


**Figura 4 - Alterações do pH da solução do solo de seis solos de várzea, submetido à três fontes de fósforo durante 45 dias. Sendo SM I Planossolo de Santa Maria(a); PEL Planossolo de Pelotas (b); URUG Cheronossolo de Uruguaiana (c); SVP Cheronossolo de Santa Vitória do Palmar (d); SMII Gleissolo de Santa Maria (e) CACH Gleissolo de Cachoeirinha (f).**

Conforme o esperado, os valores de Eh na solução do solo os 5cm de profundidade diminuíram em todos os solos (Figura 5a, 5b, 5c, 5d, 5f) devido ao alagamento, passando de valores próximos a 400 mV para valores próximos de 100 mV. Em alguns solos alagados o Eh inicial pode ultrapassar a 600 mV e reduzir-se até valores próximos de zero devido ao alagamento (DYNIA; FILHO, 1993). As maiores variações do potencial redox foram averiguadas nos primeiros 10 dias de alagamento. A partir do décimo dia foi possível observar uma estabilidade nos valores de Eh, a semelhança do que ocorreu com o pH (Figura 4). O solo que apresentou uma maior variação de redução foi o Planossolo da cidade de Santa Maria (SM I) (Figura 5a), enquanto o Chernossolo de Santa Vitória do Palmar sofreu a menor variação de redução (Figura 5d). Estes resultados também são condizentes com as alterações dos valores de pH nesses solos.

Primeiro sofrem redução justamente os compostos que apresentam uma maior disponibilidade em receber elétrons, sendo eles o nitrato, óxidos de manganês, óxidos de ferro, sulfato nesta respectiva ordem (SOUSA, 2006). Assim, os processos de redução podem ser facilitados em um solo alagado que contenha grande quantidade de matéria orgânica altamente decomponível, baixos conteúdos de nitrato e de óxidos de manganês e esteja sob temperaturas acima de 30°C. Consequentemente, o Eh de um solo alagado poderá atingir valores negativos de redução quando os teores de nitrato e óxidos de manganês forem baixos proporcionando a redução de outros compostos da ordem de preferência de redução.

Não houve efeito da interação entre as fontes de fósforo e o Eh em função do tempo para os Planossolos das cidades de Santa Maria (SM I) e Pelotas (PEL) (Figura 5a e 5b). Nos Gleissolos, um da cidade de Santa Maria (SM II) e outro da cidade de Cachoeirinha (CACHO) (Figura 5e e 5f), não foi possível observar diferença significativa de Eh entre as fontes de fósforo aplicadas em função do tempo. O Chernossolo da cidade de Uruguaiana (URUG) (Figura 5c) apresentou diferença significativa de Eh entre a adição de P quando comparado a testemunha somente na primeira coleta. Entretanto, comportamento distinto ocorreu no Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (SVP) (Figura 5d), que apresentou diferença significativa no processo de redução entre a aplicação de P independente da fonte utilizadas e a testemunha durante quase todo o período de alagamento.



**Figura 5 - Alterações do Eh da solução do solo de seis solos de várzea, submetido à três fontes de fósforo durante 45 dias. Sendo SM I Planossolo de Santa Maria(a); PEL Planossolo de Pelotas (b); URUG Cheronossolo de Uruguaiana (c); SVP Cheronossolo de Santa Vitória do Palmar (d); SMII Gleissolo de Santa Maria (e) CACH Gleissolo de Cachoeirinha (f).**

A possível explicação para o comportamento observado no Chernossolo de Santa Vitória do Palmar pode ser atribuída ao aumento da atividade microbiana devido ao aumento de fósforo na solução do solo, que apresentou grande diferença entre a testemunha e a adição de P (Figura 8d), e, com isto, intensificando os processos de redução neste solo.

As variações nos valores de pH e do potencial de óxido redução causadas pelo alagamento dos solos têm uma influência marcante na disponibilidade de nutrientes do solo. A provável estabilização do pH a valores próximos de 6,5 e a diminuição do potencial redox devido a lâmina de água torna a disponibilidade de nutrientes maior nos solos alagados (MORAES, 1973).

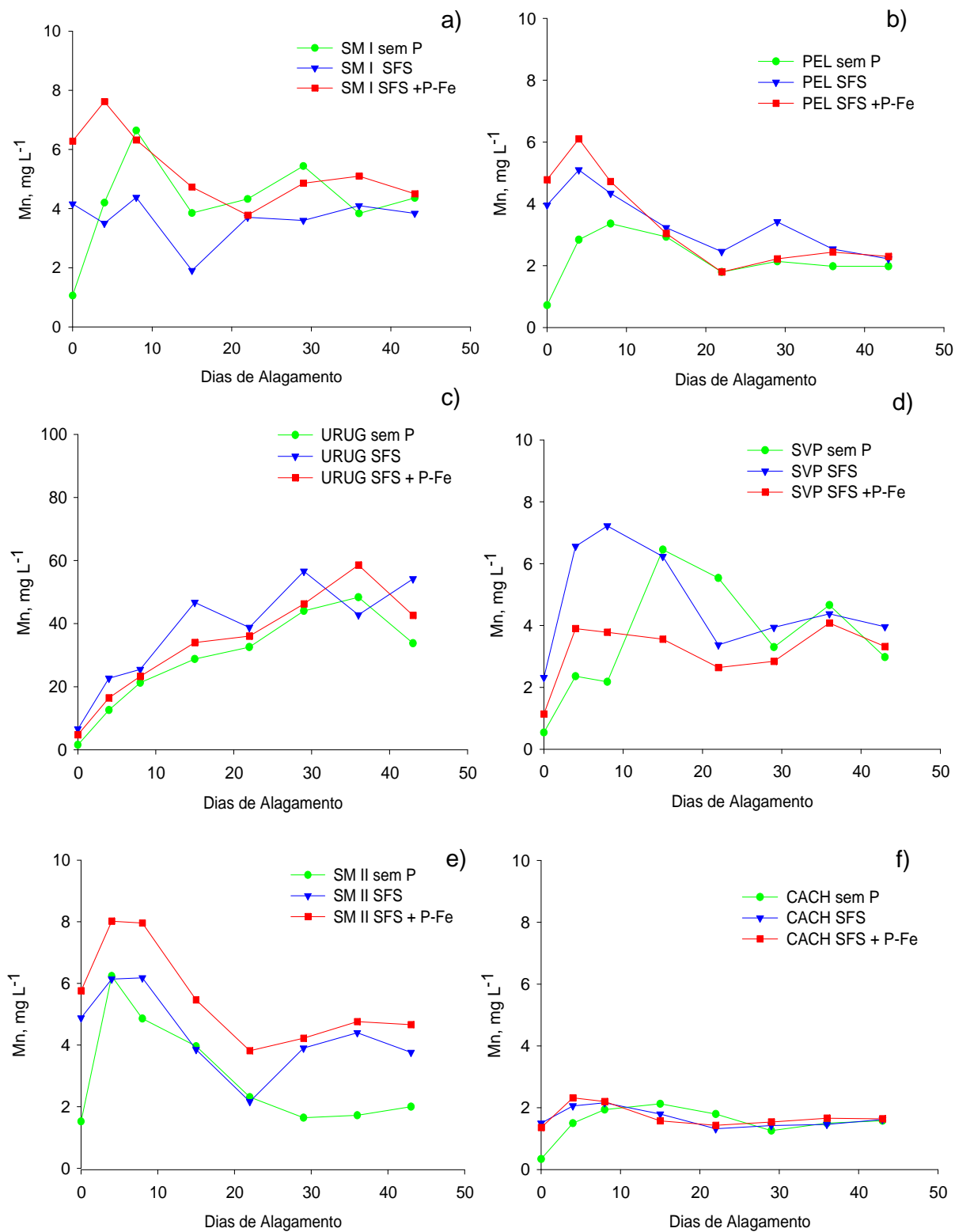
#### **4.2 Manganês e ferro na solução do solo**

Os solos avaliados apresentaram um pico de liberação de manganês na solução nos primeiros 10 dias de alagamento, com posterior decréscimo nos teores, exceto para o Chernossolo de Uruguaiana (Figura 6). O aumento do manganês na solução do solo alagado é justificado pela presença de bactérias redutoras que promovem a redução dos óxidos de manganês reduzindo-os a  $Mn^{+2}$ . A ausência de oxigênio faz com que tais bactérias utilizem-se de compostos oxidados como receptores de elétrons modificando os valores de pH e Eh na solução do solo (PONNAMPERUMA, 1965). Portanto a disponibilidade de  $Mn^{+2}$  em solos alagados está diretamente associado com as variações de pH e Eh da solução do solo (Figuras 4 e 5 respectivamente) (DYNIA; FILHO, 1993). A disponibilidade de manganês na solução do solo também é influenciada pelo material de origem do solo e a qualidade e quantidade de óxidos de manganês presentes, sendo os óxidos de manganês de baixa cristalinidade os mais importantes para a contribuição das formas de  $Mn^{+2}$  na solução do solo (SHAHANDEH, 2003). O decréscimo nos teores de manganês na solução do solo pode ser explicado pelo aumento do pH próximo a neutralidade, proporcionando a precipitação deste elemento formando os  $MnCO_3$ ,  $MnO$  e  $Mn(OH)_2$  (PONNAMPERUMA, 1972).



Não houve efeito da interação entre os tratamentos e as coletas para os teores de  $Mn^{+2}$  em nenhum solo. Entretanto, observou-se efeito principal dos tratamentos para a média de todas as coletas, sendo a aplicação de P proporcionado maiores valores que a testemunha, exceto no Gleissolo de Cachoeirinha que não apresentou diferenças entre os tratamentos. A maior variação de Mn com a adição de P deve-se, provavelmente, as mesmas explicações já evidenciadas para a maior redução de Eh abordada anteriormente para o Chernossolo de Santa Vitória do Palmar.

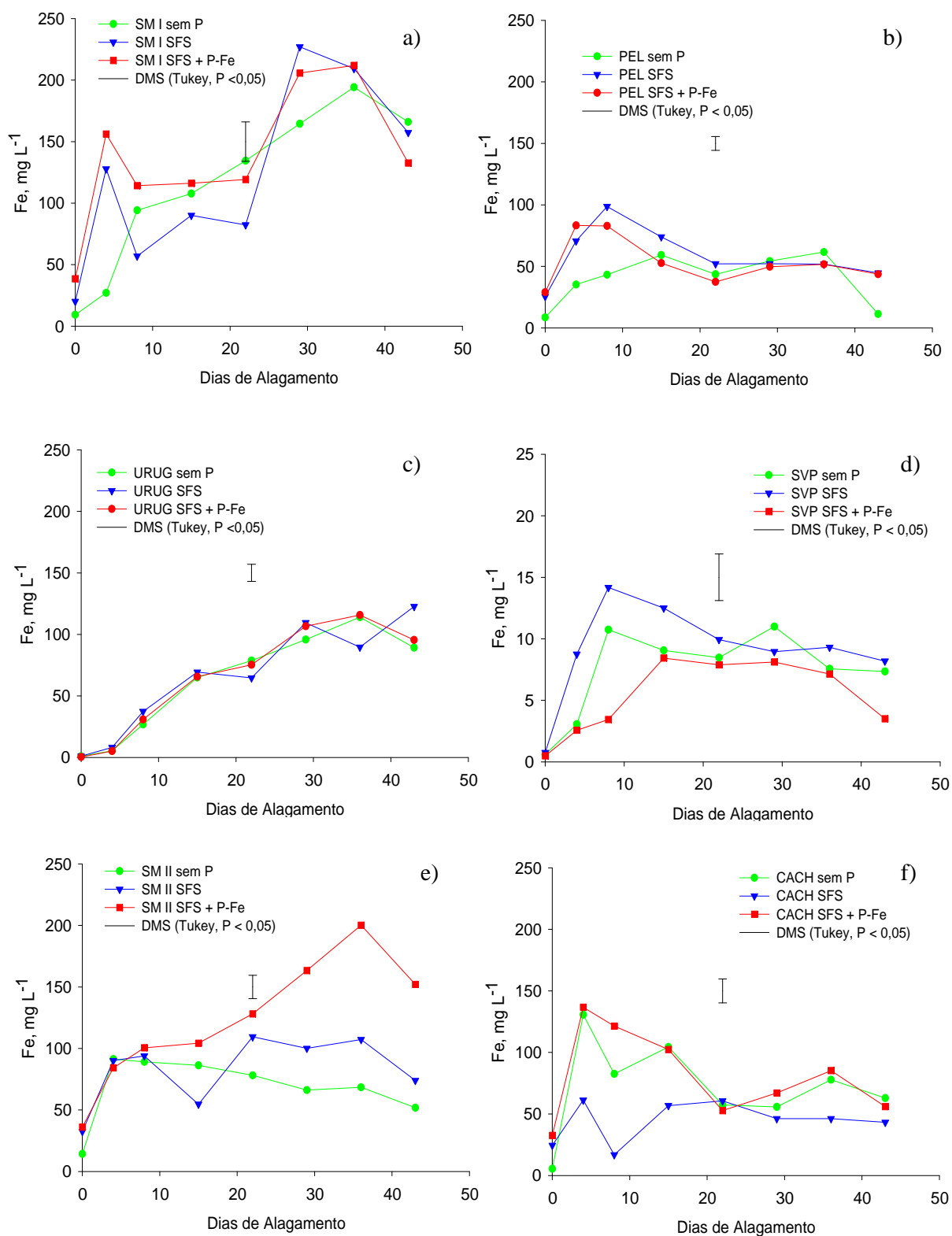
A liberação de manganês foi aproximadamente 10 vezes maior no Chernossolo de Uruguaiana quando comparado aos demais solos. Quando a concentração de óxidos mangânicos passíveis de redução encontra-se presente no solo em grandes quantidades, o processo de redução do manganês é intensificado e, conseqüentemente, o aumento de  $Mn^{+2}$  na solução do solo (GONÇALVES 2008). Este fenômeno pode explicar em parte a grande quantidade de manganês no Chernossolo da cidade de Uruguaiana. Solos oriundos de basalto como é o caso do Chernossolo de Uruguaiana apresentam grande quantidades de manganês em sua composição. Gonçalves 2007, ao estudar a relação dos óxidos de ferro e manganês com a sorção de fósforo em solos reduzidos do Rio Grande do Sul observou que os solos derivados de basalto contém maiores teores absolutos das formas de ferro e manganês e maiores relações entre as os óxidos de baixa cristalinidade e os cristalinos, quando comparados a solos oriundos de arenito e granito.



**Figura 6 - Alterações do Mn da solução do solo de seis solos de várzea, submetido à três fontes de fósforo durante 45 dias. Sendo SM I Planossolo de Santa Maria(a); PEL Planossolo de Pelotas (b); URUG Cheronossolo de Uruguaiiana (c); SVP Cheronossolo de Santa Vitória do Palmar (d); SMII Gleissolo de Santa Maria (e) CACH Gleissolo de Cachoeirinha (f).**

Houve aumento nos teores de ferro na solução do solo nos seis solos em função do alagamento (Figura 7). O aumento de ferro em solos alagados pode ser explicado pela presença de bactérias redutoras capazes de realizar a redução do  $Fe^{+3}$  a  $Fe^{+2}$ . (PONNAMPERUMA, 1972). Conseqüentemente, os níveis de  $Fe^{+2}$  na solução do solo são dependentes de fatores como o pH e a intensidade de redução do solo (Figura 4 e 5 respectivamente), teor de matéria orgânica, temperatura, características eletroquímicas de superfícies dos minerais, tempo de alagamento, a natureza e o grau de cristalinidade e teor dos óxidos de ferro e manganês presentes (SILVA, 2000). A concentração de ferro na solução aumentou de forma intensa até aproximadamente os 10 dias para o Planossolo de Pelotas (PEL), o Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (SVP) e o Gleissolo de Cachoeirinha (CACH) (Figura 7b, 7d e 7f, respectivamente). Passado este período de alagamento foi possível observar uma diminuição nas concentrações de ferro destes solos. A possível diminuição do ferro na solução do solo após os 10 dias pode ser atribuída ao aumento do pH (Figura 4). A elevação do pH promove a precipitação do ferro presente na solução transformando-o em hidróxidos de ferro. Como conseqüência deste fenômeno, o elemento se torna menos disponível na solução do solo (PONNAMPERUMA 1972).

No Planossolo de Santa Maria (SM I), Chernossolo de Uruguaiiana (URUG), e Gleissolo de Santa Maria (SM II) (Figura 7a, 7c e 7e, respectivamente), houve aumento progressivo de ferro na solução do solo durante quase todo o período de alagamento. O aumento progressivo das concentrações de ferro na solução do solo nestes solos pode ser associado ao material de origem e com a ocorrência de minerais mal cristalizados. Segundo Sousa et al (2004), solos derivados de basalto (Chernossolo Uruguaiiana) apresentam em sua estrutura minerais como piroxênio e olivina e são ricos em ferro; já solos derivados de rochas sedimentares como (Planossolo e Gleissolo da cidade de Santa Maria) podem ser ricos ou não em ferro. Além da influência do material de origem na disponibilidade de ferro no solo, a quantidade e a rapidez com que os óxidos de ferro são reduzidos e liberados para a solução estão diretamente associados com as formas dos óxidos de Fe presentes no solo (cristalinas e mal cristalizadas), caracterizando o grau de intemperismo do solo e a disponibilidade de ferro na solução.



**Figura 7 - Alterações do Fe da solução do solo de seis solos de várzea, submetido à três fontes de fósforo durante 45 dias. Sendo SM I Planossolo de Santa Maria(a); PEL Planossolo de Pelotas (b); URUG Cheronossolo de Uruguaiiana (c); SVP Cheronossolo de Santa Vitória do Palmar (d); SMII Gleissolo de Santa Maria (e) CACH Gleissolo de Cachoeirinha (f).**

Portanto, a quantidade de ferro na solução do solo tem uma relação direta com as formas dos óxidos de ferro presentes no solo (Tabela 1). Assim, quanto maior for o valor de ferro extraído por oxalato amônio ( $\text{Fe}_o$ ) maior será a quantidade de Fe reduzido, devido à maior quantidade de óxidos mal cristalizados no solo. Wonk (2005) observou que os teores de óxidos de ferro  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  associados a minerais cristalinos (principalmente Hematita e Goethita) extraídos por ditionito citrato bicarbonato (DCB) foram relativamente baixos, destacadamente em Gleissolos e Organossolos. A autora ainda afirma que, em condições de solos de várzea, há uma intensa redução das formas de ferro no solo limitando a ocorrência de óxidos de ferro cristalinos.

Munch; Ottow (1980), estudando a redução dos óxidos de ferro em três diferentes solos com distintas proporções e ocorrências de minerais cristalizados e mal cristalizados de ferro, observou que há uma preferência pelas bactérias em reduzir estes últimos sendo então estes minerais (mal cristalizados) os controladores da atividade de ferro na solução do solo. Os óxidos de ferro cristalinos são termodinamicamente mais estáveis que os óxidos mal cristalizados e, devido a isso, os microrganismos responsáveis pela redução destes óxidos nos solos alagados necessitariam de uma maior energia para solubilizar tais óxidos, justificando assim a necessidade destes microrganismos reduzir preferencialmente as formas de ferro mal cristalizadas (WAHID; KAMALAN, 1992).

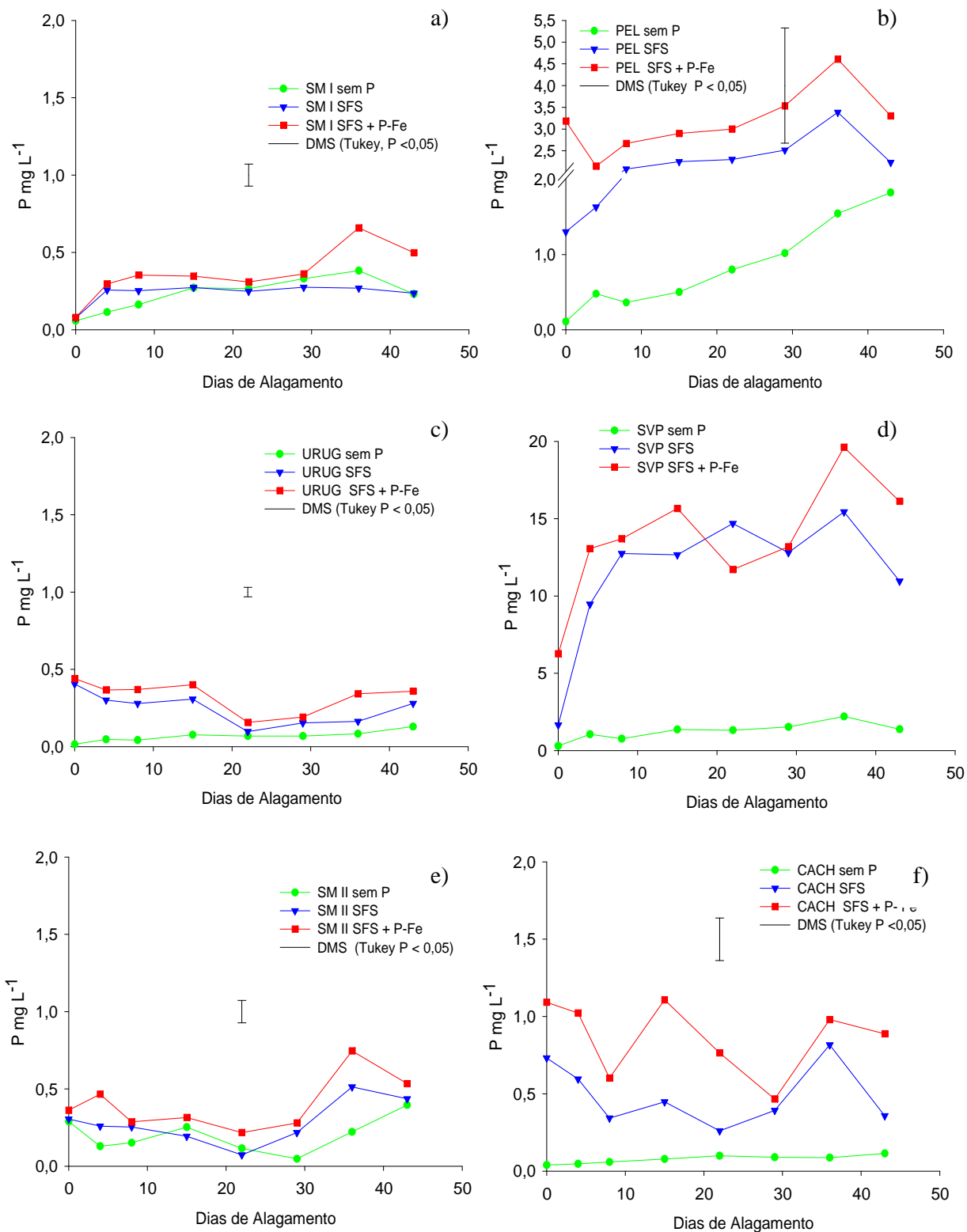
Os resultados da concentração de ferro na solução destes solos (Planossolo de Santa Maria - SM I, Chernossolo de Uruguiana - URUG). Estão coerentes com os apresentados por Gonçalves (2007), que observou em um de seus estudos que solos tipo Vertissolo e Chernossolo apresentaram aumentos constantes de ferro na solução do solo durante quase todo o período de alagamento. Também com os de Silva; Ranno, (2005), que ao estudar a calagem em solos da várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução também observaram o aumento constante nos teores de ferro em um Planossolo da cidade de Santa Maria. A possível explicação para este fenômeno, segundo os autores, foi consequência dos maiores teores de manganês e ferro nestes solos em relação aos demais, havendo assim a necessidade de um maior tempo para que o equilíbrio destes elementos fosse atingido.

As maiores concentrações de ferro (acima de  $200 \text{ mg L}^{-1}$ ) na solução do solo foram encontrados no Planossolo de Santa Maria SM I e no Gleissolo da mesma cidade (SM II), coincidindo justamente com a variação de pH (Figura 4a e 4e) e Eh (figura 5a, e 5e). Já os menores valores de ferro na solução ocorreram no Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (SVP), que não atingiram  $20 \text{ mg L}^{-1}$ . A disponibilidade de ferro na solução do solo é influenciada diretamente pelo pH, qualidade e quantidade de matéria orgânica e a quantidade e cristalinidade dos óxidos de ferro (SOUSA, 2006).

Os Gleissolos de Santa Maria e Cachoeirinha e o Planossolo de Santa Maria destacaram-se por apresentar teores de ferro na solução significativamente superiores no tratamento com SFS+P-Fe em relação ao SFS comercial, para algumas épocas de coleta. Esses resultados poderiam indicar, num primeiro momento, uma maior solubilidade desses compostos em ambientes alagados, mas observa-se que o comportamento não foi constante em todos os solos ou coletas, incluindo quando comparado com a testemunha sem P, dificultando uma afirmação mais segura apenas com esses resultados.

#### **4.3 Fósforo na solução do solo**

A concentração de fósforo na solução do solo variou entre os solos (Figura 8). O P não participa diretamente das reações de oxirredução em solos alagados, mas devido à sua reatividade com os compostos de ferro passíveis de redução, seu comportamento é profundamente afetado pelo curso da redução. As menores concentrações de fósforo na solução foram observadas no Planossolo de Santa Maria (SM I), Chernossolo de Uruguiana (URUG) e no Gleissolo de Santa Maria (SM II) (Figura 8a, 8c e 8e). O Planossolo de Santa Maria (SM I), não apresentou efeito dos tratamentos na maior parte das coletas, havendo uma diferença entre as fontes de P apenas nas últimas duas coletas. Fato semelhante pode ser observado no Gleissolo da mesma cidade (SM II). As menores concentrações de fósforo nestes solos não condizem com os valores de ferro liberados (Figura 7). É possível que outros fatores tenham influenciado a disponibilidade de fósforo nestes solos, apesar dos teores de fósforo presentes no solo se encontrarem de alto a muito alto (Tabela 1)



**Figura 8 - Alterações do P da solução de seis solos de várzea, submetido à três fontes de fósforo durante 45 dias. Sendo SM I Planossolo de Santa Maria(a); PEL Planossolo de Pelotas (b); URUG Cheronossolo de Uruguaiana (c); SVP Cheronossolo de Santa Vitória do Palmar (d); SMII Gleissolo de Santa Maria (e) CACH Gleissolo de Cachoeirinha (f).**

segundo a recomendação do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004). A baixa disponibilidade de P na solução do solo, em alguns solos, é conseqüência de sua adsorção na fase sólida do solo, principalmente com os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (TISDALE et al. 2005). Segundo Fox; Kamprath (1970), a fixação de fósforo no solo é mais intensa nos solos que contém maiores quantidades de minerais mal cristalizados (Tabela 1) do que em solos que apresentam uma maior quantidade de minerais cristalinos. Estas ligações geralmente formam compostos estáveis de alta energia de ligação e baixa solubilidade. Pinto et al. (1999) ainda sugerem que a baixa concentração de fósforo em alguns solos pode ser conseqüente da pouca disponibilidade de fósforo no material que lhe deu origem.

De acordo com Shahandeh et al. (2003), a presença de óxidos de manganês tem influência direta na liberação de fósforo para a solução do solo especialmente durante os primeiros os primeiros estágios de alagamento, pois a redução do manganês nos solos alagados antecede a redução do ferro, o qual está diretamente envolvido com o processo de liberação de fósforo para o solo. De maneira geral, quanto mais argiloso e intemperizado o solo, menores os valores observados de P em solução e maior a capacidade máxima de adsorção, conseqüentemente, menor a disponibilidade de P às plantas (SOUSA, 2006).

A adição de P elevou destacadamente os teores de fósforo na solução do solo em todas as coletas da solução no Planossolo de Pelotas (PEL). Entretanto, mesmo havendo um aumento de fósforo na solução, não foi possível detectar diferença significativa de liberação de fósforo das fontes de fósforo quando comparadas a testemunha durante o maior período de alagamento no Planossolo da cidade de Pelotas (Figura 8b), Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (SVP), e no Gleissolo de Cachoeirinha (Figura 8b, 8d e 8f). No caso do Chernossolo de SVP não houve efeito da interação entre tratamentos e o tempo de alagamento, mas houve efeito principal entre os níveis de níveis de P utilizados, sendo que a adição de P foi significativamente maior que a testemunha independente da fonte utilizada (Figura 8d). Já o Gleissolo de Cachoeirinha foi o único solo em que houve diferença entre as fontes de P, sendo que o SFS + F-Fe foi significativamente superior ao SFS nas primeiras coletas (figura 8f). Esse comportamento coincidiu com a liberação de ferro para a solução do solo nas primeiras coletas (Figura 7f), o que poderia sugerir uma maior solubilidade ao P contido no SFS + F-Fe nessas condições de solo e



alagamento. Utilizando compostos (Fe-Al-P) sintetizados semelhantes aos residuais, presentes em superfosfatos simples, cujas denominações H8 e H14 derivam das fórmulas químicas  $\text{Fe}_3\text{KH}_8(\text{PO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{Fe}_3\text{KH}_{14}(\text{PO}_4)_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , respectivamente, Biasioli (2003) concluiu que esses compostos Fe-K-P podem liberar P com o aumento do pH. Assim, a liberação do P contido nos compostos Fe-P será dependente do curso de redução do solo, o qual pode ser associado com a composição do solo, tais como teores de argila, nitrato, matéria orgânica, óxidos de ferro e manganês e sulfato.

De qualquer modo, a liberação de P para a solução em todos os solos utilizados não foi influenciada negativamente pela presença de compostos de Fe-P de baixa solubilidade em água no SFS, o que evidencia o potencial de sua utilização para a cultura do arroz irrigado, conforme os trabalhos de Prochnow (2001, 2003)

#### **4.4 - Produção de matéria seca, teor de P no tecido e P acumulado na parte aérea do arroz irrigado**

Não houve resposta na produção de matéria seca quando comparou-se a aplicação de P com a testemunha no Planossolo de Santa Maria (SMI), no Planossolo de Pelotas (PEL) e no Gleissolo de Cachoeirinha (CACH) (Tabela 3). Vários trabalhos reportam baixa resposta do arroz irrigado à adição de P no solo (GOMES et al., 2006), tendo em vista a liberação de P provocada pelo alagamento do solo, como já exposto anteriormente. Deve-se considerar também que a disponibilidade de P em alguns solos já era elevada (Tabela 1), dificultando a percepção do aumento da matéria seca das plantas com a adubação.

**TABELA 3 – Matéria seca de arroz em diferentes solos de várzea com adição de Superfosfato Simples (SFS) sem e com resíduos de baixa solubilidade (P-Fe).**

SOLOS	TRATAMENTOS		
	Sem P	SFS	SFS P-Fe
	-----matéria seca g vaso <sup>-1</sup> -----		
Santa Maria I (SMI)	7,03 abA	7,42 aA	6,68 bcA
Pelotas (PEL)	7,07 abA	7,68 aA	8,54 bcA
Uruguaiana (URUG)	2,97 bB	9,80 aA	11,40 abA
Santa Vit. do Pal. (SVP)	9,50 aB	10,25 aAB	14,44 aA
Santa Maria II (SM II)	8,71 aB	10,26 aAB	13,96 aA
Cachoeirinha (CACHO)	4,85 abA	6,23 aA	4,56 cA

**Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna comparam os diferentes solos e pela mesma letra maiúscula na linha comparam os tratamentos de fósforo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey <0,05 %)**

Os demais solos (Chernossolo de Uruguaiana, Chernossolo de Santa Vitória do Palmar SVP e Gleissolo de Santa Maria SM II) apresentaram diferença significativa quando comparou a adição de P aplicadas em relação a testemunha, porém não houve diferença significativa entre as fontes aplicadas.

Em outro trabalho, Prochnow (2003) também avaliou a eficiência agrônômica de três superfosfatos simples (SSP<sub>1</sub>, SSP<sub>2</sub>, SSP<sub>3</sub>), contendo diferentes graus de impurezas tipo Fe<sub>3</sub>H<sub>9</sub>(PO<sub>4</sub>), comumente chamados de Fe-P, em solos alagados cultivados com arroz. A quantidade de matéria seca de arroz produzida indicou que o fertilizante contendo maior grau de impureza de fosfato de ferro insolúvel em água (SSP<sub>3</sub>) apresentou eficiência semelhante às demais fontes, inclusive para a testemunha contendo todo o P solúvel em água. A eficiência de SSP<sub>3</sub> mostra que fertilizantes contendo impurezas insolúveis em água podem suprir as necessidades de P às plantas em condições de alagamento.

Gonçalves (2008) observou que a maior produção de matéria seca em plantas de arroz ocorreu onde houve a maior concentração de fósforo na solução do solo. Esta observação feita pelo autor pode justificar a maior quantidade de matéria seca observada no solo Chernossolo de Santa Vitória do Palmar SVP, que apresentou a maior quantidade de fósforo na solução do solo (Figura 8d). Entretanto, não justifica a baixa quantidade de matéria seca no Planossolo de

Pelotas PEL que também apresentou maiores quantidades de fósforo na solução do solo (Figura 8b) quando comparado aos demais solos. O fósforo não pode ser considerado o único elemento como fator limitante da quantidade de matéria seca produzida, já que o suprimento adequado de outros elementos como o nitrogênio e potássio são de grande importância para o crescimento das plantas e consequentemente o aumento de matéria seca.

Não houve efeito significativo da adição de P ou de fontes para o teor de P no tecido (Tabela 4), mas sim para os diferentes solos estudados. As diferenças entre os solos devem ser reflexo da disponibilidade natural e das características intrínsecas que determinam a liberação de P na solução do solo (Figura 8). As maiores concentrações de P na parte aérea foram averiguadas no Chernossolo de Santa Vitória do Palmar. De acordo com Novais; Smith (1999), nos solos arenosos a quantidade de P acumulado pelas plantas é maior que nos solos argilosos, sendo que este processo se explica devido a concentração crítica de fósforo na solução do solo ser maior nos solos pouco intemperizados devido a menor capacidade de fixação de fósforo que estes solos apresentam.

**TABELA 4 - Teor de P no tecido da parte aérea das plantas de arroz em função dos tratamentos utilizados.**

SOLOS	TRATAMENTOS		
	Sem P	SFS	SFS + P-Fe
	----- % -----		
Santa Maria I (SMI)	0,23 a	0,24 a	0,25 a
Pelotas (PEL)	0,23 a	0,26 a	0,23 a
Uruguaiana (URUG)	0,19 b	0,18 b	0,19 b
Santa Vit. do Pal. (SVP)	0,24 a	0,24 a	0,25 a
Santa Maria II (SM II)	0,09 c	0,10 c	0,08 c
Cachoeirinha (CACHO)	0,09 c	0,10 c	0,08 c

**Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si (Tukey <0,05 %)**

Através dos valores de matéria seca e dos teores de P no tecido é possível estimar as quantidades de P acumuladas na parte aérea das plantas. Entretanto não foi possível observar efeito da aplicação de P quando comparadas a testemunha no

Planossolo de Santa Maria (SMI), Planossolo de Pelotas (PEL), Gleissolo de Santa Maria (SM II), e no Gleissolo de Cachoeirinha (Tabela 5).

**TABELA 5 - Quantidade de P acumulado na parte aérea das plantas de arroz em função dos tratamentos utilizados.**

SOLOS	TRATAMENTOS		
	Sem P	SFS	SFS P-Fe
	----- mg vaso <sup>-1</sup> -----		
Santa Maria I (SMI)	16,72 aA	18,28 bcA	16,83 bcA
Pelotas (PEL)	16,32 aA	20,43 bA	20,28 bcA
Uruguaiana (URUG)	5,76 bB	18,55 bA	22,25 bA
Santa Vit. do Pal. (SVP)	23,43 aB	25,06 aA	36,84 aA
Santa Maria II (SM II)	7,92 bA	10,36 cdA	12,51 cA
Cachoeirinha (CACHO)	4,41 bA	6,29 dA	4,09 dA

**Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si (Tukey <0,05 %).**

Somente no Chernossolo de Uruguaiana (URUG) e no Chernossolo de Santa Vitória do Palmar é que houve diferença da aplicação de P (independente da fonte utilizada) em relação à testemunha. O aumento de P acumulado nestes dois solos onde houve a aplicação dos fertilizantes é coerente com a produção de matéria seca (Tabela 3) e com a disponibilidade de fósforo na solução do solo desses solos em relação a testemunha (Figura 8c e 8d) nestes dois solos. A maior disponibilidade de P na solução do solo consequentemente proporciona o aumento de P no tecido (AZEVEDO et al., 2004).

Os resultados de matéria seca e P absorvido pelas plantas de arroz irrigado reforçam o que já foi destacado em relação ao potencial de utilização de fontes industriais de P contendo resíduos de baixa solubilidade em água na cultura do arroz irrigado por alagamento.

## 5 CONCLUSÕES

- 1- O superfosfato simples contendo impurezas de fosfato de ferro insolúveis em água, quando aplicados nos solos de várzea do Rio Grande do Sul, apresentou comportamento na solução do solo semelhante ao superfosfato simples sem impurezas, confirmando a hipótese de que estes fertilizantes contendo impurezas de fosfatos de ferro podem ser utilizados nestes tipos de solos.
- 2- Mesmo sem atendimento a legislação de fertilizantes em vigor no Brasil, o superfosfato simples contendo impurezas de fosfato de ferro de baixa solubilidade em água tem potencial equivalente ao superfosfato simples para utilização na cultura do arroz irrigado por alagamento.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSISTAT - Assistência em Estatística Campina Grande, 2008. Versão 7.5 Beta. Disponível em <<http://www.assistat.com>>. Acesso em: 7 de junho. 2008.

AZEVEDO, W. R. et al. Disponibilidade de fósforo para o arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão. **Revista Brasileira. Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 995-1004, nov./dez. 2004.

BIASOLI, G. M. **Influência do pH e da força iônica na liberação de fósforo de compostos do tipo Fe-K-P presentes em superfosfatos**. 2003. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

BRAGA, G. **Eficiência de fosfatos com solubilidade variável em água em solos com capacidade de fixação de fósforo induzida**. 2006. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

BARTOS, J. M. et al. Water-insoluble impurity effects on phosphorus availability in monoammonium phosphate fertilizer. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, n. 3, p.972-976, May./June. 1992.

BARTOS, J. M. et al. Availability of phosphorus in the water - insoluble fraction of monoammonium phosphate fertilizers. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.55, n. 2, p.539-543, Mar./June. 1991.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Nature and properties of soils**. 13rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 960 p.

BRASIL. Anexo II em 23/02/2007. Aprova o registro e controle de fertilizantes minerais. Brasília, 2007. 21 p.

BRASIL. **Decreto n. 4954 de 14 de janeiro de 2004, anexo II**. Aprova o Regulamento da Lei n<sup>o</sup> 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Brasília, 2004. 32 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Portaria 01 de 04/83; Portaria 03 de 12/06/86**: Inspeção e Fiscalização da produção de e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes e biofertilizantes destinados a agricultura; legislação e fiscalização. Brasília, 1982.88 p.

CATHCART, J. B. The phosphate industry of the United States. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATE, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.19-42.

COELHO, S. F.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do Solo**. Campinas: Instituto Campineiro Agrícola, 1972. 384 p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

DYNIA, J. F.; BARBOSA FILHO, M. P. Alterações de pH, Eh e disponibilidade de micronutrientes para o arroz irrigado em um solo de várzea tratado com calcário e palha de arroz em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, n. 1, p. 67-74, jan./fev.1993.

FALCÃO, N. P. S.; SILVA, J. R. A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta Amazônia**, Manaus, v. 34, n. 3, p.337-342, jul./set. 2004.

FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, Amsterdam, v.72, n.1-2, p.37-51, July. 1996.

FOX, R. L.; KAMPRATH, E. J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soil. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 34, n. 2, p. 902 - 907, Nov./Dec. 1970.

GOMES, A. S. et al. Acúmulo de matéria seca e macronutrientes em três cultivares de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 2.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2006, Brasília. **Anais...** Brasília, 2006.

GONCALVES, G. K. et al. Solubilização dos fosfatos naturais Patos de Minas e Arad em dois solos alagados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p.2157 - 2164, set./out. 2008.

GONCALVES, G. K. **Formas e disponibilidade de fósforo em solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. 2007. 168 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GUPPY, C. N. et al. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 43, n. 2 p.189-202, Apr. 2005.

HERNÁNDEZ, J.; MEURER, E. J. Adsorção de fósforo e sua relação com formas de ferro em dez solos do Uruguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 223-230, abr./jun. 1998.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1 p. 41-47, jan./fev. 2003.

KAMINSK, J.; PERUZZO, G.; **Eficácia dos fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria Núcleo Regional Sul, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31p. (Boletim Técnico, n. 3).

LEHR, J. R. Phosphate raw materials and fertilizer, part I - a look ahead. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATE, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.81-120.

MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. A solução do solo. In: MEURER, E. J. 3. ed. **Fundamentos de química de solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p.91-114.

MORAES, J. F. V.; FREIRE, C. J. S. Variação de pH, da condutividade elétrica e da disponibilidade de nutrientes, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em quatro solos submetidos a inundação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Série Agronomia. Rio de Janeiro. v. 9, n. 9 p. 35-43, 1974.

MORAES, J. F. V.; Efeitos da inundação do solo. I. influência sobre o pH, o potencial de óxido redução e a disponibilidade de fósforo no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Série Agronomia, Rio de Janeiro, v. 8, n. 7, p.93-101, 1973.



MULLINS, G. L. et al. Plant availability of phosphorus in the water insoluble fraction of commercial triple superphosphate fertilizers. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 5 p.1469-1472, Sept./Oct. 1990.

MUNCH, J. C.; OTTOW, J.C.G. Preferential reduction of amorphous to crystalline iron oxides by bacterial activity. **Soil Science**, Baltimore, v. 129, n. 1, p. 15-21, Jan. 1980.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica. Chimica. Acta**, Amsterdam, v. 27, p.31-36, 1962.

NOVAIS, R. F. et al. Fósforo. In: \_\_\_\_\_. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

NHUNG, M. T. M., PONNAMPERUMA, F. N. Effects of calcium carbonate, manganese dioxide, ferric hydroxide, and prolong flooding on chemical and electrochemical changes and growth of rice in a flooded acid sulfat soil. **Soil Science**, Baltimore, v.102, n.1, p. 29-41, July. 1966.

OLIVIE-LAUQUET, G. et al. Release of trace elements in wetlands: role of seasonal variability. **Water Research**. London, v. 35, n. 4, p. 943-952, Mar. 2001.

PONNAMPERUMA, F. N. Dinamics aspects of flooded soils and nutrition of the rice plant. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, 1965, Los Banos. **Proceedings...** Baltimore: J. Hopkings, 1965. p. 295-328.

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 24, p.29-96, Aug.1972.

PINTO, L. F. S. et al. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES, A. da S., PAULETO, E. A. (Eds.) **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.11-33.

PROCHNOW, L. I. et al. Effectiveness of Phosphate Fertilizers of Different Water Solubilities in Relation to Soil Phosphorus Adsorption. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 333-340, jul./ago. 2006.

PROCHNOW, L. I. et al. Greenhouse Evaluation of Phosphorus Sources Produced from a Low-Reactive Brazilian Phosphate Rock. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, n. 3, p. 761-768, May/June 2004.

PROCHNOW, L. I. et al. Characterization and Agronomic Evaluation of Single Superphosphates Varying in Iron Phosphate Impurities. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, n. 2, p. 293-302, Mar./Apr. 2003.

PROCHNOW, L. I. et al. Synthesis, Characterization, and Agronomic Evaluation of Iron Phosphate Impurities in Superphosphates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p. 1551-1563, 2003b.

PROCHNOW, L. I. **Eficiência Agronômica de fosfatos acidulados contendo compostos fosfáticos de ferro para o arroz de sequeiro e arroz inundado**. 2001. 118 f. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba, 2001.

RANNO, S. K. **Estimativa da disponibilidade de fósforo para a cultura do arroz irrigado em solos do RS**. 2004. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal; de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

RANNO, S. K.; SILVA, L.S. da.; MALLMANN, F. K. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 21-28, jan./fev. 2007.

RHEINHEIMER, D. dos S ; ANGHINONI, I.; Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 151-160, jan. 2001.

SANYAL, S. K; DE DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. **Advanced. Soil Science**, New York, v.16, n. 5, p. 2-120,1991.

SATO, S.; COMERFORD, N. B. Influence of soil pH on inorganic phosphorus sorption and desorption in a humid brazilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 685-694, set./out. 2005.

SHAHANDEH, H., HOSSNER, L.R., TURNER, F.T., Phosphorus relationships to manganese and iron in rice soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 168, n. 7, p. 489-500, July. 2003.

SILVA, L. S. da.; CAMARGO, F. A. de. O.; CERETTA, C. A.; **Composição da Fase Orgânica do Solo**. In: MEURER, J. E. Fundamentos de Química do Solo. 3. ed. Porto Alegre, 2006.

SILVA, L. S.; RANNO, S. K. Calagem em solos de várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p.1054-1061, set./out. 2005.

SILVA, L. S.; SOUSA, R. O.; BOHNEN, H. Dinâmica de ferro e potássio na solução de solo alagado em diferentes profundidades, na presença e ausência de plantas de arroz. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2000, Pelotas. **Resumos...** Pelotas: NRS/SBCS, 2000. 1CDROM.

SIQUEIRA, J. O; ANDRADE, A. T; FANQUIN, V. O papel dos microrganismos na disponibilização e aquisição de fósforo pelas plantas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 117-149.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. de. O.; VAHL, L. C. Solos alagados reações redox In MEURER, J. E. **Fundamentos de Química do Solo**. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p.185 - 210.

SOUSA, R. O.; GOMES, A. da S. VAHL, L. C. Toxidez por ferro em arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M de. **Arroz Irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004. p. 305 337.

SOUSA, R. O.; BORTOLON, L. Crescimento radicular e da parte aérea do arroz (*Oryza sativa* L.) e absorção de nutrientes em solução nutritiva com diferentes concentrações de ácido acético. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 8, n. 3, p. 231-235, set./dez. 2002.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 277 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147 p. (Boletim Técnico, 5).

TISDALE, S.; HAVLIN, J.; WERNER, N.; **Fertility and fertilizers an introduction to nutrient management**. 7<sup>th</sup> ed. New Jersey: Prentice Hall, 2005.

VAHL, L. C.; SOUSA, R. O. de. Aspectos Físico Químicos de solos alagados. In: GOMES, A. S.; M JUNIOR, A. M. de. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004a. p. 97-117.

VAHL, L. C. O Fósforo na Cultura do Arroz Irrigado. In: YAMADA T.; ABDALLA, S. R. S (Eds.) **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 419-433.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 111-118, jan./abr. 2003.

WAID, P. A.; KAMALAN, N. V. Reductive of dissolution of crystalline and amorphous (Fe III) oxide by microorganisms in submerged soil. **Biology Fertility Soil**, Heidelberg, v.15, n. 2, p.144-148, Feb. 1992.

WOWK, G. I. T. H.; MELO, V. de F.; Avaliação do nível de chumbo, em solo de várzea, proveniente da reciclagem de baterias. **Revista Brasileira de Engenharia. Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 613-622, dez. 2005.

## APÊNDICES

### APÊNDICE 1 – Valores de pH no Planossolo de Santa Maria (SM I).

Solo/fonte de P	Valores de pH por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SM I sem P	5,31	5,93	6,10	6,40	6,58	6,57	6,64	6,36
SM I sem P	5,42	6,40	6,10	6,40	6,47	6,48	6,52	6,42
SM I sem P	5,46	6,35	6,27	6,41	6,50	6,47	6,72	6,55
SM I SFS	4,87	6,28	6,35	6,59	6,49	6,58	6,64	6,57
SM I SFS	4,72	6,01	6,26	5,90	6,51	6,50	6,55	6,57
SM I SFS	4,62	6,10	6,24	6,18	6,61	6,53	6,62	6,58
SM I SFS + P-Fe	4,73	6,12	6,21	6,41	6,48	6,66	6,52	6,38
SM I SFS + P-Fe	4,97	6,08	6,22	6,31	6,43	6,50	6,55	6,38
SM I SFS + P-Fe	4,62	6,11	6,23	6,35	6,56	6,65	6,63	6,52

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato Simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

### APÊNDICE 2 – Valores de pH no Planossolo de Pelotas (PEL).

Solo/fonte de P	Valores de pH por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
PEL sem P	5,65	6,08	6,10	6,20	6,15	6,23	6,30	6,25
PEL sem P	5,68	6,11	6,13	6,21	6,26	6,45	6,34	6,32
PEL sem P	5,62	6,01	6,15	6,23	6,21	6,17	6,22	6,22
PEL SFS	5,13	5,92	6,20	6,27	6,36	6,48	6,52	6,26
PEL SFS	5,23	5,87	6,00	6,11	6,15	6,15	6,21	6,23
PEL SFS	5,03	5,72	6,05	6,08	6,11	6,15	6,23	6,26
PEL SFS + P-Fe	5,14	5,79	5,98	6,10	6,19	6,25	6,22	6,30
PEL SFS + P-Fe	5,02	5,77	6,00	6,07	6,10	6,14	6,25	6,27
PEL SFS + P-Fe	5,21	5,99	6,06	6,13	6,08	6,12	6,23	6,14

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 3** – Valores de pH no Chernossolo de Uruguaiana (URUG).

Solo/fonte de P	Valores de pH por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
URUG sem P	5,83	6,08	6,23	6,56	6,60	6,69	6,82	6,74
URUG sem P	5,78	6,05	6,28	6,57	6,67	6,70	6,82	6,81
URUG sem P	5,90	6,07	6,29	6,51	6,74	6,75	6,86	6,82
URUG SFS	5,63	6,01	6,30	6,64	6,65	6,78	6,77	6,81
URUG SFS	5,57	5,92	6,18	6,70	6,64	6,68	6,80	6,75
URUG SFS	5,57	5,91	6,29	6,42	6,62	6,73	6,83	6,81
URUG SFS + P-Fe	5,65	5,95	6,21	6,46	6,58	6,70	6,76	6,75
URUG SFS + P-Fe	5,67	5,98	6,27	6,53	6,64	6,79	6,91	6,80
URUG SFS + P-Fe	5,72	6,03	6,43	6,67	6,77	6,83	7,06	7,31

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 4** – Valores de pH no Chernossolo de Santa Vitória Palmar (SVP).

Solo/fonte de P	Valores de pH por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SVP sem P	5,72	5,64	5,71	5,74	6,00	6,12	6,13	6,19
SVP sem P	5,98	5,83	5,89	5,88	6,04	6,21	6,22	6,30
SVP sem P	5,86	6,01	6,14	6,20	6,29	6,48	6,77	6,61
SVP SFS	5,50	5,64	5,78	5,86	6,10	6,15	6,10	6,13
SVP SFS	5,49	5,52	5,79	5,72	5,90	6,00	6,08	6,15
SVP SFS	5,59	5,69	5,93	5,95	6,02	6,04	6,12	6,20
SVP SFS + P-Fe	5,76	5,79	5,95	5,97	6,00	6,08	6,21	6,31
SVP SFS + P-Fe	5,51	5,61	5,81	5,90	6,05	6,01	6,10	6,26
SVP SFS + P-Fe	5,77	5,85	6,02	6,34	6,58	6,38	6,42	6,35

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 5** – Valores de pH no Gleissolo de Santa Maria (SM II).

Solo/fonte de P	Valores de pH por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SM II sem P	5,72	5,64	5,71	5,74	6,00	6,12	6,13	6,19
SM II sem P	5,98	5,83	5,89	5,88	6,04	6,21	6,22	6,30
SM II sem P	5,86	6,01	6,14	6,20	6,29	6,48	6,77	6,61
SM II SFS	5,50	5,64	5,78	5,86	6,10	6,15	6,10	6,13
SM II SFS	5,49	5,52	5,79	5,72	5,90	6,00	6,08	6,15
SM II SFS	5,59	5,69	5,93	5,95	6,02	6,04	6,12	6,20
SM II SFS + P-Fe	5,76	5,79	5,95	5,97	6,00	6,08	6,21	6,31
SM II SFS + P-Fe	5,51	5,61	5,81	5,90	6,05	6,01	6,10	6,26
SM II SFS + P-Fe	5,77	5,85	6,02	6,34	6,58	6,38	6,42	6,35

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 6** – Valores de pH no Gleissolo de Cachoeirinha (CACHO).

Solo/fonte de P	Valores de pH por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
CACHO sem P	5,77	6,40	6,56	6,67	6,58	6,54	6,69	6,72
CACHO sem P	5,81	6,50	6,58	6,08	6,53	6,58	6,71	6,70
CACHO sem P	5,84	6,40	6,64	6,62	6,55	6,68	6,76	6,72
CACHO SFS	5,46	6,30	6,49	6,55	6,53	6,52	6,61	6,69
CACHO SFS	5,39	6,40	6,46	6,58	6,54	6,60	6,67	6,71
CACHO SFS	5,52	6,40	6,63	6,58	6,60	6,67	6,69	6,79
CACHO SFS + P-Fe	5,45	6,40	6,53	6,59	6,62	6,59	6,69	6,72
CACHO SFS + P-Fe	5,47	6,40	6,58	6,65	6,57	6,63	6,78	6,77
CACHO SFS + P-Fe	5,44	6,40	6,46	6,58	6,61	6,54	6,74	6,75

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 7** – Valores de Eh no Planossolo de Santa Maria (SM I).

Solo/fonte P	Valores de Eh (mv) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SM I sem P	430,9	156,0	158,5	101,1	111,2	124,5	169,6	160,0
SM I sem P	400,7	156,0	158,5	101,1	84,4	119,9	149,8	149,1
SM I sem P	391,5	162,5	154,8	138,8	113,9	165,6	146,8	152,1
SM I SFS	416,7	183,4	191,5	206,4	162,2	199,0	147,2	137,7
SM I SFS	440,1	187,8	196,7	-	114,8	140,9	145,3	134,1
SM I SFS	440,6	187,8	153,9	115,9	90,8	124,5	136,2	132,1
SFS + P-Fe	425,2	178,1	163,8	135,2	117,1	135,5	146,7	190,0
SFS + P-Fe	417,3	212,5	169,9	159,2	122,8	147,0	145,9	184,0
SFS + P-Fe	424,0	176,9	169,8	141,8	93,4	101,1	106,9	161,2

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 8** – Valores de Eh no Planossolo de Pelotas (PEL).

Solo/fonte de P	Valores de Eh (mv) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
PEL sem P	362,4	173,2	191,4	183,8	175,40	196,30	160,8	175,8
PEL sem P	345,9	203,7	194,3	199,3	202,5	-	168,1	184,0
PEL sem P	372,7	243,9	198,1	184,1	180,1	-	194,2	189,8
PEL SFS	390,9	192,6	-	205,3	189,7	197,5	186,7	179,6
PEL SFS	367,0	180,0	195,6	160,6	167,6	194,0	184,1	177,4
PEL SFS	354,3	231,8	197,1	172,1	161,1	189,1	183,8	179,1
PEL SFS + P-Fe	338,8	184,8	197,0	173,2	189,1	194,8	193,3	189,5
PEL SFS + P-Fe	353,3	177,9	187,5	172,1	169,6	191,1	189,8	187,3
PEL SFS + P-Fe	344,0	166,2	184,4	161,3	170,7	198,8	177,5	181,1

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.



**APÊNDICE 9** – Valores de Eh no Chernossolo de Uruguaiana (URUG).

Solo/fonte de P	Valores de Eh (mv) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
URUG sem P	288,0	232,2	183,9	148,8	119,3	131,3	132,8	135,5
URUG sem P	299,4	212,4	181,4	118,6	86,9	102,9	128,2	130,1
URUG sem P	304,1	216,3	186,6	134,4	79,3	110,0	117,2	123,7
URUG SFS	334,3	222,5	187,4	109,3	95,3	103,8	119,0	120,7
URUG SFS	348,6	222,1	195,0	124,4	97,3	103,1	107,4	115,4
URUG SFS	350,2	222,9	185,3	117,8	91,3	99,2	103,1	105,4
URUG SFS + P-Fe	352,2	229,2	197,0	124,5	93,3	110,2	106,1	123,4
URUG SFS + P-Fe	355,6	219,8	183,7	115,1	97,6	100,1	94,0	120,3
URUG SFS + P-Fe	351,7	222,5	183,4	145,9	111,3	132,0	87,8	88,9

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 10** – Valores de Eh no Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (SVP).

Solo/fonte de P	Valores de Eh (mv) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SVP sem P	337,8	221,3	208,3	208,2	203,5	205,7	193,2	177,6
SVP sem P	316,6	254,9	207,5	208,0	203,5	191,0	187,9	179,1
SVP sem P	320,1	244,6	208,6	201,9	203,5	186,0	176,4	168,1
SVP SFS	361,9	206,8	154,1	166,1	167,8	188,3	196,0	194,0
SVP SFS	346,0	180,0	147,7	171,2	166,1	187,6	189,3	194,9
SVP SFS	330,0	195,9	140,0	151,1	135,6	178,0	184,0	189,2
SVP SFS + P-Fe	338,4	232,9	179,1	179,3	176,1	185,0	200,6	197,8
SVP SFS + P-Fe	353,0	222,8	162,0	145,1	142,8	168,2	191,6	179,6
SVP SFS + P-Fe	336,6	231,4	167,7	145,1	139,9	152,1	176,9	181,6

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro

**APÊNDICE 11** – Valores de Eh no Gleissolo de Santa Maria (SM II).

Solo/fonte de P	Valores de Eh (mv) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SM II sem P	344,6	181,0	159,7	115,0	94,7	158,1	190,5	190,1
SM II sem P	316,5	176,4	165,2	145,5	151,7	159,8	189,8	254,5
SM II sem P	317,9	171,9	150,2	120,0	114,3	132,7	166,1	172,1
SM II SFS	323,3	198,7	152,7	110,4	120,7	156,7	200,0	151,1
SM II SFS	337,3	182,6	171,3	164,8	153,8	161,8	194,9	156,6
SM II SFS	348,6	196,3	165,4	116,3	109,3	138,8	170,5	148,7
SM II SFS + P-Fe	339,9	208,2	164,4	109,4	106,1	138,5	153,3	129,4
SM II SFS + P-Fe	347,0	204,0	189,5	110,1	104,3	137,6	139,6	116,7
SM II SFS + P-Fe	348,0	178,7	177,0	104,2	107,9	135,5	136,4	124,4

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 12** – Valores de Eh no Gleissolo de Cachoeirinha (CACH).

Solo/fonte de P	Valores de Eh (mv) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
CACHO sem P	276,1	154,6	129,6	99,1	128,1	152,0	136,0	115,3
CACHO sem P	290,4	134,1	120,1	88,6	119,1	142,6	131,1	116,8
CACHO sem P	308,0	151,1	131,1	108,5	102,2	129,8	126,1	117,1
CACHO SFS	321,5	147,3	145,4	124,2	123,1	161,6	162,1	122,1
CACHO SFS	299,9	158,8	115,4	88,1	100,1	126,7	134,1	124,3
CACHO SFS	318,8	185,6	145,1	126,9	119,6	136,7	130,9	115,7
SFS + P-Fe	284,4	139,3	129,4	106,6	103,4	142,8	137,3	169,9
SFS + P-Fe	323,4	168,4	136,7	132,5	114,1	136,9	129,1	167,1
SFS + P-Fe	296,3	128,2	130,1	105,4	107,6	160,3	126,2	158,1

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato Simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 13** – Valores de Mn no Planossolo de Santa Maria (SM I).

Solo/fonte P	Valores de Mn (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SM I sem P	0,96	0,06	7,44	0,22	3,52	4,98	0,11	4,02
SM I sem P	1,14	6,24	7,80	5,61	4,84	6,42	6,18	4,98
SM I sem P	1,08	6,30	4,68	5,72	4,62	4,92	5,22	4,08
SM I SFS	3,42	2,10	0,78	0,88	3,85	0,48	2,22	3,36
SM I SFS	2,64	1,50	6,30	0,66	2,75	5,16	5,04	4,20
SM I SFS	6,42	6,90	6,06	4,18	4,51	5,16	5,04	3,96
SFS + P-Fe	6,00	6,84	7,44	4,40	3,41	4,02	5,10	4,02
SFS + P-Fe	6,48	8,10	3,60	3,74	3,30	4,20	4,32	4,08
SFS + P-Fe	6,36	7,92	7,92	6,05	4,62	6,36	5,88	5,40

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 14** – Valores de Mn no Planossolo de Pelotas (PEL).

Solo/fonte de P	Valores de Mn (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
PEL sem P	1,14	4,92	4,80	3,96	1,65	2,88	2,94	2,34
PEL sem P	0,84	1,98	2,52	1,87	1,54	0,84	0,66	2,40
PEL sem P	0,18	1,62	2,76	2,97	2,20	2,70	2,34	1,20
PEL SFS	3,96	4,14	1,02	1,76	1,65	3,54	0,84	0,90
PEL SFS	3,96	5,52	5,70	3,52	2,42	3,00	3,18	2,94
PEL SFS	3,96	5,64	6,30	4,40	3,30	3,72	3,60	2,82
PEL SFS + P-Fe	3,90	4,80	4,98	3,08	1,76	1,38	1,62	1,44
PEL SFS + P-Fe	5,10	6,96	4,98	2,97	1,65	2,64	2,88	2,64
PEL SFS + P-Fe	5,34	6,54	4,20	3,08	1,98	2,64	2,82	2,82

Sem P = Sem Fósforo; SFS = Super Fosfato Simples; SFS + P-Fe = Superfosfato Simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 15** – Valores de Mn no Chernossolo de Uruguaiana (URUG).

Solo/fonte de P	Valores de Mn (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
URUG sem P	1,08	7,32	10,08	11,77	36,52	30,36	36,96	21,54
URUG sem P	1,68	16,74	31,68	36,52	26,29	49,62	54,48	39,24
URUG sem P	1,92	13,74	22,08	38,06	34,87	52,14	53,64	40,50
URUG SFS	6,30	21,84	26,76	41,69	34,43	49,56	42,78	57,30
URUG SFS	6,96	25,02	25,02	53,35	37,29	55,20	42,78	60,42
URUG SFS	6,54	21,18	24,60	45,10	44,55	65,04	-	44,82
URUG SFS + P-Fe	6,60	19,98	28,38	44,00	43,12	57,30	57,18	28,20
URUG SFS + P-Fe	4,08	18,96	30,66	42,35	43,78	60,60	59,04	50,10
URUG SFS + P-Fe	3,66	10,44	10,80	15,62	21,23	20,88	59,46	49,56

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 16** – Valores de Mn no Chernossolo de Santa Vitória Palmar (SVP).

Solo/fonte de P	Valores de Mn (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SVP sem P	0,84	4,08	2,58	7,26	8,69	4,56	5,10	3,78
SVP sem P	0,24	1,74	3,12	4,62	7,48	3,96	3,72	3,60
SVP sem P	-	1,26	0,84	7,48	0,44	1,38	5,16	1,56
SVP SFS	1,80	5,88	8,58	6,49	1,87	3,84	4,80	4,14
SVP SFS	2,94	8,10	8,04	7,37	4,29	4,32	4,44	4,20
SVP SFS	2,22	5,70	5,04	4,84	3,96	3,66	3,90	3,54
SVP SFS + P-Fe	0,54	2,10	1,92	2,64	3,08	2,10	2,52	1,74
SVP SFS + P-Fe	1,56	6,96	7,80	5,72	2,53	4,74	4,74	4,20
SVP SFS + P-Fe	1,32	2,64	1,62	2,31	2,31	1,68	4,98	4,02

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 17** – Valores de Mn no Gleissolo de Santa Maria (SM II).

Solo/fonte de P	Valores de Mn (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SM II sem P	1,44	4,98	6,96	2,53	1,98	2,22	2,16	1,38
SM II sem P	1,50	6,96	6,78	4,07	2,09	1,20	0,90	2,46
SM II sem P	1,62	6,78	0,84	5,28	2,86	1,50	2,10	2,16
SM II SFS	5,10	7,26	5,16	4,73	1,76	3,06	3,06	3,42
SM II SFS	4,92	4,14	6,78	1,65	2,09	3,12	5,10	3,30
SM II SFS	4,62	7,02	6,60	5,17	2,64	5,52	5,04	4,56
SM II SFS + P-Fe	6,54	8,64	8,58	6,38	3,41	2,04	3,30	4,08
SM II SFS + P-Fe	4,74	7,02	7,08	3,85	3,85	5,46	5,34	4,74
SM II SFS + P-Fe	6,00	8,40	8,22	6,16	4,18	5,16	5,64	5,16

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 18** – Valores de Mn no Gleissolo de Cachoeirinha (CACH).

Solo/fonte de P	Valores de Mn (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
CACHO sem P	0,36	1,62	1,98	2,64	2,53	1,14	1,44	1,62
CACHO sem P	0,54	1,74	2,58	2,31	1,43	1,38	1,56	1,62
CACHO sem P	0,12	1,14	1,26	1,43	1,43	1,26	1,50	1,50
CACHO SFS	1,98	1,74	1,86	1,10	1,32	1,44	1,26	1,56
CACHO SFS	2,28	3,66	2,52	2,42	0,99	1,80	1,98	2,22
CACHO SFS	0,24	0,78	2,10	1,87	1,65	1,02	1,14	1,08
SFS + P-Fe	1,92	2,88	2,40	1,98	1,32	1,56	1,44	1,38
SFS + P-Fe	0,30	0,90	1,08	0,99	1,43	1,20	1,74	1,62
SFS + P-Fe	1,86	3,18	3,12	1,76	1,54	1,86	1,80	1,92

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 19** – Valores de Fe no Planossolo de Santa Maria (SM I).

Solo/fonte P	Valores de Fe (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SM I sem P	9,87	19,20	95,70	102,96	127,38	172,26	177,66	154,77
SM I sem P	8,61	114,12	99,00	120,78	132,00	148,50	208,74	175,77
SM I sem P	9,10	34,92	87,78	99,66	143,88	172,70	196,35	167,37
SM I SFS	22,37	132,22	60,84	83,52	73,26	217,80	207,90	165,27
SM I SFS	15,61	113,30	48,24	102,24	81,18	231,66	204,12	152,04
SM I SFS	22,33	137,88	61,56	84,24	92,40	231,66	215,88	154,56
SFS + P-Fe	38,68	142,20	111,54	111,54	115,50	218,68	221,13	116,34
SFS + P-Fe	35,77	164,64	99,00	137,83	132,11	186,78	194,25	166,74
SFS + P-Fe	41,13	161,64	132,00	99,00	110,00	211,64	220,50	114,87

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 20** – Valores de Fe no Planossolo de Pelotas (PEL).

Solo/fonte de P	Valores de Fe (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
PEL sem P	9,28	39,96	42,42	65,89	42,46	61,32	64,26	10,29
PEL sem P	8,40	39,17	44,42	55,22	42,13	51,24	59,43	9,45
PEL sem P	7,81	26,57	42,88	56,54	46,09	50,40	61,32	14,07
PEL SFS	23,07	70,98	98,01	73,92	49,72	42,00	42,00	43,68
PEL SFS	29,82	78,48	97,90	60,17	52,03	55,02	55,02	43,89
PEL SFS	23,38	62,64	100,10	87,78	54,67	59,43	58,38	46,62
PEL SFS + P-Fe	22,89	91,08	87,67	48,73	42,13	51,24	48,72	45,78
PEL SFS + P-Fe	31,50	80,28	87,67	54,23	33,00	52,29	53,76	41,79
PEL SFS + P-Fe	32,41	78,48	73,26	55,11	37,18	45,57	52,50	43,26

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 21** – Valores de Fe no Chernossolo de Uruguaiana (URUG).

Solo/fonte de P	Valores de Fe (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
URUG sem P	1,02	5,46	15,05	62,04	62,04	99,33	118,44	94,92
URUG sem P	0,63	4,97	37,73	73,48	86,35	94,71	114,03	84,00
URUG sem P	1,12	5,60	27,62	59,29	87,67	93,24	109,41	88,83
URUG SFS	1,47	8,12	34,72	64,68	68,86	109,83	84,21	131,88
URUG SFS	1,58	8,54	42,60	74,25	63,58	117,39	94,92	135,24
URUG SFS	0,28	7,81	34,72	69,08	61,60	101,43	89,88	100,80
URUG SFS + P-Fe	0,35	5,46	31,19	70,29	80,96	96,18	114,87	93,03
URUG SFS + P-Fe	0,46	5,67	33,92	64,68	71,39	106,26	114,03	103,11
URUG SFS + P-Fe	0,46	4,38	27,55	62,04	73,70	117,60	118,44	90,30

Sem P = Sem Fósforo; SFS = supersosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 22** – Valores de Fe no Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (SVP).

Solo/fonte de P	Valores de Fe (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SVP sem P	0,60	4,90	11,38	11,55	10,01	10,50	10,71	8,61
SVP sem P	0,63	2,07	10,68	8,69	7,37	10,08	9,03	7,98
SVP sem P	0,56	2,21	10,19	6,93	8,03	12,39	2,94	5,46
SVP SFS	0,81	8,12	15,96	13,75	10,34	9,45	9,24	7,98
SVP SFS	0,91	9,94	15,82	13,86	10,78	8,19	9,45	7,98
SVP SFS	0,56	8,19	10,75	9,90	8,69	9,24	9,24	8,61
SVP SFS + P-Fe	0,35	2,56	3,29	6,38	3,96	6,72	6,51	3,15
SVP SFS + P-Fe	0,63	2,00	3,99	12,43	9,79	11,34	10,29	3,57
SVP SFS + P-Fe	0,49	3,15	3,05	6,49	9,90	6,30	4,62	3,78

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 23** – Valores de Fe no Gleissolo de Santa Maria (SM II).

Solo/fonte de P	Valores de Fe (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SM II sem P	13,41	89,28	102,96	86,90	83,71	65,73	72,45	42,00
SM II sem P	13,86	83,52	73,26	87,67	73,70	64,47	68,25	55,02
SM II sem P	15,61	101,16	91,08	84,26	77,00	68,25	64,47	58,38
SM II SFS	36,05	104,76	85,14	49,50	105,05	103,74	105,00	73,92
SM II SFS	31,08	80,28	104,94	52,80	114,07	95,76	103,53	60,17
SM II SFS	30,35	85,32	91,74	61,60	109,34	100,80	113,19	87,78
SFS + P-Fe	41,58	101,16	91,08	111,54	133,65	169,47	187,11	140,28
SFS + P-Fe	32,87	76,20	104,28	88,44	137,83	158,55	206,43	141,12
SFS + P-Fe	33,60	75,24	106,26	112,86	112,86	161,91	207,06	174,93

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 24** – Valores de Fe no Gleissolo de Cachoeirinha (CACH).

Solo/fonte de P	Valores de Fe (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
CACHO sem P	4,97	114,84	86,57	101,20	58,63	55,86	76,44	61,11
CACHO sem P	6,44	139,15	87,67	114,07	54,23	51,24	83,58	64,05
CACHO sem P	4,90	138,05	73,26	98,01	59,07	60,06	73,29	63,63
CACHO SFS	13,06	87,01	15,82	53,13	55,66	52,08	44,94	25,20
CACHO SFS	29,40	69,30	18,31	55,22	69,52	57,96	42,00	27,09
CACHO SFS	31,08	27,27	16,38	62,04	56,54	28,56	42,63	20,16
SFS + P-Fe	31,08	132,88	114,29	88,77	57,09	66,78	93,03	59,64
SFS + P-Fe	34,72	-	108,90	108,90	50,38	64,68	84,21	49,77
SFS + P-Fe	31,64	140,58	141,02	109,34	50,71	69,72	78,33	58,59

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.



**APÊNDICE 25** – Valores de P no Planossolo de Santa Maria (SM I).

Solo/fonte P	Valores de P (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SM I sem P	0,05	0,12	0,14	0,25	0,26	0,24	0,29	0,25
SM I sem P	0,06	0,12	0,17	0,30	0,25	0,25	0,30	0,18
SM I sem P	0,07	0,10	0,18	0,26	0,29	0,50	0,56	0,26
SM I SFS	0,06	0,20	0,25	0,26	0,24	0,26	0,25	0,21
SM I SFS	0,08	0,23	0,24	0,25	0,25	0,35	0,25	0,26
SM I SFS	0,10	0,34	0,26	0,31	0,25	0,22	0,31	0,24
SFS + P-Fe	0,05	0,27	0,45	0,37	0,38	0,46	0,67	0,67
SFS + P-Fe	0,04	0,26	0,31	0,31	0,28	0,33	0,52	0,52
SFS + P-Fe	0,15	0,35	0,30	0,36	0,27	0,30	0,79	0,79

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 26** – Valores de P Planossolo de Pelotas (PEL).

Solo/fonte de P	Valores de P(mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
PEL sem P	0,08	0,67	0,38	0,53	3,68	0,87	1,68	2,32
PEL sem P	0,09	0,39	0,35	0,49	3,45	0,95	1,47	1,54
PEL sem P	0,17	0,38	0,36	0,49	3,42	1,23	1,48	1,62
PEL SFS	1,26	1,55	1,92	2,26	15,80	1,57	2,47	1,79
PEL SFS	1,36	1,20	1,80	2,28	15,95	2,42	3,32	1,61
PEL SFS	1,29	2,15	2,52	2,21	15,48	3,56	4,36	3,30
PEL SFS + P-Fe	2,92	2,55	2,77	2,12	14,83	2,78	5,69	2,95
PEL SFS + P-Fe	3,02	2,48	2,74	3,83	26,81	4,51	3,84	3,55
PEL SFS + P-Fe	3,61	1,40	2,50	2,75	19,22	3,31	4,29	3,41

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 27** – Valores de P no Chernossolo de Uruguaiana (URUG).

Solo/fonte de P	Valores de P (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
URUG sem P	0,01	0,03	0,02	0,06	0,07	0,08	0,14	0,17
URUG sem P	0,01	0,06	0,04	0,08	0,06	0,08	0,12	0,18
URUG sem P	0,02	0,06	0,06	0,09	0,07	0,09	0,13	0,20
URUG SFS	0,46	0,30	0,30	0,37	0,11	0,15	0,16	0,30
URUG SFS	0,43	0,34	0,31	0,20	0,09	0,15	0,18	0,28
URUG SFS	0,34	0,26	0,22	0,35	0,10	0,17	0,15	0,27
URUG SFS + P-Fe	0,45	0,34	0,33	0,38	0,18	0,17	0,33	0,34
URUG SFS + P-Fe	0,44	0,39	0,38	0,40	0,16	0,20	0,36	0,36
URUG SFS + P-Fe	0,43	0,36	0,39	0,43	0,13	0,20	0,34	0,38

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 28** – Valores de P no Chernossolo de Santa Vitória do Palmar (SVP).

Solo/fonte de P	Valores de P (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SVP sem P	0,29	0,63	0,88	0,79	1,88	1,81	1,83	2,16
SVP sem P	0,36	0,98	0,59	2,38	1,57	2,20	3,28	1,28
SVP sem P	0,25	1,55	0,82	0,92	0,50	0,56	1,51	0,70
SVP SFS	1,58	4,46	9,88	9,69	17,30	10,00	12,53	11,30
SVP SFS	2,00	9,87	13,09	11,71	12,42	13,04	18,29	10,72
SVP SFS	1,40	14,08	15,28	16,60	14,35	15,38	15,50	10,85
SVP SFS + P-Fe	3,86	6,45	5,75	15,29	5,18	6,66	9,91	15,01
SVP SFS + P-Fe	7,93	22,09	24,32	14,63	22,35	21,46	28,78	11,30
SVP SFS + P-Fe	6,99	10,65	11,04	17,06	7,59	11,44	20,17	22,06

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 29** – Valores de P no Gleissolo de Santa Maria (SM II).

Solo/fonte de P	Valores de P (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
SM II sem P	0,33	0,05	0,14	0,37	0,14	0,12	0,20	0,45
SM II sem P	0,27	0,17	0,14	0,20	0,15	0,13	0,20	0,41
SM II sem P	0,27	0,17	0,18	0,19	0,06	0,11	0,27	0,33
SM II SFS	0,26	0,20	0,24	0,26	0,10	0,21	0,47	0,45
SM II SFS	0,28	0,27	0,28	0,17	0,05	0,21	0,45	0,35
SM II SFS	0,37	0,31	0,24	0,15	0,07	0,23	0,62	0,51
SFS + P-Fe	0,31	0,56	0,41	0,38	0,25	0,26	0,68	0,49
SFS + P-Fe	0,37	0,40	0,24	0,21	0,12	0,31	0,66	0,41
SFS + P-Fe	0,41	0,43	0,22	0,35	0,28	0,28	0,90	0,70

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 30** – Valores de P no Gleissolo de Cachoeirinha (CACH).

Solo/fonte de P	Valores de P (mg L <sup>-1</sup> ) por coleta							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
CACHO sem P	0,04	0,04	0,08	0,07	0,12	0,07	0,07	0,07
CACHO sem P	0,04	0,06	0,04	0,07	0,11	0,09	0,10	0,16
CACHO sem P	0,03	0,04	0,06	0,09	0,07	0,10	0,09	0,12
CACHO SFS	0,65	0,51	0,39	0,36	0,28	0,45	0,55	0,28
CACHO SFS	0,80	1,03	0,37	0,48	0,21	0,32	1,08	0,55
CACHO SFS	0,75	0,25	0,27	0,51	0,30	0,41	0,83	0,25
SFS + P-Fe	1,09	0,87	0,80	1,08	0,66	0,41	0,98	0,80
SFS + P-Fe	0,95	1,03	0,57	1,37	0,87	0,44	0,98	1,07
SFS + P-Fe	1,24	1,17	0,43	0,87	0,77	0,55	0,98	0,79

Sem P = Sem Fósforo; SFS = superfosfato simples; SFS + P-Fe = superfosfato simples contendo resíduos de fosfato de ferro.

**APÊNDICE 31** - Ilustração mostrando o alagamento do solo (a), a coleta da solução, estrutura para medir o pH e o Eh (b), filtragem da solução (c) estrutura para acomodar as sementes até a germinação (d), vaso com plantas de arroz (e), desenvolvimento das plantas em todos os tratamentos (f).



### APÊNDICE 32 - RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA.

Resumo da análise de Variância e do teste de médias para fósforo na solução.

SOLO	F <sub>1</sub> (fontes)	F <sub>2</sub> (coletas)	F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>	C.V %	DMS F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub> coluna	Tukey
SM I	**	**	**	25	0,1418	P<0,05
PEL	**	**	**	38	2,6538	P<0,05
URUG	**	**	**	13	0,0606	P<0,05
SVP	**	**	n.s	51	-	P<0,05
SM II	**	**	**	24	0,1442	P<0,05
CACHO	**	**	**	29	0,2750	P<0,05

\*\* significativo ao nível de 1%; \* significativo ao nível de 5 %; n.s não significativo; F1 Fator ; F2 coletas ; C.V coeficiente de Variação; DMS Diferença Média Significativa.

SOLO	F <sub>1</sub> (fontes)	F <sub>2</sub> (coletas)	F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>	C.V %	DMS F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub> coluna	Tukey
SM I	**	**	**	13	32,0157	P<0,05
PEL	**	**	**	11	11,2641	P<0,05
URUG	n.s	**	**	11	13,8758	P<0,05
SVP	**	**	**	26	3,7907	P<0,05
SM II	**	**	**	10	19,0195	P<0,05
CACHO	**	**	**	15	19,4425	P<0,05

Resumo da análise de Variância e do teste de médias para ferro na solução.

\*\* significativo ao nível de 1%; \* significativo ao nível de 5 %; n.s não significativo; F1 Fator ; F2 coletas ; C.V coeficiente de Variação; DMS Diferença Média Significativa.

Resumo da análise de Variância e do teste de médias para manganês na solução.

SOLO	F <sub>1</sub> (fontes)	F <sub>2</sub> (coletas)	F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>	C.V %	DMS F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub> coluna	Tukey
SM I	**	n.s	n.s	42	-	P<0,05
PEL	**	**	n.s	36	-	P<0,05
URUG	**	**	n.s	29	-	P<0,05
SVP	**	**	n.s	45	-	P<0,05
SM II	**	**	n.s	28	-	P<0,05
CACHO	n.s	*	n.s	39	-	P<0,05

\*\* significativo ao nível de 1%; \* significativo ao nível de 5 %; n.s não significativo; F1 Fator ; F2 coletas ; C.V coeficiente de Variação; DMS Diferença Média Significativa.

Resumo da análise de Variância e do teste de médias para pH na solução.

SOLO	F <sub>1</sub> (fontes)	F <sub>2</sub> (coletas)	F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>	C.V %	DMS F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub> coluna	Tukey
SM I	*	**	**	1,88	0,2322	P<0,05
PEL	**	**	**	1,52	0,1824	P<0,05
URUG	n.s	**	n.s	1,44	-	P<0,05
SVP	**	**	*	2,85	0,3383	P<0,05
SM II	**	**	**	1,08	0,1322	P<0,05
CACHO	n.s	**	**	1,26	0,1607	P<0,05

\*\* significativo ao nível de 1%; \* significativo ao nível de 5 %; n.s não significativo; F1 Fator ; F2 coletas ; C.V coeficiente de Variação; DMS Diferença Média Significativa.

Resumo da análise de Variância e do teste de médias para Eh na solução.

SOLO	F <sub>1</sub> (fontes)	F <sub>2</sub> (coletas)	F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>	C.V %	DMS F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub> coluna	Tukey
SM I	*	**	n.s	11	-	P<0,05
PEL	n.s	**	n.s	6,5	-	P<0,05
URUG	n.s	**	**	6,4	20,39	P<0,05
SVP	**	**	**	5,6	22,61	P<0,05
SM II	**	**	**	9,3	32,41	P<0,05
CACHO	*	**	*	8,7	-	P<0,05

\*\* significativo ao nível de 1%; \* significativo ao nível de 5 %; n.s não significativo; F1 Fator ; F2 coletas ; C.V coeficiente de Variação; DMS Diferença Média Significativa.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.