

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

**FERTILIZANTES FOSFATADOS APLICADOS A  
LANÇO E EM LINHA NA CULTURA DA SOJA SOB  
SEMEADURA DIRETA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Fernando Dubou Hansel**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2013**

**FERTILIZANTES FOSFATADOS APLICADOS A LANÇO E  
EM LINHA NA CULTURA DA SOJA SOB  
SEMEADURA DIRETA**

**Fernando Dubou Hansel**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Uso, Manejo e Conservação do Solo e da Água, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo.**

**Orientador: Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2013**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Hansel, Fernando Dubou  
Fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e em linha  
na cultura da soja sob semeadura direta / Fernando Dubou  
Hansel.-2013.  
74 p.; 30cm

Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2013

1. Fertilizantes fosfatados 2. Modos de aplicação de  
fósforo 3. Glycine max. 4. Semeadura direta I. Amado,  
Telmo Jorge Carneiro II. Título.

---

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Fernando Dubou Hansel. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho é permitida, desde que citada a fonte – “O Autor”.

Endereço: Rua João da Fontoura e Souza, n. 100, Apto. 201, Bairro: Camobi, Santa Maria, RS, 97105-210

Fone (0xx) 55 9645-5962; End. Eletr.: fernandodhansel@hotmail.com

---

**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**

**FERTILIZANTES FOSFATADOS APLICADOS A LANÇO E EM LINHA  
NA CULTURA DA SOJA SOB SEMEADURA DIRETA**

elaborada por  
**Fernando Dubou Hansel**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Jackson Ernani Fiorin, Dr. (UNICRUZ)**

**Rafael Pivotto Bortolotto, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 11 de março de 2013.

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais Adilson José Hansel e Tânia Dubou Hansel pelo constante apoio e incentivo em todas as etapas de minha vida, sem o amor e dedicação de vocês eu jamais conseguiria estar aqui.

À minha esposa Dâmaris Sulzbach Santos Hansel pelo amor, companhia, carinho e paciência demonstrados durante todo o período, o qual me exigiu tamanha dedicação.

À minha mana Mariana Dubou Hansel por fazer parte da minha educação e por sempre se fazer presente nas diversas situações da vida, prestando apoio e companheirismo.

Aos meus avós Frederico e Elvira Dubou, Lino (*in memoriam*) e Iva Hansel, pelo apoio e carinho constante em todas as etapas na construção de minha vida.

À minha família, primos, tios, sogro e sogra e cunhada. A família é uma benção de Deus e vocês fazem parte deste grande presente que Ele me deu.

Muito obrigado a todos por contribuírem de alguma forma para a realização desta obra.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus pela inacabável fonte de energia, amor e fidelidade em minha vida.

Agradeço ao professor Telmo Jorge Carneiro Amado pela confiança e pelo incentivo prestado durante o mestrado, e de forma muito especial pela oportunidade concedida de sair para o exterior, me proporcionando este crescimento pessoal, profissional e cultural.

Um agradecimento de forma muito especial a meu amigo Brian Trindade, o qual não mediu esforços durante o período que estive fora do país, dando sequência às atividades experimentais, juntamente com outro amigo Thiago Segabinazi. É muito bom contar com verdadeiros amigos que buscam não apenas o crescimento pessoal, mas sim, o do coletivo. Muito obrigado a vocês dois pela amizade e companheirismo!

Ao grupo de pesquisa Projeto Aquarius e seus constituintes e ex-colaboradores, entre eles Ademir de Oliveira Ferreira, Jardes Bragagnolo, Vitor Girardello, Tiago Hörbe, Paulo Alba, Ramiro Samaniego, Diego Schossler, Fabiano Tabaldi, Junior Kunz, Silas Hesler, Leandro Nadai, Tiago Teixeira, Cassiano Batista, Cristiano Keller, Douglas Dalla Nora e demais. A união dentro de um grupo de pesquisa é a certeza do sucesso do mesmo e vocês fazem isso acontecer. Muito obrigado!

Muito obrigado ao professor Charles W. Rice da Kansas State University e sua equipe, Habib Diop, Priscilla Mfombep, Stuart Watts, Andrew McGowan, Miguel Arango, Leonardo Bastos e Terry Jo Litchfield, pela recepção, carinho e cuidado que tiveram conosco.

Aos funcionários da Fazenda Santa Rosa pelo apoio atribuído às operações realizadas durante o período experimental. Também ao Instituto Federal Farroupilha Câmpus São Vicente do Sul, por ceder equipamentos para a coleta de dados.

A todos meu muito obrigado!

*“...Devemos ser abertos a novas propostas/reinvindicações e ouvir as “heresias” científicas que desafiam as nossas mais profundas certezas. Porque se existe algo que é certo na história da ciência, é exatamente que nada é certo na ciência.”*

**Michael Shermer. 2005 Science Friction**

## RESUMO

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

### **EFICIÊNCIA DE FONTES FOSFATADAS APLICADAS A LANÇO E EM LINHA NA CULTURA DA SOJA MANEJADA SOB SEMEADURA DIRETA**

AUTOR: FERNANDO DUBOU HANSEL

ORIENTADOR: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 11 de março de 2013.

As fontes de fertilizantes fosfatados solúveis apresentam diferenças em sua composição química e estruturais advindas da crescente demanda de produção e consumo nas últimas décadas. O produto das reações entre o fertilizante e o solo resultantes da composição das fontes de fertilizantes fosfatados são diferentes, influenciados pelas características químicas e texturais do solo. Com a popularização do sistema de semeadura direta (SSD) e intensificação do manejo superficial, o modo de aplicação do fertilizante fosfatado também surge como fator a interferir a eficiência da fertilização. Neste trabalho, foi investigada a eficiência agrônômica de diferentes fontes fosfatadas quanto à solubilidade em água, na aplicação a lanço e em linha de semeadura sob SSD. O estudo foi realizado no Município de São Vicente do Sul, em um Argissolo Bruno-Acinzentado alítico úmbrico, sob semeadura direta na cultura da soja. Os tratamentos foram compostos por fontes fosfatadas solúveis, que apresentam diferentes coeficientes de solubilidade, enquadradas pelo teor de cálcio (Ca) presente na formulação e pela estrutura molecular das fontes, em níveis de solubilidade (fator A), submetidos a diferentes modos de aplicação (fator B). O fator A foi composto pelas fontes: 09-45-00 + (7,0 %  $S^0$  + 2,0 %  $SO_4$ ) e fosfato monoamônico (MAP) (alta solubilidade), 08-40-00 + (6,6 %  $S^0$  + 1,4 %  $SO_4$ ) + 3,4 % Ca e 07-37-06 + (5,2 %  $S^0$  + 1,2 %  $SO_4$ ) + 1,4 % Ca (média solubilidade), 0-20-20 + (4,6 %  $SO_4$ ) + 9,9 % Ca, 02-20-18 + (4,6 %  $SO_4$ ) + 9,9 % Ca (baixa solubilidade), sendo as doses ajustadas de maneira a ser mantida a mesma relação nutricional em 92 kg ha<sup>-1</sup> para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O. As diferentes formas de aplicação (fator B) foram em superfície (a lanço), e na linha de semeadura (no sulco), sendo este último de forma mecânica. As variáveis estudadas foram: a produção de matéria seca, teor foliar de nutrientes e a produtividade de grãos. Os resultados indicam interação significativa entre o fator A x B para a produtividade de grãos, matéria seca e teor foliar de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio, ao nível de 5 % de significância. As fontes fertilizantes consideradas de alta solubilidade apresentaram maior produtividade na média entre os níveis, sendo que no manejo a lanço houve a maior eficiência agrônômica.

**Palavras-chave:** Fertilizantes fosfatados. Modos de aplicação de fósforo. *Glycine max*.

Semeadura direta



## ABSTRACT

Master of Science Dissertation  
Graduate Program in Soil Science  
Federal University of Santa Maria

### **EFFICIENCY OF PHOSPHATE SOURCES APPLIED BY BROADCASTING AND BANDING IN SOYBEAN CROP MANAGED UNDER NO- TILL**

**AUTHOR: FERNANDO DUBOU HANSEL**

**ADVISER: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO**

Defense local and date: Santa Maria, March 11<sup>nd</sup>, 2013.

The sources of soluble phosphate fertilizers present differences in their chemical and structural composition coming from the increasing production and consumption demand in the last decades. The product of the reactions between fertilizer and soil, resulting from the composition of phosphate fertilizers, are different, influenced by soil's chemical and textural characteristics. With the popularization of the no-till system and intensification of the superficial management, the type of application of phosphate fertilizer also arises as a factor that can interfere in the efficiency of fertilization. In this study the agronomic efficiency of different phosphate sources was evaluated for solubility and application by broadcasting and banding with sowing under no-till. The study was done at the city of São Vicente do Sul, on a sandy loam soil, under no-till on a soybean crop. The treatments were composed by soluble fertilizer sources, with different solubility coefficient, classified by the calcium content in the formulation and by the molecular structure of the sources, in solubility levels (factor A), submitted to different types of application (factor B). Factor A was composed by the sources: 09-45-00 + (7,0 % S<sup>0</sup> + 2,0 % SO<sub>4</sub>) and monoammonium phosphate (MAP) (high solubility), 08-40-00 + (6,6 % S<sup>0</sup> + 1,4 % SO<sub>4</sub>) + 3,4 % Ca and 07-37-06 + (5,2 % S<sup>0</sup> + 1,2 % SO<sub>4</sub>) + 1,4 % Ca (medium solubility), 0-20-20 + (4,6 % SO<sub>4</sub>) + 9,9 % Ca, 02-20-18 + (4,6 % SO<sub>4</sub>) + 9,9 % Ca (low solubility), the doses being adjusted so as to be maintained the same nutritional relation of 92 kg ha<sup>-1</sup> for P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O. The different types of application (factor B) were on surface (broadcast), and in the seed row (banding), as the banding was done mechanically. The studied variables were: dry mass production, plant nutrition (foliar method) and grain productivity. The results indicate significant interaction between the factor A and B for grain productivity, dry mass, and absorption of nitrogen, potassium, calcium and magnesium, at the level of significance 5 %. The fertilizer sources that were considered to have high solubility presented higher productivity in average among the levels, as broadcast showed greater agronomic efficiency.

**Key-words:** Phosphorus fertilizers. Types of application. *Glycine max.* No-till system

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 3.1 – Adsorção específica (quimiossorção) do ânion fosfato na superfície de um óxido de ferro por um mecanismo de ligação bidentada. (A)  $\text{H}_2\text{PO}_4\text{-(H}_2\text{O)}_9$  reagente; (B)  $[\text{Fe}_2(\text{OH})_5(\text{OH}_2)_5(\text{H}_2\text{O})_6]^+$  reagente; (C)  $\text{Fe}_2(\text{OH})_4(\text{OH}_2)_4\text{HPO}_4(\text{H}_2\text{O})_6$  produto; (D)  $(\text{H}_2\text{O})_{10}$  produto. Vermelho, oxigênio; branco, hidrogênio; roxo, fósforo; laranja e ferro. (PAUL, 2007) .....20
- FIGURA 3.2 – Esquema demonstrativo do transporte de solutos por difusão decorrente da diferença de concentração entre pontos na solução do solo (COLLAGHAN, 2012).....22
- FIGURA 3.3 – Forma molecular do íon fosfato em equilíbrio químico sob diferentes condições de pH do solo (BARBER, 2002) .....31
- FIGURA 1 – Histograma pluviométrico para o ciclo da cultura e evapotranspiração total considerando-se a evapotranspiração de referência (Eto) da região e o Kc da cultura (Farias et al., 2001; Matzenauer et al., 2003). São Vicente do Sul, 2012.....37
- FIGURA 2 – Gradiente de solubilidade do fertilizante em função do conteúdo cálcico. Na medida em que aumenta os teores de Ca na formulação, a solubilidade é reduzida.....40
- FIGURA 3 – Esquema demonstrativo da regulagem da máquina .....41
- FIGURA 4 – Curva de resposta da produtividade da soja à doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  sob manejo de fertilização a lanço .....43
- FIGURA 5 – Produtividade de soja em função dos níveis de solubilidade. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).....49
- FIGURA 6 – Teores foliares de potássio na soja sob diferentes níveis de solubilidade e modos de aplicação, submetidos ao teste Tukey ( $p < 0,05$ ) ..... 52
- FIGURA 7 – Teores foliares de fósforo na soja sob diferentes níveis de solubilidade e modos de aplicação, submetidos ao teste Tukey ( $p < 0,05$ ) ..... 53

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 3.1 – Características químicas dos principais fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil .....	30
QUADRO 1 – Condição inicial da fertilidade do solo na profundidade de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.São Vicente do Sul, 2011 .....	38
QUADRO 2 – Descrição das fontes fosfatadas utilizadas, onde as diferentes doses nivelam a relação nutricional de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e K <sub>2</sub> O em 92 kg ha <sup>-1</sup> , e seus respectivos coeficientes de solubilidade (CS) .....	40
QUADRO 3 – Variabilidade e ajuste das doses de fertilizante (NPK) por linha de semeadura e tratamento fertilizante .....	42
QUADRO 4 – Interpretação dos teores de P no solo considerando-se diferentes amostragens, na profundidade de 0-0,10 e 0-0,20 m.....	44
QUADRO 5 – Análise de variância da massa de matéria seca (kg ha <sup>-1</sup> ), produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) e análise foliar dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (%m m <sup>-1</sup> ) em razão do modo de aplicação e níveis de solubilidade das fontes de fertilizantes fosfatados .....	45
QUADRO 6 – Produtividade da soja (kg ha <sup>-1</sup> ) e massa da matéria seca (kg ha <sup>-1</sup> ) em função da interação solubilidade de fontes fosfatadas fertilizantes x modo de aplicação .....	46
QUADRO 7 – Análise foliar dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (%m m <sup>-1</sup> ) em função da interação fontes fosfatadas fertilizantes x modo de aplicação .....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>CNA</b>	Citrato neutro de amônia
<b>DAP</b>	Fosfato diamônico
<b>KCl</b>	Cloreto de potássio
<b>MAP</b>	Fosfato monoamônico
<b>N</b>	Elemento químico nitrogênio
<b>P</b>	Elemento químico fósforo
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	Pentóxido de difósforo - Forma padrão do elemento fosfato utilizado em recomendações de fertilização.
<b>P-Al</b>	Esquema representativo das ligações entre os íons no solo
<b>P-Ca</b>	Fertilizantes que contém o íon Ca ligado ao H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
<b>P-Fe</b>	Esquema representativo das ligações entre os íons no solo
<b>Pi</b>	Fósforo na forma inorganica
<b>P-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Fertilizantes que contém o íon NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ligado ao H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
<b>Po</b>	Fósforo na forma organica
<b>S<sup>o</sup></b>	Enxofre elementar
<b>SO<sub>4</sub></b>	Sulfato
<b>SPC</b>	Sistema plantio convencional
<b>SSD</b>	Sistema de semeadura direta
<b>SSP</b>	Superfosfato simples
<b>TSP</b>	Superfosfato triplo

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A - Sintoma de insolubilidade do fertilizante superfosfatado formulado 00-20-20. Nas figuras A, B e C, fertilização a lanço após 140 mm de precipitação. Na figura D, resíduo fertilizante insolubilizado em estágio reprodutivo da soja. São Vicente do Sul, 2011/2012 .....	69
ANEXO B - Coeficientes de solubilidade dos principais fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil .....	70
ANEXO C – Normas da revista brasileira de ciência do solo .....	71

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS E HIPÓTESES .....</b>	<b>16</b>
2.1 Hipóteses .....	16
2.2 Objetivo geral .....	16
2.3 Objetivos específicos .....	16
<b>3 CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
3.1 Importância do fósforo às plantas .....	18
3.2 Formas no solo, transporte e absorção de fósforo pelas plantas .....	19
3.3 Sistema de semeadura direta e a distribuição do fósforo .....	23
3.3.1 Características do sistema .....	23
3.3.2 Modos de aplicação do fertilizante fosfatado .....	25
3.4 Fontes fertilizantes .....	27
3.4.1 Características gerais dos fertilizantes .....	27
3.4.2 Solubilidade em fertilizantes fosfatados solúveis .....	28
3.4.3 Influência da fonte fosfatada na absorção de P pelas plantas .....	31
<b>4 CAPÍTULO 2 – ARTIGO CIENTÍFICO.....</b>	<b>33</b>
<b>FERTILIZANTES FOSFATADOS SOLÚVEIS E MODO DE APLICAÇÃO NA</b>	
<b>CULTURA DA SOJA.....</b>	<b>33</b>
Resumo .....	33
Summary .....	34
Introdução .....	35
Materiais e métodos .....	37
Resultados e discussão .....	43
Conclusão.....	54
Literatura citada .....	54
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>68</b>

# 1 INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura brasileira vem apresentando na última década importantes avanços. O setor agrícola foi o maior responsável pelo crescimento da economia nos últimos anos, representando em 2011 mais de 22% do Produto Interno Bruto (PIB) do país (IPEA, 2012). No mesmo ano, as exportações do complexo soja cresceram 41% em relação ao valor registrado em 2010, quando as vendas alcançaram US\$ 17,1 bilhões, representando 45,4% do total acumulado nas vendas globais do setor (US\$ 24,14 bilhões) (BRASIL, 2012). Estes números fazem do Brasil hoje, o segundo maior produtor da oleaginosa no mundo, com estimativas para a safra 2012/2013 se tornar o maior produtor mundial (CONAB, 2013). O avanço tecnológico em diversas áreas do sistema produtivo está sendo importante para este resultado.

Devido às características dos solos brasileiros, verificou-se a grande resposta da fertilização fosfatada na produtividade de grãos, de maneira que sua utilização tornou-se essencial para as plantas responderem em altas produtividades. A soja absorve cerca de 8,4 kg de fósforo (P) para cada tonelada de grãos produzida, sendo a cultura mais exigente em relação às culturas de trigo e milho (MALAVOLTA, 1980). Conseqüentemente, nas últimas décadas, a crescente demanda por fertilizantes fosfatados, conciliada à grande expansão da agricultura mundial, resultou na diversificação das fontes fosfatadas produzidas. Os diferentes processos ácidos proporcionados na rocha fosfatada resultam em composições e concentrações variadas da fonte fertilizante, sendo consideradas após este tratamento, fontes de alta solubilidade.

De certa forma, todas as fontes fosfatadas solúveis são rapidamente solubilizadas no solo disponibilizando P para a absorção pelas plantas. No entanto, o P solúvel em água na forma de ortofosfato pode ser rapidamente convertido em formas não solúveis através de reações com minerais (RHEINHEIMER et al., 2003; BASTOS, 2006). Devido à variabilidade dos produtos das reações do P no solo (HEDLEY & MCLAUGHLIN, 2005), diferentes fontes fosfatadas solúveis poderiam apresentar diferentes eficiências sob condições adversas, também dependentes das características texturais e mineralógicas do solo (CHIEN et al., 2011).

O surgimento do sistema de semeadura direta (SSD) no início da década de 70 revolucionou o sistema produtivo. Atualmente estima-se que 70% das áreas cultivadas com

soja e milho no Brasil estejam sob este manejo conservacionista de solo (EMBRAPA, 2012). O SSD proporcionou grandes melhorias na qualidade física, química e biológica do solo auxiliando na redução de perdas de nutrientes e solo por erosão, acúmulo de matéria orgânica e na retenção e preservação da água no solo (CIOTTA et al., 2002; COSTA et al., 2003).

Porém, devido ao não revolvimento e dinâmica dos nutrientes no sistema verificou-se um aumento das concentrações nutricionais em superfície do solo, principalmente do P (ELTZ et al., 1989; AMADO et al., 2006). Da mesma forma, com o surgimento da agricultura de precisão e sua popularização entre os agricultores, intensificou-se a aplicação superficial a qual contribuiria para este processo.

Sendo assim, o manejo da fertilização vem a ser outro fator impactante, capaz de interferir diretamente nas reações que ocorrem entre o fertilizante e o solo, e a consequente disponibilidade dos minerais para as plantas (CERETTA & FRIES, 1997). Desta forma, o modo de aplicação poderia alterar a velocidade e a capacidade do fertilizante em reagir no solo, como consequente solubilização e disponibilização do P na solução do solo, determinando o grau de eficiência da adubação fosfatada (BREVILIERI, 2012).

De maneira geral, em estudos com P são utilizadas fontes superfosfatadas como padrão experimental (NUNES, 2010), não sendo considerada a variabilidade existente nas características estruturais da molécula do fertilizante fosfatado e as possíveis interações com o modo de aplicação (TRENKEL, 1997; DEITH et al., 2005). A existência da variabilidade na composição de fontes fosfatadas pode resultar em conclusões equivocadas em estudos com fertilizantes (CHIEN et al., 2011).

Devido à carência de estudos sobre os efeitos de diferentes fontes solúveis e formas de aplicação na produtividade da soja, explorando a diferença físico-química das fontes fosfatadas solúveis, objetivou-se neste trabalho, determinar a interação existente entre fonte fertilizante fosfatada de alta solubilidade e modos de aplicação na cultura da soja.



## **2 OBJETIVOS E HIPÓTESES**

### **2.1 Hipóteses**

- ✓ A interação entre fonte de fertilizante fosfatado e o modo de aplicação influencia a eficiência agrônômica e a produtividade da soja.
- ✓ As fontes de fósforo (P) de alta solubilidade são mais eficientes e podem ser aplicadas a lanço sob sistema de semeadura direta (SSD) de longa duração.

### **2.2 Objetivo geral**

Esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar a interação entre diferentes fontes fosfatadas e manejo fertilizante em uma área agrícola cultivada sob SSD, de forma a entender fatores que maximizam a eficiência da fertilização fosfatada em diferentes modos de aplicação.

### **2.3 Objetivos específicos**

- Avaliar a eficiência agrônômica de fontes fosfatadas de alta solubilidade contendo componente amônico e fontes contendo ligações Ca-P aplicadas a lanço e no sulco de semeadura sob SSD;
- Comparar a eficiência das fontes  $\text{NH}_4^+$ -P com as fontes Ca-P sob diferentes manejos fertilizantes em SSD;

- Investigar a influência dos coeficientes de solubilidade dos fertilizantes no manejo adotado;
- Comparar a produtividade de matéria seca entre as fontes fosfatadas na cultura da soja;
- Investigar a influência do manejo fertilizante e da fonte utilizada nos teores de P nas folhas da soja;
- Aumentar a eficiência da fertilização fosfatada com base na escolha do manejo e da adequada fonte fertilizante.

## 3 CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 Importância do fósforo às plantas

O fósforo (P) (como fosfato,  $\text{PO}_4^{-3}$ ) é um componente integral de compostos importantes das células vegetais, incluindo fosfato-açúcares e fosfolipídeos que compõem as membranas vegetais (TAIZ & ZEIGER, 2006). Este elemento é essencial no metabolismo das plantas, que dentro da célula possui um papel essencial na transferência de energia, respiração e fotossíntese. A energia absorvida pela clorofila durante a fotossíntese é convertida em adenosina trifosfatada (ATP) e atua como a primeira fonte energética requerida nos processos biológicos (GRANT et al., 2001).

A suplementação de P na fase inicial do desenvolvimento das culturas é crucial na otimização da produção final, onde em estágios posteriores sua limitação demonstra-se menos relacionada à produtividade (GRANT et al., 2005). A soja absorve cerca de 8,4 kg de P para cada tonelada de grãos produzida, sendo a cultura mais exigente em relação às culturas de trigo e milho (MALAVOLTA, 1980). Sua deficiência no solo diminui o crescimento das plantas e o potencial de rendimento nos estádios reprodutivos iniciais, como o florescimento, pela menor produção e maior aborto de flores (AMADO et al., 2010), refletindo no impacto negativo em produtividade.

Em diversos trabalhos tem sido abordada a importância da nutrição inicial de P para as plantas. Em estudo avaliando o efeito do P sobre a cultura da cevada, Green et al. (1973) observaram que a deficiência de P nos primeiros 24 dias da fase de crescimento das plantas resultaram em um menor tamanho de planta e perfilhamento. Adicionando-se P na solução do solo somente após estes 24 dias iniciais, não foram eficientes, pois não houve diferença em tamanho com as plantas que nunca receberam a fertilização fosfatada. De forma similar, Boatwright & Viets (1966) verificaram que o maior perfilhamento na cultura da aveia resultou quando foram supridas as necessidades das plantas nas primeiras cinco semanas de crescimento. Longos períodos de disponibilidade de P não refletiram no aumento do número de perfilhos produzidos, porém os perfilhos não se desenvolveram até ter sido feita a suplementação mineral de P por pelo menos uma semana.

Em um trabalho investigando diferentes concentrações de P nas sementes de soja, Trigo et al. (1997) constataram que concentrações mais elevadas de P nas sementes proporcionam maior disponibilidade de energia para as atividades metabólicas da semente, o que levaria ao maior crescimento inicial das plântulas e ao desenvolvimento maior e mais rápido do sistema radicular, resultando no aumento da absorção de nutrientes e, conseqüentemente na capacidade produtiva da planta. O autor conclui que o efeito benéfico do alto teor de P na semente manifesta-se melhor em solos com alta disponibilidade deste elemento.

O desenvolvimento da parte aérea da planta é dependente do desenvolvimento e estabelecimento do sistema radicular. A disponibilidade de P no solo precisa ser alta no estágio inicial do desenvolvimento da planta, já que a mesma apresenta baixa capacidade de exploração do solo, garantindo assim um satisfatório desenvolvimento radicular. Grant et al. (2001) sustentaram que a produtividade de matéria seca final de trigo foi alta quando a suplementação de P foi realizada por somente 5 semanas comparados a longos períodos. A suplementação de P por 4 semanas resultou em uma produtividade de matéria seca de 80% do máximo produzido e a suplementação por 3 semanas reduziu a produtividade de matéria seca para 50% do máximo produzido. A restrição na suplementação de P por 2 semanas resultou em uma produção de matéria seca e grãos de 80 % e 42%, respectivamente, sob o tratamento testemunha. A restrição da fertilização fosfatada por 3 semanas reduziu estes parâmetros à 30 e 19%, respectivamente, sob o tratamento testemunha. Embora a cultura necessite de pequena quantidade de P durante as primeiras 2 semanas (15 % do máximo absorvido) essa precoce acumulação de P foi de extrema importância para a máxima produção de matéria seca e produtividade de grãos na maturidade.

### **3.2 Formas no solo, transporte e absorção de fósforo pelas plantas**

O P se encontra no solo em duas principais formas: orgânica (Po) e inorgânica (Pi). A forma orgânica é encontrada no húmus, na biomassa do solo e em outros materiais orgânicos, enquanto a porção inorgânica ocorre em várias combinações com íons de ferro, alumínio, cálcio, e outros elementos, na grande maioria, a qual confere ao P grande estabilidade estrutural e assim insolubilidade em água (DEITH et al., 2005). Ambas as formas (orgânica e inorgânica) são importantes fontes para o crescimento das plantas, mas suas disponibilidades

são controladas pelas características do solo e pelas condições ambientais, a qual interfere principalmente na taxa de mineralização da fração orgânica pelos microrganismos (STEWART & TIESSEN, 1987).

A principal característica da dinâmica do P no solo é a sua imobilidade. Praticamente todo o P na forma solúvel advinda da fertilização ou de resíduos orgânicos é convertido no solo para formas insolúveis poucas horas após a aplicação. Segundo Meurer et al. (2006), o ânion fosfato reage com grupos reativos de superfície  $\text{OH}^-$  (aluminossilicatos não-cristalinos, óxidos e hidróxidos de ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn) e as bordas dos argilominerais silicatados), adsorvendo especificamente o ânion na forma de complexos de esfera-interna, conforme a Figura 3.1. Essa reação indisponibiliza o P disponível na solução do solo.

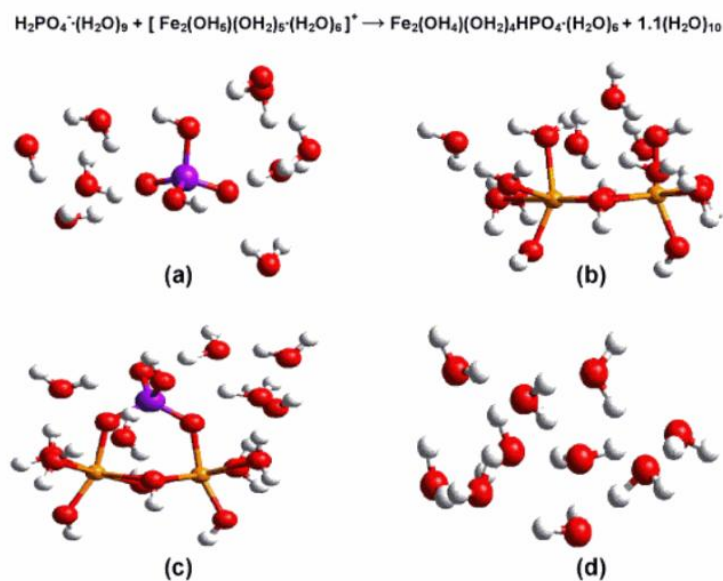


Figura 3.1 – Adsorção específica (quimiossorção) do ânion fosfato na superfície de um óxido de ferro por um mecanismo de ligação bidentada. (A)  $\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{H}_2\text{O})_9$  reagente; (B)  $[\text{Fe}_2(\text{OH})_5(\text{OH}_2)_5(\text{H}_2\text{O})_6]^+$  reagente; (C)  $\text{Fe}_2(\text{OH})_4(\text{OH}_2)_4\text{HPO}_4(\text{H}_2\text{O})_6$  produto; (D)  $(\text{H}_2\text{O})_{10}$  produto. Vermelho, oxigênio; branco, hidrogênio; roxo, fósforo; e laranja, ferro. (PAUL, 2007).

As raízes absorvem íons P nas formas aniônicas de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ou  $\text{HPO}_4^{2-}$ , comumente encontradas nas faixas de pH entre 4,0 a 8,5 dos solos brasileiros (BARBER, 1984). A suplementação mineral de P às plantas é determinada pela capacidade do solo em repor o P na solução do solo (poder tampão) e manejo da fertilização fosfatada, tão bem como pelas

condições ambientais e do solo que afetam a biodisponibilidade de P e o crescimento das raízes (DEITH, 2005). A habilidade das plantas de absorver o P do solo irá depender da concentração dos íons em solução na superfície das raízes e da área da superfície radicular em contato com a solução (JONES& JACOBSEN, 2001).

No solo são três os principais mecanismos de transporte de nutrientes para as plantas: interceptação radicular, fluxo de massa e difusão (OLIVEIRA et al., 2004). A interceptação radicular ocorre quando os nutrientes são interceptados pelas raízes durante o processo de crescimento, porém, o mecanismo de interceptação radicular não tem sido considerado no transporte de nutrientes, pois, atualmente, não é aceita a possibilidade de trocas diretas entre as partículas do solo e as raízes das plantas, havendo necessidade do meio líquido para que a absorção pelas raízes ocorra (RUIZ et al., 1999).

O fluxo de massa refere-se ao escoamento de um soluto juntamente com a água do solo, ou seja, a água e o soluto nela dissolvidos movem à mesma velocidade (RUIZ et al., 2010). O fluxo de massa tem sido responsável por aproximadamente 80 % do N absorvido pelas plantas e somente 5 % do P (FOTH & ELIIS, 1997). Isso sugere que o P (e outros nutrientes com menor mobilidade) está de alguma maneira movendo-se muito mais rápido do que a água circundante está movendo-se em direção às raízes (JONES& JACOBSEN, 2001). Desta forma a difusão torna-se responsável pelo restante do movimento dos nutrientes.

O transporte de solutos por difusão (difusão molecular) é um processo espontâneo, que resulta do movimento térmico e aleatório de íons e moléculas na fase líquida do solo, decorrente da diferença de concentração entre pontos na solução do solo (Figura 3.2), ou seja, o movimento ocorre de pontos de concentração mais altas para aqueles de concentrações mais baixas, como acontece junto à superfície das raízes das plantas (RUIZ et al., 2010).

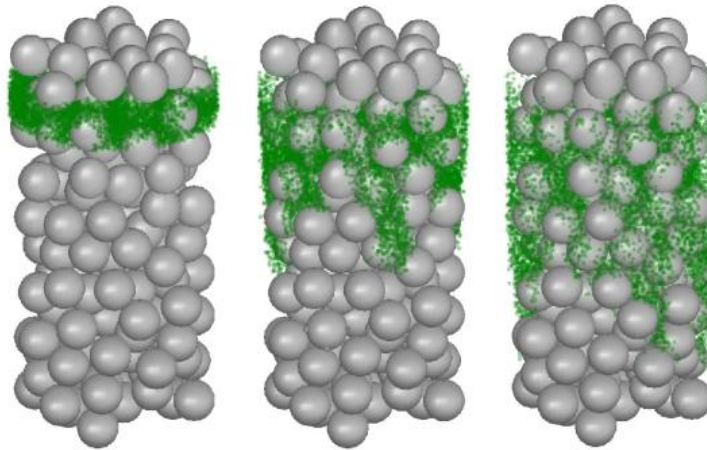


Figura 3.2 – Esquema demonstrativo do transporte de solutos por difusão decorrente da diferença de concentração entre pontos na solução do solo (COLLAGHAN, 2012).

Os nutrientes que apresentam maior dependência do processo difusivo no transporte para as raízes das plantas são aqueles de baixa mobilidade, os quais estão em baixa concentração na solução e ainda são necessários em grande quantidade pela planta, como o P (JONES & JACOBSEN, 2001). Desta forma, a grande maioria do P absorvido pela planta (> 90 %) é proveniente do transporte difusivo no solo, sendo este de crucial importância para a nutrição da planta e garantia de resposta em produtividade de grãos.

A difusibilidade de um íon no solo pode ser estimada através do coeficiente de difusão, os quais diferentes fatores podem interferir no valor do mesmo, dependendo das condições do meio difusivo. Lewis & Quirk (1967) em um estudo abordando os fatores que alteram o coeficiente de difusão do fosfato no solo apontam que o mesmo foi marcadamente influenciado pelo nível da adição do fosfato, isto é, pela concentração de fosfato na solução. Também a magnitude da interação entre o fosfato na solução e a fase sólida do solo (argilominerais) foi apontada como fator determinante, onde a porção adsorvida nos colóides do solo proporcionaria uma redução da concentração do fosfato disponível na solução, e conseqüentemente redução do fluxo difusivo (RUIZ et al., 1988; OLIVEIRA et al., 2004; COSTA et al., 2006).

O pH do solo é outro fator que modifica o coeficiente de difusividade do fosfato no solo, de maneira que o mesmo induz mudanças nas espécies iônicas de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  para  $\text{HPO}_4^{2-}$ , o qual irá provavelmente resultar no decréscimo da mobilidade do fosfato (LEWIS & QUIRK, 1967) tão bem como a temperatura do solo, a qual interfere na solubilidade e difusão do fosfato (GRANT et al., 2001).

Segundo Costa et al. (2009) em estudo da difusividade do P no solo sob diferentes fontes fertilizantes e conteúdo volumétrico de água, em solos distintos, constataram que o fluxo difusivo variou com a fonte do elemento utilizado, com a umidade e a textura do solo. Primeiramente, seus resultados mostraram que a fonte fosfato monoamônico ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) apresentou maiores coeficientes de difusividade, comparado com a do fosfato de potássio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) e o menor fluxo obtido com o fosfato monocálcico  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ . Sua conclusão foi a de que o cátion acompanhante do ânion interferiu no processo difusivo de P no solo, corroborando com Lewis & Quirk (1967). Posteriormente, alterando a umidade volumétrica no solo foi verificada a grande influência gerada no gradiente de difusão. A difusão de um íon no solo está diretamente relacionada com o conteúdo volumétrico de água, uma vez que esta umidade determina a fração da área ou o volume de solo em que ocorre o fluxo difusivo (COSTA et al., 2006). Por fim, Costa et al. (2009) constataram a influência da textura do solo, onde solos com maior teor de argila apresentam um menor coeficiente de difusão do P. Este menor fluxo difusivo pode ser explicado, em parte, pela sua maior capacidade de adsorção de P, em grande parte atribuída pela presença e reação com os óxidos de ferro e de alumínio, em solos argilosos (RHEINHEIMER et al., 2003; BASTOS, 2006).

### **3.3 Sistema de semeadura direta e a distribuição do fósforo**

#### **3.3.1 Características do sistema**

A adoção do SSD no início da década de 70 proporcionou grande evolução no sistema produtivo. Atualmente estima-se que 70% das áreas cultivadas com soja e milho no país estejam sob este manejo conservacionista de solo (EMBRAPA, 2012), fazendo do Brasil o líder mundial no uso do sistema (BRASIL, 2012). O SSD proporcionou grandes melhorias na qualidade física, química e biológica do solo auxiliando na redução de perdas de nutrientes e solo por erosão, acúmulo de matéria orgânica e na retenção e preservação da água no solo (CIOTTA et al., 2002; COSTA et al., 2003; MENDES et al., 2003; CARNEIRO et al., 2004), devido às características do sistema que se baseia na não remoção do solo, sob cobertura permanente de palha e resíduos vegetais e na rotação de culturas. Também atualmente, o SSD é referenciado como importante aliado no sequestro de carbono e redução dos impactos



provocados pelo aquecimento global (DEBARBA & AMADO, 1997; BAYER et al., 2000; AMADO et al., 2001; COSTA, 2008), apresentando características de sustentabilidade na produção agrícola.

À medida que o conhecimento do SSD se amplia, verifica-se que o uso de indicadores isolados não são suficientes na caracterização da qualidade do solo (CARNEIRO et al., 2009). Devido à grande complexidade e dinamismo do sistema, muitos são os fatores físicos, químicos e biológicos envolvidos simultaneamente, exigindo da pesquisa um conhecimento multidisciplinar dos processos que ocorrem no solo. Este fato despertou grande interesse científico, contribuindo assim para o desenvolvimento do conhecimento e aprimoramento das estratégias de manejo em SSD.

Um dos aspectos mais estudados no SSD é a dinâmica dos nutrientes e nutrição de plantas, as quais assumem comportamentos completamente distintos em relação a cada elemento. O não revolvimento do solo conciliado com a dinâmica dos nutrientes no sistema provocou um aumento das concentrações nutricionais em superfície do solo, principalmente do P (ELTZ et al., 1989; RHEINHEIMER & ANGHINONI, 2001; AMADO et al., 2006). Estudos têm mostrado esta tendência em que ocorre a exportação de nutrientes de camadas subsuperficiais do solo, e após o ciclo da planta, depositados na superfície, onde os resíduos concentrados não sofrem incorporação (GONÇALVES, 1997; MARTINAZZO, 2006; PAULETTI et al., 2009).

Da mesma forma, com a ascensão da agricultura de precisão e sua popularização entre os agricultores, intensificou-se a aplicação superficial o qual contribuiria para este processo. Geograficamente, a agricultura de precisão é utilizada em diversas partes do planeta, incluindo Brasil, China, Alemanha, e os Estados Unidos (SCHEPERS, 2012). Dos dados mais recentes disponíveis apontam que, 28% do milho plantado nos Estados Unidos (em 2005), 10% do trigo (em 2004), e 22% da soja (em 2002) estavam sob manejo de agricultura de precisão (GRIFFIN & ERICKSON, 2009). Estes números justificam a importância atual desta ferramenta na agricultura e o impacto sob o manejo de nutrientes sob SSD.

### 3.3.2 Modos de aplicação do fertilizante fosfatado

Modos de aplicação de fertilizantes e a dinâmica de nutrientes provavelmente tenha sido a área mais estudada nas últimas décadas em fertilidade do solo, principalmente o fosfatado. A introdução do SSD e a popularização da agricultura de precisão nos sistemas produtivos exigiram da pesquisa este entendimento, que ainda em fase de construção, possui divergências sobre a melhor forma de utilização das diferentes fontes fosfatadas disponíveis no país (SILVA et al., 2009).

A escolha do manejo do fertilizante fosfatado a ser aplicado no solo exerce grande influência na disponibilização de nutrientes às plantas, sendo este um fator impactante na eficiência da fertilização, capaz de interferir diretamente nas reações que ocorrem entre o fertilizante e o solo (CERETTA & FRIES, 1997). Desta forma, o modo de aplicação poderia alterar a velocidade e a capacidade do fertilizante em reagir no solo, como consequente solubilização e disponibilização do P na solução do solo, determinando o grau de eficiência da adubação fosfatada (BREVILIERI, 2012).

Prado et al. (2001) avaliando os efeitos de modos de aplicação e de doses de fertilizante fosfatado em adubação de manutenção, em um solo com 66% de argila e teor médio de P, verificaram que os tratamentos com aplicações no sulco foram mais eficientes que a lanço. De forma semelhante, Moterle et al. (2009), estudando o efeito da fertilização fosfatada na emergência das plântulas a campo e na produtividade da cultura da soja, com diferentes formulações de fertilizantes e posições da fertilização no solo, constataram que as maiores produtividades foram alcançadas aplicando-se no sulco, sob teores médio de P no solo. Estes resultados estão de acordo com Pottker (1999), o qual tem observado que em SSD a aplicação de P deve ser feita na linha de semeadura e no momento do plantio.

Resultados divergentes foram encontrados por Pavinatto & Ceretta (2004) estudando modos de aplicação do fertilizante fosfatado na cultura do milho em um solo com teor muito alto de P. Segundo estes autores, não houve diferença entre o manejo fertilizante na resposta em produtividade. Para Santos et al. (2008), resultados como este somente são expressos pelo fato de o solo já apresentar teores altos de P, onde em condições de menor disponibilidade o mesmo não seria observado. Os mesmos autores apontam à necessidade da aplicação imediata do fertilizante fosfatado no momento da semeadura, onde a antecipação resultaria em perda de produtividade. Porém, outros trabalhos explorando a questão do manejo do fertilizante fosfatado apresentam resultados divergentes.

Guareschi et al. (2008) comparando o comportamento da cultura da soja fertilizada com P em semeadura e a lanço antecipadamente (15 dias), sob um solo com teor médio de disponibilidade de P, não verificaram diferença nas variáveis estudadas, entre elas a produtividade. Corroborando, Lana et al. (2003) constataram que a aplicação antecipada de P até cinco meses antes da semeadura não influenciaram a produtividade de grãos da soja, os teores de P nas folhas, o peso de cem sementes e a altura da primeira vagem em relação ao solo, sob condições de muito baixa disponibilidade de P no solo.

Também, Bergamin et al. (2008) estudando a influência do manejo da fertilização em duas cultivares de soja, em condições de muito baixa disponibilidade de P no solo, verificaram que apesar do tratamento em sulco de semeadura proporcionar um maior número de vagens, não houve diferença em produtividade entre tratamentos a lanço e em linha de semeadura. Resultados semelhantes foram encontrados por Nunes et al. (2011), trabalhando em um experimento de longa duração (14 anos), em um solo com teor inicial de P muito baixo, com diferentes formas de manejo fertilizante em dois sistemas de preparo do solo, sistema convencional (SPC) e SSD. Os autores verificaram que apesar do efeito do manejo da fertilização fosfatada na distribuição do P no solo, a produtividade de grãos de soja no 14º ano foi alterada apenas pelo sistema de cultivo, tendo o solo sob SSD produzido 15,5 % mais grãos do que o SPC. Porém, Sá et al. (2009, 2013), investigando o efeito do modo de aplicação do fertilizante nitrogenado e fosfatado na cultura do milho sob SSD, encontraram melhor resposta na fertilização a lanço de P. Desta forma, sugerindo-se optar por aquela forma de aplicação de fertilizante que garanta o menor custo (GUARESCHI et al., 2008).

Por fim, Motomiya et al. (2004) sugerem que a fonte utilizada possa influenciar na eficiência da fertilização, apresentando resultados distintos dependendo da fonte e manejo adotados. O estudo, realizado em dois cultivos, buscou avaliar o efeito de métodos de aplicação nas fontes superfosfato triplo e fosfato de Gafsa sob SSD na produção de grãos de soja. Desta forma, concluíram que o fosfato de Gafsa, quando aplicado a lanço, é equivalente ao superfosfato triplo, no entanto, quando aplicado no sulco de semeadura, mostra-se ineficiente.

Esta constatação de Motomiya et al. (2004) aponta para a influência da fonte fertilizante fosfatada em resposta à produtividade de grãos, em que fontes com características físico-químicas diferentes podem apresentar interações distintas com a forma de manejo do fertilizante adotado. Segundo Nunes (2010) a fonte padrão utilizada em estudos com P é o superfosfato triplo, possuindo este, característica físico-química específica comparado a

outras fontes. Desta forma surge a necessidade de explorar outras fontes, entre elas as amoniacais, nos estudos com manejos fertilizantes.

### **3.4 Fontes fertilizantes**

A avaliação do P disponível no solo é feita geralmente medindo-se o grau de energia em que o fosfato está adsorvido às estruturas coloidais, conseqüentemente a capacidade em que o mesmo pode ser repostado na solução, após a absorção pelas plantas (SANTOS et al., 2008). Quando os teores no solo não forem suficientes em tamponar a solução a níveis críticos, capazes de suprir as necessidades das plantas, é necessário fazer a reposição dos nutrientes na solução. A prática da fertilização, de certa forma, é responsável por elevar os teores de P na solução do solo, de maneira a suprir a deficiência existente no mesmo.

As características físicas, químicas e físico-químicas dos fertilizantes podem interferir na cinética da disponibilidade de P às plantas. Na recomendação de fertilização proposta pela Comissão de Química e Fertilidade dos Solos - Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004), as doses estabelecidas são em base da quantidade de  $P_2O_5$  necessário para atingir um nível ótimo para as plantas, estabelecido após um conjunto de experimentos com várias culturas e em diferentes solos. Porém, esta recomendação desconsidera a relação entre estágio de maior necessidade nutricional da planta, como o inicial (GRANT et al., 2005) e a capacidade do fertilizante em supri-la na mesma.

Fertilizantes que apresentarem estas características tendem a conter maior eficiência na nutrição mineral às plantas, onde a suplementação de P durante as primeiras 2 a 6 semanas de crescimento representam um grande impacto no rendimento final da maioria das culturas (GRANT et al., 2001).

#### **3.4.1 Características gerais dos fertilizantes**

O uso de fertilizantes comerciais tem crescido exponencialmente em todo o mundo durante o final do século XX seguindo em expansão em pleno século XXI. Como resultado, vários produtos tem surgido no mercado, oferecendo uma numerosa quantidade de fontes

fertilizantes, de diferentes formas físicas e químicas buscando suprir as necessidades de cada ambiente. Desta forma, dependendo do conteúdo mineral e do processo de industrialização, os fertilizantes sólidos podem diferir em tamanho e formato da partícula, cor, densidade, concentração e solubilidade (MCAULEY, 2009).

A legislação brasileira exige garantias quanto à composição química e propriedades físicas dos fertilizantes fosfatados comercializados no país, principalmente quanto à granulometria (tamanho de partículas) e ao peso (CQFS-RS/SC, 2004). Em âmbito global a maioria das legislações estão focadas em três principais especificações: total de  $P_2O_5$  presente no fertilizante, propriedades físico-químicas (solubilidade) e propriedades físicas (tamanho da partícula) (ZAPATA & ROY, 2004).

Sendo assim, características físicas, químicas e físico-químicas específicas de cada fertilizante sob condições adversas do solo podem influenciar sua eficiência na nutrição das plantas. Entre estas, a solubilidade (como uma característica físico-química do fertilizante) apresenta fundamental importância, merecendo maior atenção em estudos envolvendo o componente fosfatado (CHIEN et al., 2011).

#### 3.4.2 Solubilidade em fertilizantes fosfatados solúveis

A solubilidade de um fertilizante é a unidade de medida que permite quantificar quanto de um determinado material fertilizante irá dissolver em água e é a característica físico-química mais importante influenciando fortemente a disponibilidade de nutrientes às plantas e o tipo de manejo fertilizante a ser adotado (MCAULEY, 2009). Fertilizantes solúveis irão se dissolver facilmente em água, e conseqüentemente, estarão prontamente disponíveis na solução do solo para a absorção pelas plantas. No geral, a solubilidade de um fertilizante fosfatado no Brasil é estimada mediante determinações do teor de  $P_2O_5$  total do material fertilizante,  $P_2O_5$  solúvel em citrato neutro de amônia (CNA) +  $H_2O$ ,  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico a 2% e  $P_2O_5$  solúvel em água (RAIJ et al., 2001). A solubilidade mínima exigida pela legislação nacional é de 90 % para as fontes fosfatadas de alta solubilidade (CHIEN et al., 2009).

No geral, as fontes fosfatadas comercialmente disponíveis são o superfosfato simples (SSP), superfosfato triplo (TSP), fosfato monoamônico (MAP) e o fosfato diamônico (DAP), as quais não apresentam 100% de solubilidade em água (Quadro 4). Normalmente, pelo

menos 85 – 90 % do total de P nesses fertilizantes são solúveis em água (CHIEN et al., 2011). Os compostos insolúveis mais comuns presentes nos fertilizantes fosfatados conferindo a perda da solubilidade são componentes genéricos de P como H8 [(Fe,Al)<sub>3</sub>NaH<sub>8</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>.6H<sub>2</sub>O] no SSP e H14 [(Fe,Al)<sub>3</sub>NaH<sub>14</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>8</sub>.4H<sub>2</sub>O] no TSP (PROCHNOW et al., 2003a, b).

Fonte Fosfatada	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ca	Mg	S
	Total	Ác. Cítrico	CNA + H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O			
	----- % -----						
SSP <sup>1</sup>			18	15	16		8
TSP <sup>2</sup>			41	36	10		
MAP <sup>3</sup>			48	44			
DAP <sup>4</sup>			45	38			
Termofosfato Mg	17	11			16	7	
Fosfato Natural Reativo	27	30			28		

Quadro 3.1 – Características químicas dos principais fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil.

<sup>1</sup>Superfosfato simples; <sup>2</sup>Superfosfato triplo; <sup>3</sup>Fosfato monoamônico; <sup>4</sup>Fosfato Diamônico.

Em um estudo realizado com três diferentes SSP brasileiros, foi constatada grande variabilidade na presença de compostos insolúveis. A solubilidade em água e consequente disponibilização de P desses produtos foram de 46, 80 e 86 %, onde se atribui a presença do componente (Fe,Al)<sub>3</sub>NaH<sub>8</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>.6H<sub>2</sub>O a perda de solubilidade nos fertilizantes estudados (PROCHNOW et al., 2003a). Chien et al. (2011) apontam para a necessidade da verificação do conteúdo fertilizante em experimentos com P, já que o TSP é utilizado como padrão em experimentos do tipo (NUNES, 2010) na comparação com outras fontes podendo resultar em equívocos e subestimar a relativa eficiência dessas fontes Ca-P.

De certa forma, todas as fontes fertilizantes solúveis citadas anteriormente são rapidamente solubilizadas no solo, fornecendo P na solução do solo para a absorção pelas plantas. No entanto, o P solúvel em água na forma de ortofosfato pode ser rapidamente convertido em formas não solúveis através de reações com minerais (RHEINHEIMER et al., 2003; BASTOS, 2006). Em solos ácidos, os óxidos de Fe e Al podem converter o P na solução do solo em um composto não solúvel em água Fe-Al-P na superfície das partículas minerais. Em solos ricos em carbonato de cálcio e consequentemente alto pH, o P na solução

do solo podem ser adsorvido pelo  $\text{CaCO}_3$ . De qualquer forma, o P na solução do solo pode precipitar com cátions de maneira amorfa Fe-P e/ou Al-P em solos ácidos e como Ca-P em solos alcalinos ou calcareados (CHIEN et al., 2011). Todas estas reações podem resultar em decréscimo na disponibilidade do P com o passar do tempo (HEDLEY & MCLAUGHLIN, 2005).

Todos os fertilizantes com alta qualidade em se solubilizar em água deveriam apresentar a mesma eficiência em disponibilizar o P para as plantas. No entanto, somente uma limitada quantidade de trabalhos tem sido reportada na literatura, abordando a eficiência agronômica de diferentes fontes fosfatadas de alta solubilidade em termos de fonte como o SSP, TSP, MAP e DAP, e a solubilidade (CHIEN et al., 2011). Desta forma, devido à variabilidade dos produtos das reações do P no solo (HEDLEY & MCLAUGHLIN, 2005), diferentes fontes fosfatadas solúveis poderiam apresentar diferentes eficiências sob condições adversas.

Em um trabalho avaliando a eficiência de duas fontes fosfatadas Lu et al. (1987) verificaram que o SSP foi mais eficiente comparado ao DAP no crescimento da cultura de milho em solos ricos em carbonato de cálcio, em termos de produção de matéria seca, absorção pela planta, sob diferentes manejos fertilizante (superficial, na linha de semeadura e em maior profundidade). Os autores verificaram que por causa do composto  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (principal componente do SSP) ser mais solúvel que outros compostos Ca-P (formados através da reação do DAP em um solo rico em carbonato de cálcio), o SSP apresentou melhor eficiência nestas condições químicas do solo.

No entanto, alguns pesquisadores têm sugerido que a nitrificação do  $\text{NH}_4\text{-N}$ , presente em fontes como o MAP e DAP, para  $\text{NO}_3\text{-N}$  (acarretando na diminuição do pH em volta do grânulo fertilizante no solo) e a absorção de  $\text{NH}_4\text{-N}$  (a qual aumenta a acidez da rizosfera) poderia aumentar a dissolução de precipitados compostos Ca-P (CHIEN et al., 2011), desta forma aumentando a disponibilidade de P às plantas e consequente aumento da eficiência fertilizante. Neste caso, em solos sob SSD submetidos a manejo superficial, fertilizantes contendo o componente amônio atuariam na dissolução e difusão de compostos Ca-P presentes em maior concentração na superfície do solo.

Desta forma, as reações e interações desencadeadas entre fonte-fertilizante e solo são dependentes das características gênicas do solo, como mineralogia e textura, e do manejo do solo adotado.

### 3.4.3 Influência da fonte fosfatada na absorção de P pelas plantas

Em seu estado natural, o P está sempre associado com íons oxigênio na forma de ânion fosfatado  $\text{PO}_4^{3-}$ . Desta forma, o íon fosfato apresenta três cargas negativas capazes de reagir com cátions no solo, tais como  $\text{H}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ . Quando as cargas são supridas por íons  $\text{H}^+$ , existe a dinâmica do equilíbrio químico na forma de ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) e também em ânions ortofosfatados ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) (RAIJ, 2004). Sendo assim, a relativa distribuição dessas três formas é dependente do pH do solo (Figura 3) (HINSINGER, 2001). As raízes das plantas absorvem íons P nas formas aniônicas de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ou  $\text{HPO}_4^{2-}$ , presente em uma faixa de pH de 4,0 a 10,0 (BARBER, 1984; HINSINGER, 2001; BARBER, 2002), em que a forma química do fosfato resultante da reação de dissolução dos fertilizantes exercerá influência na absorção de P pelas plantas.

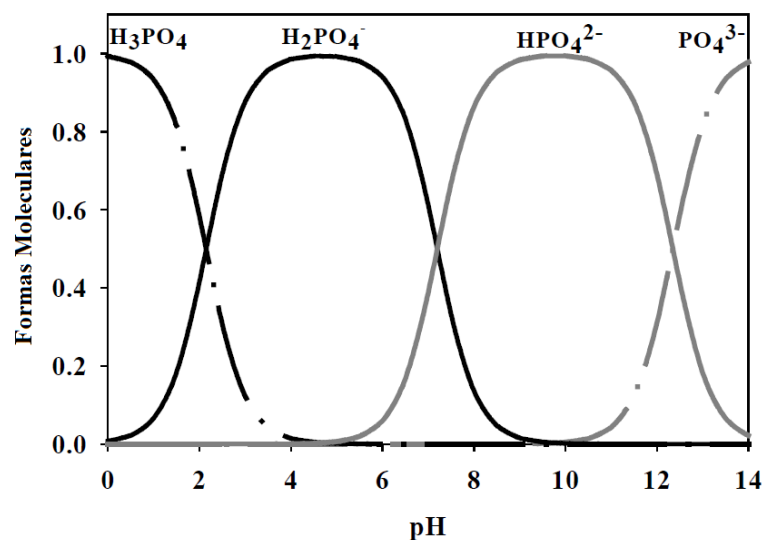


Figura 3.3 – Forma molecular do íon fosfato em equilíbrio químico sob diferentes condições de pH do solo (BARBER, 2002).

Os fertilizantes fosfatados comumente comercializados no Brasil são o MAP, DAP, SST e o TSP, sendo que o produto de suas reações no solo poderão gerar um ambiente ao redor do grânulo de alta acidez à alcalino. O pH ao redor do grânulo resultante da solubilização do MAP, DAP, TSP é de 3,5, 8,0, 1,0, respectivamente (MCAULEY et al., 2009), fator que influencia o produto das reações no solo.



A grande capacidade de reação dos íons fosfatado com cátions presente no solo induz a formação de compostos, na maioria das vezes, de baixa solubilidade e disponibilidade às plantas. Nessas condições, sob um ambiente ácido, a formação de complexos com íons  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$  indisponibilizariam o P na solução e/ou favoreceriam a formação de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (forma não absorvível). Da mesma forma, sob condições alcalinas e altas concentrações de íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , ocorre a precipitação do íon fosfatado na forma de fosfatos de Ca e de Mg (compostos insolúveis) (HOPKINS & ELLSWORTH, 2005).

Sendo assim, as reações decorrentes da fertilização e a conseqüente disponibilização de P às plantas serão influenciados pelas fontes de fertilizantes fosfatados, as quais apresentam mudanças no pH do ambiente ao redor do grânulo, modificando desta forma sua disponibilidade no solo. Fertilizantes fosfatados capazes de gerar condições ambientais de pH (produto da dissolução) favoráveis à formação de formas aniônicas preferencialmente absorvíveis pelas plantas, tendem a apresentar maior eficiência na fertilização.

Riley & Barber (1971), estudando duas diferentes fontes nitrogenadas na soja sugerem que a fonte contendo estrutura molecular  $\text{NH}_4^+$  ocasionou um efeito acidificante na região da rizosfera. O ambiente ácido gerado pode ter contribuído para a formação de íons fosfatados de fácil absorção pelas raízes e menor reação com cátions no solo. Em outro estudo, Lu et al. (1987) verificaram a melhor eficiência do fertilizante SSP comparado ao DAP sob solos ricos em carbonato de cálcio. Os autores concluíram que os compostos gerados (através da reação do DAP em um solo rico em carbonato de cálcio) apresentaram baixa solubilidade, desta forma o SSP apresentou maior eficiência nestas condições químicas. O ambiente alcalino gerado pela dissolução do fertilizante DAP pode ter contribuído para as reações de complexação com íons Ca, formando assim um composto insolúvel.

Desta forma, a adequação das fontes fosfatadas às condições de ambiente do solo podem ser fatores a influenciar a eficiência da fertilização, demonstrando que a composição (ou a estrutura física) de cada fonte irá orientar reações no solo, permitindo maior ou menor eficiência relativa de utilização do fertilizante fosfatado (VASCONCELLOS et al., 1986).

## 4 CAPÍTULO 2 – ARTIGO CIENTÍFICO

### FERTILIZANTES FOSFATADOS SOLÚVEIS E MODO DE APLICAÇÃO NA CULTURA DA SOJA

#### RESUMO

A soja é uma cultura de grande importância para o agronegócio brasileiro e para a economia mundial. Avanços tecnológicos em diversas áreas têm proporcionado crescentes ganhos em produtividade, onde a fertilização mineral fosfatada é apontada como importante fator para este feito. O aumento da demanda fertilizante resultou na diversificação dos fertilizantes produzidos, os quais apresentam diferentes características em suas composições. Com a expansão do sistema de semeadura direta (SSD) e o aumento do manejo superficial do solo ocorreram modificações no sistema produtivo, onde diversos fatores envolvendo solo-planta-ambiente são capazes de exercer influência na eficiência da fertilização mineral. Sendo assim, fertilizantes fosfatados solúveis com características físico-químicas diferenciadas podem apresentar interações específicas com o modo de aplicação sob SSD. Este estudo busca avaliar o efeito de diferentes fontes fosfatadas solúveis com característica físico-química distinta, sob diferentes modos de aplicação. O estudo foi realizado no Município de São Vicente do Sul, em um Argissolo Bruno-Acinzentado alítico úmbrico, sob semeadura direta na cultura da soja. Os tratamentos foram compostos por fontes fosfatadas solúveis, que apresentam diferentes coeficientes de solubilidade, enquadradas pelo teor de cálcio (Ca) presente na formulação e pela estrutura molecular das fontes, em níveis de solubilidade (fator A), submetidos a diferentes modos de aplicação (fator B). O fator A foi composto pelas fontes: 09-45-00 + (7,0 % S<sup>0</sup> + 2,0 % SO<sub>4</sub>) e fosfato monoamônico (MAP) (alta solubilidade), 08-40-00 + (6,6 % S<sup>0</sup> + 1,4 % SO<sub>4</sub>) + 3,4 % Ca e 07-37-06 + (5,2 % S<sup>0</sup> + 1,2 % SO<sub>4</sub>) + 1,4 % Ca (média solubilidade), 0-20-20 + (4,6 % SO<sub>4</sub>) + 9,9 % Ca, 02-20-18 + (4,6 % SO<sub>4</sub>) + 9,9 % Ca (baixa solubilidade), sendo as doses ajustadas de maneira a ser mantida a mesma relação nutricional em 92 kg ha<sup>-1</sup> para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O. As diferentes formas de aplicação (fator B) foram em superfície (a lanço), e na linha de semeadura (no sulco), sendo este último de forma mecânica. As variáveis estudadas foram: a produção de matéria seca, teor foliar de nutrientes e a produtividade de grãos. Os resultados

indicaram interação significativa entre o fator A x B para a produtividade de grãos, matéria seca e absorção de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio, ao nível de 5 % de significância. As fontes fertilizantes consideradas de alta solubilidade apresentaram maior produtividade na média entre os níveis, sendo que no manejo a lanço houve a maior eficiência agrônômica.

***Termos de indexação: fósforo, adubação, Glycine max.***

**SUMMARY: SOLUBLE PHOSPHATE FERTILIZERS AND TYPES OF APPLICATION IN SOYBEAN CROP**

*Soybean is a crop of great importance for Brazilian agribusiness and for world's economy. Technological advances in several areas have provided increasing gain in productivity, in which the mineral phosphate fertilization is pointed as an important factor for this achievement. The increase in fertilizer demand resulted in diversification of produced fertilizers, which present different characteristics in their composition. With the expansion of no-till and the increase of superficial management of the soil there was modifications in the productive system, where various factors involving soil-plant-environment are able to exert influence on the efficiency of mineral fertilization. Thus, phosphate fertilizers of high solubility with different physical-chemical characteristics can present specific interactions with the type of application under no-till. This study aims to assess different soluble phosphate sources with different physical-chemical characteristics, under different types of application. This study was performed in the city of São Vicente do Sul, on a sandy loam soil, under, no-till on a soybean crop. The treatments were composed by soluble fertilizer sources, with different solubility coefficient, classified by the calcium content in the formulation and by the molecular structure of the sources, in solubility levels (factor A), submitted to different types of application (factor B). Factor A was composed by the sources: 09-45-00 + (7,0 %  $S^0$  + 2,0 %  $SO_4$ ) and monoammonium phosphate (MAP) (high solubility), 08-40-00 + (6,6 %  $S^0$  + 1,4 %  $SO_4$ ) + 3,4 % Ca and 07-37-06 + (5,2 %  $S^0$  + 1,2 %  $SO_4$ ) + 1,4 % (medium solubility), 0-20-20 + (4,6 %  $SO_4$ ) + 9,9 %, 02-20-18 + (4,6 %  $SO_4$ ) + 9,9 % Ca (low solubility), the doses being adjusted so as to be maintained the same nutritional relation of 92 kg ha<sup>-1</sup> for P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O. The different types of application (factor B) were on surface (broadcast), and in the seed row (banding), as the banding was done mechanically. The studied variables were dry mass production, plant nutrition (foliar method) and grain*

*productivity. The results indicate significant interaction between the factor A and B for grain productivity, dry mass, and absorption of nitrogen, potassium, calcium and magnesium, at the level of significance 5 %. The fertilizer sources that were considered to have high solubility presented higher productivity in average among the levels, as broadcast showed greater agronomic efficiency.*

*Index terms: phosphorus, fertilization, Glycine max.*

## INTRODUÇÃO

A soja é um dos principais produtos agrícolas brasileiro com grande participação nas exportações do país, representando no ano de 2011, 45,4% do total acumulado nas vendas globais do setor (US\$ 24,14 bilhões) (Brasil, 2012). Os avanços tecnológicos em diversas áreas, entre elas na utilização de fertilizantes minerais, proporcionaram grandes ganhos em produtividade, fazendo do Brasil o segundo maior produtor mundial da oleaginosa, com estimativas para a safra 2012/2013 tornar-se o maior produtor mundial (Conab, 2013).

A suplementação mineral de fósforo (P) é essencial na obtenção de altas produtividades, sendo este exigido em grandes quantidades por culturas altamente produtivas (Stauffer & Sulewski, 2003). A soja absorve cerca de 8,4 kg de P para cada tonelada de grãos produzida, sendo a cultura mais exigente em relação às culturas de trigo e milho (Malavolta, 1980). Por este motivo, o uso de fertilizantes minerais fosfatados aumentou expressivamente a nível mundial, nas últimas décadas, principalmente em solos intemperizados como no Brasil que apresentam grande resposta à fertilização fosfatada (Valadão Júnior et al., 2008).

Este aumento da demanda fertilizante repercutiu na diversificação dos fertilizantes produzidos, os quais após o processo de industrialização da rocha fosfatada apresentam características moleculares e nutricionais diferenciadas resultantes de diferentes processos de fabricação (McAuley et al., 2009). De alguma forma, estes fertilizantes buscam atender as deficiências nutricionais existentes em cada sistema de cultivo.

Após a aplicação, o fertilizante reage no solo havendo a solubilização e posterior adsorção na solução do solo, estando por fim disponível às plantas. No entanto, devido à variabilidade dos produtos das reações do P no solo (Hedley & McLaughlin, 2005), diferentes fontes fosfatadas de alta solubilidade poderiam apresentar diferentes níveis de eficiência sob condições adversas, também dependentes das características texturais e mineralógicas do solo (Chien et al., 2011).

Em um trabalho avaliando a eficiência de duas fontes fosfatadas Lu et al. (1987) verificaram que o superfosfato simples (SSP) foi mais eficiente comparado ao fosfato diamônico (DAP) no crescimento da cultura de milho em solos ricos em carbonato de cálcio, em termos de produção de matéria seca, absorção pela planta e manejo fertilizante (superficial, na linha de semeadura e em maior profundidade). Os autores verificaram que o produto das reações entre o fertilizante fosfatado e solo foram influenciados pela composição química do solo, gerando solutos de baixa solubilidade para a fonte DAP. Desta forma, os reflexos na solubilidade dos compostos formados intervêm na disponibilização de P às plantas.

Com a expansão do sistema de semeadura direta (SSD) e a intensificação do manejo superficial difundidos pelos produtores, o manejo da fertilização vem a ser outro fator impactante, capaz de interferir diretamente nas reações que ocorrem entre o fertilizante e o solo, e a consequente disponibilidade dos minerais para as plantas (Ceretta & Fries, 1999). Desta forma, o modo de aplicação poderia alterar a velocidade e a capacidade do fertilizante em reagir no solo, como consequente solubilização e disponibilização do P na solução do solo, determinando o grau de eficiência da adubação fosfatada (Brevilieri, 2012).

Por este motivo, ainda existem divergências sobre a melhor forma de utilização das diferentes fontes fosfatadas disponíveis no país (Silva et al., 2009). Segundo Prado (2001) e Moterle et al. (2009), a fertilização fosfatada apresenta maior resposta em produtividade com o manejo no sulco. Em contrapartida, outros autores não encontraram diferença quanto ao modo de aplicação do fertilizante na produtividade (Lana et al., 2003; Pavinato & Ceretta, 2004; Guareschi et al., 2010). Da mesma forma, Motomiya (2004) adiciona que fontes fosfatadas apresentam eficiências distintas dependendo do modo de aplicação, onde a fertilização no sulco nem sempre aumenta a produtividade (Pauletti, 2010).

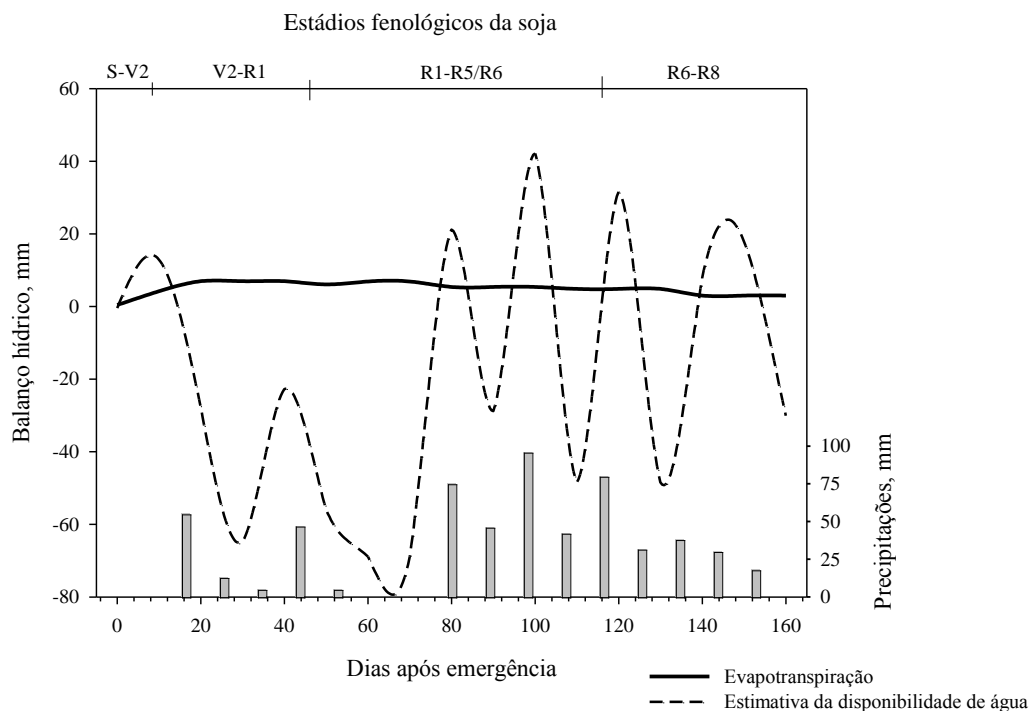
De maneira geral, em estudos com P são utilizadas fontes superfosfatadas como padrão experimental (Nunes, 2010), desta forma não sendo considerada a variabilidade existente nas características estruturais da molécula do fertilizante fosfatado e as possíveis interações com o modo de aplicação (Trenkel, 1997; Deith et al., 2005). A existência da variabilidade na composição de fontes fosfatadas pode resultar em conclusões equivocadas em estudos com fertilizantes (Chien et al., 2011).

Devido à carência de estudos sobre os efeitos de diferentes fontes solúveis e formas de aplicação na produtividade da soja, explorando a diferença físico-química das fontes fosfatadas solúveis, objetivou-se neste trabalho, determinar a interação existente entre fonte fertilizante fosfatada de alta solubilidade e modos de aplicação na cultura da soja.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento desenvolvido com a cultura da soja (safra 2011/2012) localizou-se no município de São Vicente do Sul, região central do Rio Grande do Sul, Brasil. A área está situada entre as coordenadas 29° 46' 38,51" S e 54° 46' 54,92" W usando datum WGS 84, em uma altitude média de 100 metros.

O clima segundo a classificação de Köppen é “Cfa” subtropical úmido. As chuvas apresentam uma uniforme distribuição em praticamente todos os meses do ano, sem estação seca definida, com índices pluviométricos anuais de 1600 mm a 1800 mm (Brasil, 1983). No entanto, a ocorrência de estiagens é frequente, onde é esperada a redução na produtividade de grãos de soja por deficiência hídrica, em cerca de nove safras a cada vinte, com intensidade variável (Matzenauer et al., 2003). Inicialmente ao desenvolvimento vegetativo da cultura houve um déficit hídrico posteriormente regularizado pelo aumento das precipitações (Figura 1). O volume total acumulado durante o ciclo da cultura foi de 576 mm.



**Figura 1. Histograma pluviométrico para o ciclo da cultura e evapotranspiração total considerando-se a evapotranspiração de referência ( $E_{to}$ ) da região e o  $K_c$  da cultura (Farias et al., 2001; Matzenauer et al., 2003). São Vicente do Sul, 2012.**

Na área experimental é utilizado o SSD há mais de 16 anos, sendo caracterizada pela integração lavoura-pecuária, ocupada pelo cultivo da soja durante o período de verão e pecuária no inverno (pastejo sob azevém perenizado).

O solo é do tipo Argissolo Bruno-Acinzentado alítico úmbrico (Embrapa, 2006), com média 16 % de argila enquadrando assim, na classe 4 de interpretação da CQFS-RS/SC(2004). Apresenta relevo suave ondulado ebemdrenado.

A amostragem do solo foi realizada em cada unidade experimental, com o objetivo de se obter a caracterização inicial da área, na profundidade de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m. No Quadro 1 são apresentados dados relativos à condição inicial da fertilidade do solo na profundidade de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. O extrator utilizado nas análises foi o Mehlich-1 segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

**Quadro 1. Condição inicial média da fertilidade do solo na profundidade de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. São Vicente do Sul, 2011**

Prof. <sup>1</sup> m	pH H <sub>2</sub> O	SMP	MO <sup>2</sup> %	P <sup>3</sup> mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>4</sup>	Ca <sup>5</sup>	Mg <sup>6</sup>	Al <sup>7</sup>	S <sup>8</sup>	Areia	Silte	Argila
0-0,10	5,7	6,5	2,8	23,5	90,6	7,8	4,4	0,0	3,0	74	10	16
0,10-0,20	5,3	6,2	-	8,4	50,7	6,4	4,1	0,4	2,3	69	11	20
0,20-0,40	4,7	5,3	-	5,3	36,6	2,8	2,0	3,5	2,2	70	11	19

<sup>1</sup>Profundidade; <sup>2</sup>Matéria orgânica do solo; <sup>3</sup>Fósforo; <sup>4</sup>Potássio; <sup>5</sup>Cálcio; <sup>6</sup>Magnésio; <sup>7</sup>Alumínio, <sup>8</sup> Enxofre.

Para constatar o efeito da fertilização fosfatada na produtividade da soja foi realizada uma curva de resposta à fertilização *in loco*. As doses utilizadas foram de 0, 10, 20, 40, 80, 92 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A partir desta foram determinados os valores de máxima eficiência técnica (MET) e máxima eficiência econômica (MEE) da fertilização fosfatada, seguindo a metodologia proposta por Wendling et al. (2007), utilizando-se como base para cálculo valores cambiais de dois anos agrícolas (2011 e 2012).

Os valores de MET da utilização da fertilização foram calculados a partir da equação de produtividade 1 (equação polinomial quadrática), em que se fez a primeira derivada, e igualando-a a zero, resultando na equação 2. Quando a equação ajustada foi uma polinomial linear positiva, a MET era obtida com utilização da maior dose.

$$\hat{y} = a + bx + cx^2 \quad (1)$$

$$dy/dx: 0 = b + 2cx \quad (2)$$

Para determinar a máxima eficiência econômica (MEE), foi utilizada a mesma derivada da equação, multiplicando-se pelo preço do produto (pp) e subtraindo o preço do insumo (pi), resultando na equação 3. Os preços utilizados nos cálculos dos custos são preços médios da região sul do Brasil: U\$ 1,00 kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de MAP no ano de 2011, U\$ 1,30 kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de MAP no ano de 2012, U\$ 0,77 kg<sup>-1</sup> de soja no ano de 2011 e U\$ 1,06 kg<sup>-1</sup> de soja no ano de 2012 (SIACESP/FOB, 2012). Estes valores estiveram dependentes das mudanças cambiais do dólar, o qual em dois anos apresentou forte queda e posterior valorização da moeda no exterior.

$$dy/dx: 0 = pp (b + 2cx) - pi \quad (3)$$

onde:

pp = preço do produto

pi = preço do insumo

Os tratamentos foram compostos por fontes fertilizantes NPK solúveis, que apresentam diferentes coeficientes de solubilidade, enquadradas pelo teor de cálcio (Ca) presente na formulação e pela estrutura molecular das fontes, em níveis de solubilidade (fator A), submetidos a diferentes modos de aplicação (fator B). O delineamento experimental foi constituído em blocos ao acaso em arranjo fatorial 2 x 3, com quatro repetições. O fator A foi composto por diferentes fontes fosfatadas solúveis enquadradas em níveis de solubilidade conforme suas características moleculares e química em: alta solubilidade, média solubilidade e baixa solubilidade, sendo as doses ajustadas de maneira a ser mantida a mesma relação nutricional em 92 kg ha<sup>-1</sup> para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O. As formas de aplicação (fator B) foram em superfície (a lanço), e na linha de semeadura (no sulco), sendo este último de forma mecânica.

No Quadro 2 encontra-se a descrição e as doses das fontes utilizadas com seus respectivos coeficientes de solubilidade.



**Quadro 2. Descrição das fontes fosfatadas utilizadas, onde as diferentes doses nivelam a relação nutricional de  $P_2O_5$  e  $K_2O$  em  $92 \text{ kg ha}^{-1}$ , e seus respectivos coeficientes de solubilidade (CS)**

Tratamentos	Doses	$P_2O_5$	KCl	$K_2O$	CS	Solubilidade <sup>1</sup>
	---- $\text{kg ha}^{-1}$ ----				$H_2O^*$	
09-45-00 +(7,0 % $S^0$ + 2,0 % $SO_4$ )	200	92	153	92	22,7 a 0°C	Alta
08-40-00 +(6,6% $S^0$ + 1,4% $SO_4$ ) + 3,4 % Ca	230	92	153	92	<10 a 0 °C	Média
07-37-06 + (5,2 $S^0$ + 1,2% $SO_4$ ) + 1,7 % Ca	249	92	128	92	< 10 a 0 °C	Média
09-48-00 (MAP)	170	92	153	92	22,7 a 0°C	Alta
0-20-20 + (4,6 % $SO_4$ ) + 9,9 % Ca	460	92	0	92	1,8 a 30 °C	Baixa
02-20-18 + (4,6% $SO_4$ ) + 9,9 % Ca	460	92	15	92	1,8 a 30 °C	Baixa

\*Solubilidade é dada em partes por 100 partes de água. <sup>1</sup> Níveis de solubilidade enquadrados conforme o teor de cálcio na formulação, sugeridos pelo estudo.

As fontes 09-45-00e 09-48-00 (MAP) apresentam a forma amônica de nitrogênio (N) em sua constituição apresentando a ligação molecular  $NH_4^+ - P$  ( $NH_4H_2PO_4$ ), sem a presença do elemento cálcico, enquanto que as demais contém ligações com o íon Ca, apresentando a forma molecular Ca-P [ $Ca(H_2PO_4)_2$ ].

O coeficiente de solubilidade (ANEXO B) está diretamente relacionado aos teores cálcicos da fonte fosfatada e a estrutura molecular dos fertilizantes, em que a presença do elemento Ca ou  $NH_4^+$  induz à redução/aumento da solubilidade dos fertilizantes (Trenkel, 1997; Deith et al., 2005), também como no produto das reações do P no solo (Chien et al., 2011). Da mesma forma, a mistura de matérias primas ricas em Ca e magnésio (Mg) com fontes de P solúveis (fosfato monocálcico) podem resultar na insolubilização do P (Queiroz, 2006). Assim, as fontes foram classificadas em três níveis conforme suas características moleculares: alta solubilidade (fontes 09-45-00 e 09-48-00), média solubilidade (fontes 08-40-00 + 3,4 % Ca e 07-37-06 + 1,4 % Ca) e baixa solubilidade (fontes 0-20-20 + 9,9 % Ca e 02-20-18 + 9,9 %), conforme o conteúdo cálcico em suas formulações (Figura 2).

$Ca^{2+}$

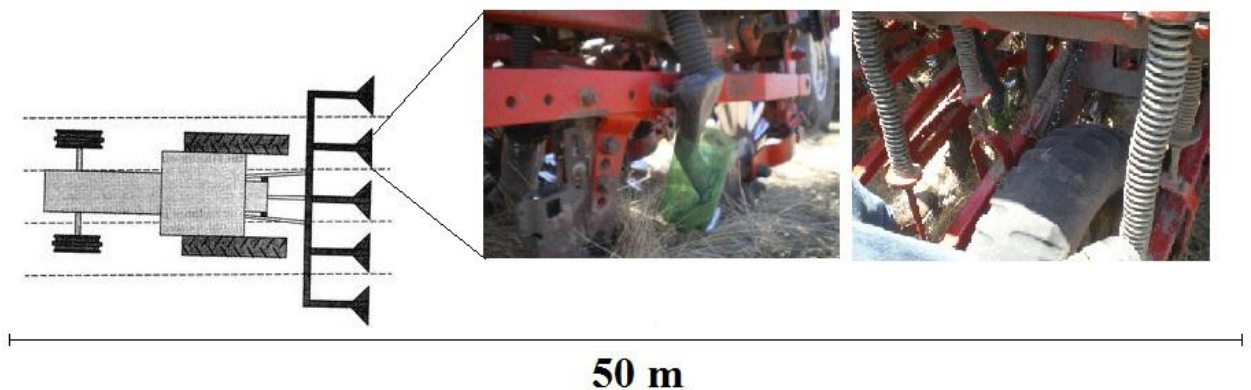


**Figura 2. Gradiente de solubilidade do fertilizante em função do conteúdo cálcico. Na medida em que aumenta os teores de Ca na formulação, a solubilidade é reduzida.**

O fertilizante potássico variou sua dose conforme as formulações, sendo complementado com aplicação de cloreto de potássio em cobertura no 15º dia após a emergência das plântulas. O N e o enxofre (S) tiveram doses diferentes em função das fontes utilizadas.

As parcelas possuíam 3,6 x 13 m, totalizando 46,8 m<sup>2</sup>. Na semeadura utilizou-se uma área adjacente da parcela, visando o funcionamento e estabilização do sistema de distribuição da máquina. Os fertilizantes foram aplicados na profundidade de 0,10 m, em uma semeadora da marca Semeato, modelo PSE 8 equipada com o sistema tipo haste sulcadora com espaçamento de 0,45, e sistema de distribuição tipo rotor dentado.

Para fazer a regulagem da máquina para a fertilização no sulco, o conteúdo fertilizante de cada linha foi coletado independentemente e pesado depois de percorridos 50 metros (Figura 3). Ajustes foram feitos até se alcançar a dose desejada do tratamento. Para cada regulagem de dose fertilizante a operação foi repetida no mínimo seis vezes.



**Figura 3. Esquema demonstrativo da regulagem da máquina.**

O Quadro 3 expressa a variabilidade dos dados coletados por linha de semeadura após regulagem e por tratamento fertilizante, considerando também o comprimento da parcela (13 m).

**Quadro 3. Variabilidade e ajuste das doses de fertilizante (NPK) por linha de semeadura e tratamento fertilizante**

Linhas de semeadura	09-45-00	08-40-00	07-37-06	09-48-00*	0-20-20
	----- (g) -----				
1	463	507	537	387	1022
2	472	501	557	412	1058
3	464	505	568	382	1021
4	480	500	570	387	909
5	470	537	550	329	1224
6	417	495	520	366	1027
7	485	500	585	428	936
8	453	514	615	392	1060
Mín.	417	495	520	329	909
Máx.	485	537	615	428	1224
Méd. (50 m)	463,0	507,0	562,8	385,4	1032,1
Dose desejada linha <sup>-1</sup> (50 m)	450	517	560	382	1035
Méd. (13 m)	120	132	146	100	268
Dose desejada linha <sup>-1</sup> (13 m)	117	134	145	99	269
Erro (%)	2,9	1,9	0,5	0,9	0,3

\*MAP – fosfato monoamônico.

A fonte genética utilizada no estudo foi a variedade BMX Força RR, a qual apresenta adaptação na região, sendo enquadrada no zoneamento de Macrorregião Sojícola 1 : RS, SC, Sudoeste/Sul do Paraná (Kaster & Farias, 2002), semeada com espaçamento de 0,45 m entre linhas, e estande final de 250 mil plantas ha<sup>-1</sup>.

Segundo a escala fenológica sugerida por Costa & Marchezan (1982), no pleno florescimento (estádio R2) foi realizada a coleta de folhas para análise química, sendo que em cada parcela foram coletados 10 trifólios, acondicionados em sacos de papel e levados à estufa a uma temperatura de 65°C, até peso constante. Seguindo a metodologia proposta por Sfredo (2008) os trifólios foram coletados sem o pecíolo, sendo o 4º trifólio a partir do ápice de cada planta.

Para a análise de matéria seca foram coletadas cinco plantas contínuas na mesma linha de semeadura por parcela, respeitando a variação existente entre plantas. Estas coletas foram realizadas nas quatro linhas centrais descartando-se as quatro linhas periféricas da parcela.

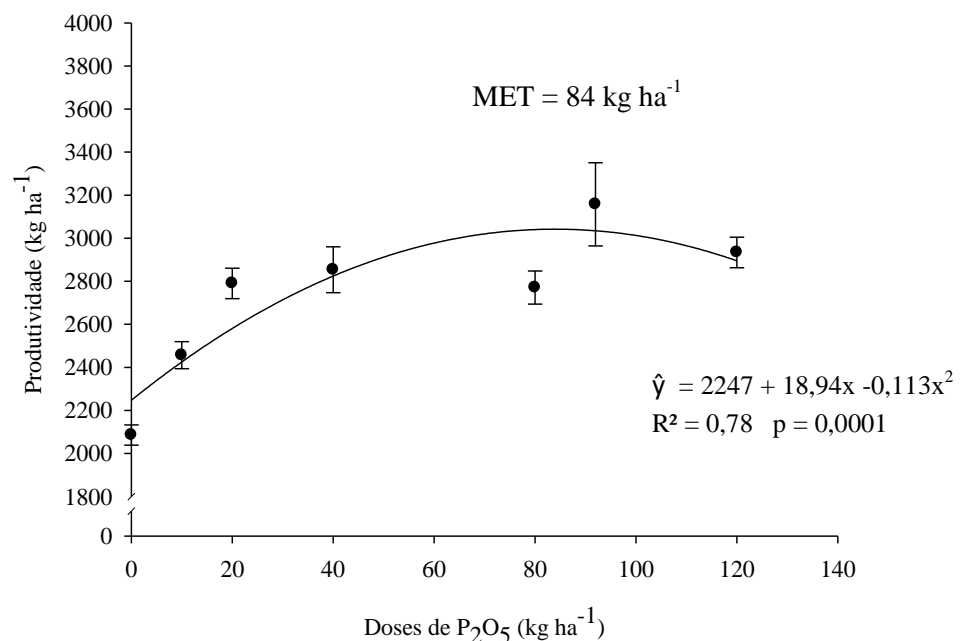
Na colheita, foram utilizadas as cinco linhas centrais e dois metros lineares de cada linha (área útil do experimento), totalizando uma área de 4,5 m<sup>2</sup>, o que representa 10,1% do

total da parcela. As linhas externas de cada parcela foram descartadas como bordadura. Posteriormente foi realizada a debulha do material coletado, a conversão em  $\text{kg ha}^{-1}$  e o ajuste da umidade para 13%.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo programa SISVAR 5.0, (Ferreira, 2010) utilizando o teste de Tukey a 5% de significância. O procedimento da análise de regressão foi realizado pelo programa JMP IN® Version 3.2.1 (Sall et al., 2005), utilizando o teste F a 5% de significância.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve resposta à fertilização fostatada mesmo em um solo com teor alto de P, conforme interpretação proposta pela CQFS-RS/SC (2004). A MET foi encontrada próxima aos  $84 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Figura 4), atingindo a produtividade de  $3041 \text{ kg ha}^{-1}$  de grãos (safra 2011/2012), o qual indica um ganho de 46 % em relação à testemunha. A MEE foi atingida com a dose de  $63 \text{ kg ha}^{-1}$  (simulação para o ano de 2011) e  $87 \text{ kg ha}^{-1}$  (ano de 2012). Desta forma, a dose nivelada em  $92 \text{ kg ha}^{-1}$  (padrão do experimento) foi adequada, a fim de que não haja interferência do fator dose de fertilizante, sendo expresso somente nos resultados a diferença entre as características das fontes.



**Figura 4. Curva de resposta da produtividade da soja às doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  sobre manejo de fertilização a lanço.**

A partir dos dados apresentados verifica-se que os níveis críticos estabelecidos estão acima daqueles propostos pela CQFS-RS/SC (2004), para a obtenção de 90 % da MET. Segundo sua recomendação a dose a ser aplicada em um solo com teor alto de P na profundidade de 0-0,10 m é de 45 kg ha<sup>-1</sup> cultivo<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sendo 30 kg ha<sup>-1</sup> cultivo<sup>-1</sup> a menos do que a MEE média encontrada entre os anos 2011 e 2012 no presente estudo. Nestas condições há uma perda do potencial produtivo da área ocasionada pela reduzida fertilização.

Ao analisar os teores de P no solo considerando-se diferentes profundidades de amostragem, nota-se interpretações distintas quanto ao nível de disponibilidade de P. A interpretação para o teor de 23,5 mg dm<sup>-3</sup>, encontrado na camada de 0-0,10 m, é de alta disponibilidade do elemento no solo (CQFS-RS/SC, 2004), enquanto que o teor de 14,5 mg dm<sup>-3</sup>, considerando-se a camada de 0-0,20 m, é considerado de médio/baixo disponibilidade de P no solo, seguindo a mesma classificação (Quadro 4).

**Quadro 4. Interpretação dos teores de P no solo considerando-se diferentes amostragens, na profundidade de 0-0,10 e 0-0,20 m**

Profundidade	Teor de P no Solo	Argila	Classe textural	Interpretação*
--- m ---	mg dm <sup>-3</sup>	-- % --		
0-0,10	23,5	15,8	4	Alto
0-0,20	14,5	18,6	4	Médio/Baixo

\*Interpretação do teor de P no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila (CQFS-RS/SC,2004).

A variabilidade vertical dos teores de P observada (Quadro 1) e a distinta interpretação dos níveis de disponibilidade do elemento no solo (Quadro 4) sugerem ajustes nos valores críticos e/ou na metodologia de coleta do solo para o diagnóstico da fertilização fosfatada. Para Schlindwein & Gianello (2008), estudando a calibração de métodos de determinação de P em culturas sob SSD, as doses do fertilizante para as culturas de soja e milho devem ser maiores que as atualmente recomendadas para a produção de 90 % do rendimento máximo, havendo desta forma a elevação dos teores críticos. Também, Cubilla et al. (2007) ressalta a necessidade de um ajuste nos teores críticos atribuídos à fertilização, devido ao aumento das concentrações superficiais 0-0,10 m e ao incremento em produtividade das culturas.

Por outro lado, Silveira & Stone (2002), estudando o ajuste da profundidade de amostragens de solo para o SSD, constataram que para o P, a profundidade de amostragem no SSD que teve o mesmo valor de disponibilidade do elemento no sistema convencional foi a de 0,10-0,20 m, justificando-se o ajuste da atual profundidade de amostra para SSD.

Em outro estudo, Schlindwein & Anghinoni (2000), trabalhando em experimentos de longa duração (10 a 19 anos), verificaram que o ajuste de profundidade de amostragem, para fins de recomendação de P no SSD, é justificado quando o solo apresenta teores desses nutrientes abaixo dos níveis críticos na profundidade de 0-0,20 m. Quando os teores estiverem acima dos teores críticos, a amostragem em qualquer profundidade até 0,20 m não altera as recomendações de adubação. Nestas condições, não haveria a necessidade de estabelecer novas tabelas de recomendação de fertilizantes fosfatados (Pöttker, 2001). Assim, o ajuste da profundidade de amostragem deve levar em consideração a variação vertical existente no solo, existente no presente estudo.

As variáveis matéria seca, produtividade de grãos e teor de N, potássio (K), Ca e Mg no tecido foliar apresentaram interação significativa entre modos de aplicação e níveis de solubilidade. A variável teor de P no tecido foliar apenas apresentou significância para os modos de aplicação. O teor foliar de S não apresentou significância para os parâmetros estudados (Quadro 5 ANOVA).

**Quadro 5. Análise de variância da produção de matéria seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e teores foliares dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) ( $\% \text{m m}^{-1}$ ) em razão do modo de aplicação e níveis de solubilidade das fontes de fertilizantes fosfatados**

Causas de Variação	Teste F							
	MS	Produtividade	Análise Foliar					
			N	P	K	Ca	Mg	S
Modos de Aplicação (M)	ns	ns	Ns	*	*	*	ns	ns
CV (%)	24,48	12,33	6,49	11,48	25,32	14,61	16,00	11,43
Solubilidade (S)	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
Interação M x S	*	*	*	ns	*	*	*	ns
CV (%)	18,18	8,74	5,26	10,48	19,87	11,03	13,75	11,26

ns: não significativo, \*: significativo a 5 %.

As fontes de alta solubilidade ( $2963 \text{ kg ha}^{-1}$ ) apresentaram em média uma produtividade 11 % maior comparadas com as fontes de baixa solubilidade ( $2674 \text{ kg ha}^{-1}$ ), onde as fontes de média solubilidade apresentaram um nível intermediário de produtividade ( $2880 \text{ kg ha}^{-1}$ ), seguindo o gradiente de solubilidade proposto (Quadro 6). Analisando os diferentes níveis de solubilidade inseridos nos modos de aplicação verifica-se que apesar do

manejo em sulco não apresentar diferença estatística, no manejo a lanço os fertilizantes de alta solubilidade apresentaram melhor resposta estatisticamente em produtividade de grãos (14 %), comparados com os de baixa solubilidade. Estes dados estão de acordo com Motomiya (2004) e Chien et al. (2011), em que comportamentos distintos na produtividade de grãos podem ocorrer dependendo do manejo e da fonte utilizada. Nessas condições, nota-se que no manejo a lanço, as fontes de alta solubilidade são mais adequadas para a produção de grãos, não diferindo do manejo no sulco de semeadura para o mesmo nível.

Sendo assim, para cada kg de  $P_2O_5$  aplicado através de fontes de alta solubilidade converteu-se em média em 32 kg de soja  $ha^{-1}$ , sendo que ao se utilizar fontes de baixa solubilidade, para cada kg de  $P_2O_5$  aplicado converteu-se em 29 kg de soja  $ha^{-1}$ . Analisando-se por manejos, verifica-se que no manejo a lanço esta diferença é maior, onde a cada kg de  $P_2O_5$  aplicado através de fontes de alta solubilidade converteu-se em 33 kg de soja e em fontes de baixa solubilidade a cada kg de  $P_2O_5$  aplicado converteu-se em 29 kg de soja (Quadro 6).

**Quadro 6. Produtividade da soja ( $kg\ ha^{-1}$ ) e matéria seca ( $kg\ ha^{-1}$ ) em função da interação solubilidade de fontes fosfatadas fertilizantes x modo de aplicação<sup>(1)</sup>**

Modos de Aplicação	Solubilidade			Média
	SA	SM	SB	
	Produtividade ( $kg\ ha^{-1}$ )			
Sulco	2867,9 Aa	2946,4 Aa	2674,8 Aa	2829,7 A
Lanço	3058,7 Aa	2812,9 Aab	2673,3 Ab	2848,3 A
Média	2963,32 a	2879,65 ab	2674,06 b	
	Matéria Seca ( $kg\ ha^{-1}$ )			
Sulco	6723,2 Aab	7947,4 Aa	6161,9 Ab	6944,2 A
Lanço	7539,9 Aa	6356,0 Ba	6105,4 Aa	6667,1 A
Média	7131,5 A	7151,7 A	6133,7 A	

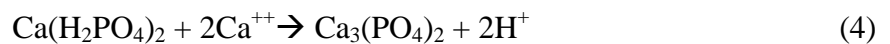
<sup>(1)</sup>Médias com letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. SA – Alta solubilidade; SM- Média solubilidade; SB- Baixa solubilidade.

Ao realizarmos uma análise econômica, com base no manejo a lanço (Quadro 6) e utilizando-se como referência o preço médio da soja no ano de 2012 (US\$ 1,06  $kg^{-1}$ ), verifica-se que a diferença em produtividade entre os fertilizantes de alta e baixa solubilidade (385  $kg\ ha^{-1}$ ) representa aproximadamente US\$ 408,52  $ha^{-1}$ , cerca de R\$ 833,38  $ha^{-1}$ . Com base nos

dados econômicos fornecidos pela Conab (2013), o custo de produção da soja para a safra de 2012/2013 (considerando insumos, operações agrícolas, custo operacional, custo de oportunidade, entre outros) é de U\$ 712,24 ha<sup>-1</sup>. Desta forma, o acréscimo no retorno econômico proporcionado pela utilização da fonte de alta solubilidade a lanço, corresponde a 43 % do custo de produção da soja (safra 2011/2012).

De forma semelhante, porém, se analisarmos os modos de aplicação inseridos nos níveis de solubilidade, apesar de não demonstrar diferença estatística entre formas de manejo e níveis de solubilidade, fertilizantes de alta solubilidade apresentaram aproximadamente 7 % a mais em produtividade com a fertilização a lanço (191 kg ha<sup>-1</sup>). Em termos econômicos, este acréscimo representa um retorno econômico de U\$ 202,46 ha<sup>-1</sup>, cerca de R\$ 413,02 ha<sup>-1</sup>.

Em SSD, o manejo superficial propicia o acúmulo de nutrientes na superfície do solo (Eltz et al., 1989; Amado et al., 2006), onde com a prática da calagem sem incorporação há acúmulo de íons Ca em superfície (Amaral & Anghinoni, 2001). O aumento da concentração destes íons Ca, sob ambiente neutro a alcalino, podem ocasionar reações com o íon fosfatado (Equação 4), o qual originam compostos de pouca solubilidade (Catani & Pellegrino, 1960; Chien, 1993; Hinsinger, 2001; Chien et al., 2011), ou interferir na dissociação do fosfato monocalcico (Equação 5).



O acúmulo de Ca em superfície sob SSD foi observado por Amaral & Anghinoni (2001), onde a calagem com calcário sem incorporação proporcionou expressivo aumento dos teores na camada de 0,01 m, com pH próximo a 7, o qual se diferenciou dos tratamentos com incorporação até os 0,02-0,03 m. Segundo Sousa & Volk-weiss (1987), cerca de 25 % do P aplicado através de fontes ricas em fosfato monocalcico é insolubilizado na região do grânulo como fosfato bicalcico. Este pode ter sido o motivo da perda de eficiência da fertilização por fontes de baixa solubilidade neste estudo (teor de Ca no solo na camada de 0-0,10 m de 7,8 cmol dm<sup>-3</sup>, em que teores > 4 cmol dm<sup>-3</sup> são interpretados como ‘‘alto’’ conforme CQFS-RS/SC, 2004), de maneira que resíduos dos materiais fertilizantes foram encontrados em superfície durante todo ciclo da cultura.

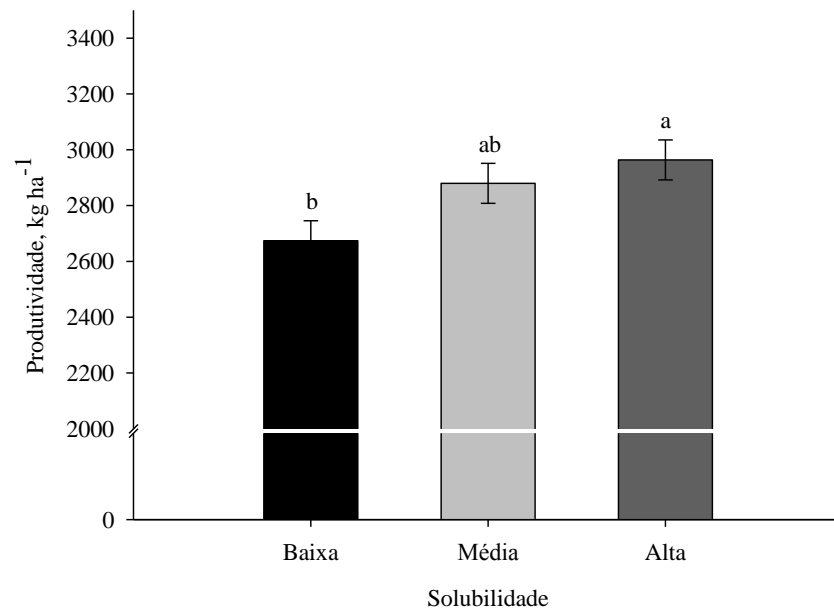
O melhor desempenho das fontes de alta solubilidade poderia estar ligado à estrutura molecular do fertilizante, o qual na ausência do elemento calcico e presença da estrutura



$\text{NH}_4^+\text{-P}$ , estariam atuando como fatores que interferem na solubilidade do fertilizante aumentando assim sua solubilização e o fluxo difuso no solo para as raízes das plantas sob condições diversas de umidade e temperatura. De acordo com Costa et al. (2009), estudando a difusão do P sob diferentes solos, fontes de P e umidades volumétricas dos solos, o fluxo difusivo aumentou com a diminuição do teor de argila dos solos e com o maior conteúdo de água, onde a fonte  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (MAP) favoreceu uma maior difusão, comparado a outras fontes como fosfato de potássio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), e o menor fluxo obtido, com o fosfato monocálcico  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ . Para isso, Oliveira et al. (2004) sugerem um efeito complexante entre o amônio e o P, formando um par iônico, o qual favoreceria o deslocamento no solo. Desta forma, o cátion acompanhante do ânion interferiu no processo difusivo de P no solo, corroborando com Lewis & Quirk (1967).

Nos primeiros estádios de desenvolvimento da cultura foi observado um déficit hídrico, o qual persistiu até início do estágio reprodutivo (Figura 1). O fator umidade do solo, também citado por Costa et al. (2009) aparece neste caso como determinante na solubilização e difusão do P. Assim, fontes de alta solubilidade apresentam maior capacidade de solubilização em condições de restrita umidade volumétrica do solo. De acordo com os dados apresentados, Sousa & Lobato (2003) estudando o comportamento da adubação fosfatada em solos do Cerrado verificaram que a aplicação superficial de fontes superfosfatadas, de menor solubilidade comparada às amônicas, limitou sua absorção quando reduziu a umidade do solo na superfície, nos períodos de estiagem, cessando sua absorção.

Além disso, a rápida solubilização e disponibilização do elemento fosfatado nos estádios iniciais do desenvolvimento da soja são de fundamental importância para elevadas produtividades. A deficiência hídrica observada pode ter comprometido a suplementação mineral nos estádios iniciais de maior demanda de P. Grant et al.(2001) fazendo uma revisão em diversos trabalhos, envolvendo diversas espécies vegetais, afirmam que a principal fase crítica na exigência nutricional de P é a inicial, sendo que as limitações em estágios mais tardios apresentam menor impacto na produção final das culturas. Apesar de todas as fontes testadas apresentarem grande capacidade total de solubilização (CNA – citrato neutro de amônia +  $\text{H}_2\text{O}$ ), a rápida solubilização e suplementação mineral de P nos estádios iniciais da soja podem impactar diretamente na produtividade final da cultura (Figura 5).



**Figura 5. Produtividade de soja em função dos níveis de solubilidade. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).**

Quanto à matéria seca foi observada interação significativa entre os modos de aplicação e os níveis de solubilidade (Quadro 6). Ao analisarmos os modos de aplicação inseridos nos níveis de solubilidade, verifica-se que na aplicação no sulco de semeadura, as fontes de média solubilidade apresentaram maior produção de massa seca ( $7947,4 \text{ kg ha}^{-1}$ ), diferindo estatisticamente das fontes de baixa solubilidade ( $6161,9 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Da mesma forma, quando analisamos os níveis de solubilidade inseridos nos modos de aplicação, observamos que os fertilizantes de média solubilidade apresentaram maior produção de massa seca quando aplicados no sulco de semeadura ( $7947,4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) do que quando aplicados a lanço ( $6356,0 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Quadro 6).

A variabilidade observada (Quadro 6) em relação à massa de matéria seca produzida não relaciona com a produtividade de grãos, o que leva a concluir que não tenha sido este o fator determinante para a produtividade final de grãos. Segundo Thomas & Costa (2010) a matéria seca produzida está relacionada principalmente com a extração dos nutrientes pela soja. Porém, fatores como precipitação, temperatura, e demais condições químicas e físicas do solo também são fatores que influenciam a sua produção.

Os teores foliares de N, K, Ca e Mg apresentaram interação significativa para modo de aplicação e níveis de solubilidade. Já os teores foliares de P somente apresentaram significância para os modos de aplicação (Quadro 7).

**Quadro 7. Análise foliar dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (%m m<sup>-1</sup>) em função da interação fontes fosfatadas fertilizantes x modo de aplicação<sup>(1)</sup>**

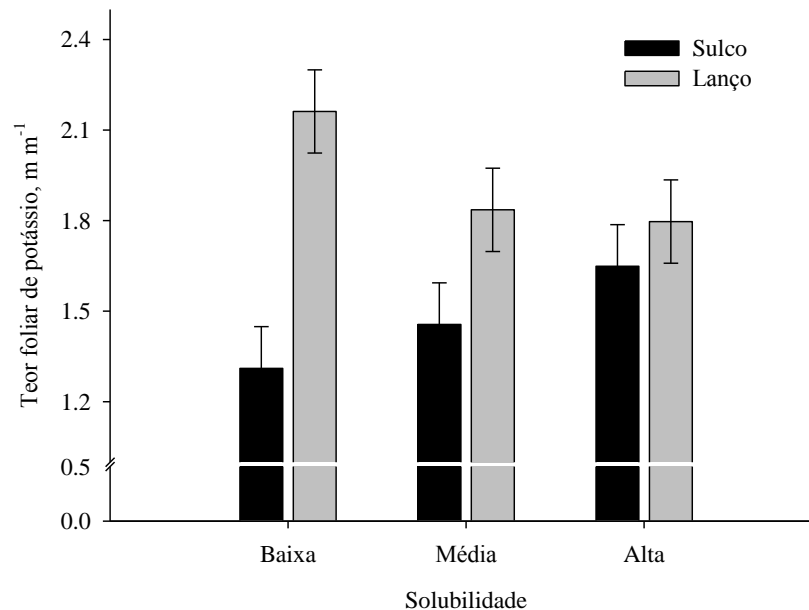
Modos de Aplicação	Solubilidade			Média
	SA	SM	SB	
	Nitrogênio %(m/m)			
Sulco	4,159 Aa	4,130 Aa	4,235 Aa	4,175 A
Lanço	3,812 Bb	4,153 Aa	4,225 Aa	4,063 A
Média	3,986 b	4,142 ab	4,229 a	
	Fósforo %(m/m)			
Sulco	0,544 Aa	0,497 Aa	0,506 Aa	0,515 A
Lanço	0,508 Aa	0,497 Aa	0,462 Aa	0,479 B
Média	0,526 a	0,482 a	0,484 a	
	Potássio %(m/m)			
Sulco	1,649 Aa	1,456 Aa	1,311 Ba	1,472 B
Lanço	1,797 Aa	1,836 Aa	2,162 Aa	1,932 A
Média	1,723 a	1,646 a	1,736 a	
	Cálcio %(m/m)			
Sulco	1,007 Ba	1,097 Ba	1,091 Aa	1,065 B
Lanço	1,265 Aa	1,272 Aa	1,063 Ab	1,200 A
Média	1,136 A	1,184 A	1,077 A	
	Magnésio %(m/m)			
Sulco	0,508 Aa	0,469 Aa	0,485 Aa	0,487 A
Lanço	0,560 Aa	0,535 Aab	0,444 Ab	0,513 A
Média	0,533 A	0,502 A	0,465 A	

<sup>(1)</sup>Médias com letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. SA – Alta solubilidade; SM- Média solubilidade; SB- Baixa solubilidade.

Analisando-se a interação dos teores foliares de N (Quadro 7), nota-se que na média dos níveis de solubilidade, as fontes de baixa solubilidade proporcionaram maiores teores foliares deste elemento. A mesma observação é feita ao analisarmos os níveis de solubilidade dentro do manejo a lanço, os quais em fontes de alta solubilidade observam-se os menores teores foliares de N.

Ao observarmos os teores foliares de Ca e Mg (Quadro 7), nota-se uma similaridade quanto ao modo de aplicação e níveis de solubilidade. Os maiores teores foliares destes elementos são observados no manejo a lanço (média 1,200 e 0,513 % m m<sup>-1</sup> de Ca e Mg, respectivamente) nas fontes de alta/média solubilidade, contrastando com os menores teores no manejo no sulco de semeadura e fontes de baixa solubilidade. A provável causa deste efeito pode estar ligada à alta concentração do elemento potássico nos tratamentos no sulco de semeadura, gerando grande competição pelos sítios de ligação no solo. Sendo assim, altas concentrações de K no solo podem interferir na absorção de Ca e Mg pelas plantas, ou vice-versa (Lima et al., 2001; Andreotti et al., 2000).

Como consta na metodologia, as fontes de média e baixa solubilidade são formulados que contém a fonte cloreto de potássio (KCl). Neles a concentração de K<sub>2</sub>O é variável dependente da formulação. Desta forma, nos tratamentos com fertilização no sulco de semeadura (Figura 6) a alta concentração da fertilização potássica (92 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) pode ter ocasionado um efeito salino nas sementes e plântulas, prejudicando a absorção deste nutriente, corroborando com Guareschi et al. (2008), de forma a prejudicar o desenvolvimento inicial e a absorção do nutriente pelas plantas. De acordo com Kluthcouski (1999), doses maiores que 30-40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O seriam suficientes para desencadear o efeito salino nas plantas. Contudo foi verificado que a utilização da fertilização a lanço pode contribuir para a redução destes efeitos competitivos entre íons no solo e possível efeito salino pelo fertilizante potássico (Costa et al., 2009).



**Figura 6. Teores foliares de potássio na soja sob diferentes níveis de solubilidade e modos de aplicação, submetidos ao teste Tukey ( $p < 0,05$ ).**

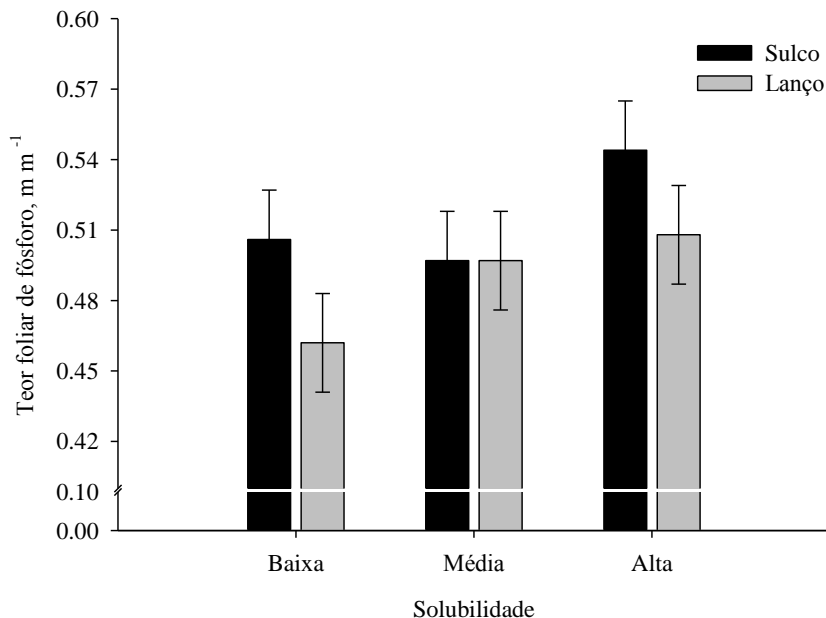
A aplicação no sulco de semeadura favoreceu o aumento dos teores de P na soja em média 8 % de forma que este comportamento foi observado em dois, dos três níveis de solubilidade testados (Figura 7). Resultados semelhantes foram encontrados por Moterle et al., (2009) estudando a aplicação de fontes fertilizantes sob diferentes profundidades, dentre elas o manejo superficial e a alocação a 0,07 m de profundidade, apresentando esta última a maior concentração de P foliar. Também Motomiya (2004) analisando os teores de P nas folhas sob diferentes manejos fertilizantes encontrou que, nos tratamentos a lanço, os teores foliares foram significativamente inferiores aos decorrentes da aplicação no sulco de semeadura.

Apesar de não apresentar diferença estatística (Quadro 7) e os teores foliares de P se enquadrarem dentro dos teores de suficiência do elemento para as plantas, situado entre 0,25 a 0,5 % ( $m\ m^{-1}$ ) (Ambrosano et al., 1996; Embrapa, 2006; CFQS-RS/CS, 2004; Malavolta et al., 1997), os teores foliares de P na média dos tratamentos de alta solubilidade (fontes que contém a forma amônica  $NH_4^+$ ) apresentaram grande incremento (9 %) sob os outros níveis de solubilidade, o que indica melhor nutrição das plantas em P por fontes de alta solubilidade.

Segundo Riley & Barber (1971), em estudo testando duas fontes nitrogenadas na soja, sugerem que a fonte contendo  $NH_4^+$  ocasiona um efeito acidificante na região da rizosfera da planta, devido a uma maior absorção de cátions do que de ânions, processo característico de

plantas que são nutridas com  $\text{NH}_4^+$ . Como consequência das diferentes taxas de absorção de cátions e ânions o pH da solução externa é fortemente afetado (Yamada, 2002), aumentando a disponibilidade e absorção de P.

O efeito de maior absorção de P se deve provavelmente pela ação dos íons  $\text{H}^+$ , que proporcionam um aumento da biodisponibilidade de P pelo aumento da solubilidade dos fosfatos de cálcio, com a diminuição do pH (Hinsinger, 2001; Chien et al., 2011). Além disso, Yamada (2002) aborda o possível efeito da fertilização com KCl a qual propiciaria a diminuição da taxa de nitrificação do amônio, ou seja, é possível que pela ação do ânion cloreto o N permaneça por mais tempo na forma amoniacal atuando no solo, elevando-se assim seu efeito residual.



**Figura 7. Teores foliares de fósforo na soja sob diferentes níveis de solubilidade e modos de aplicação, submetidos ao teste Tukey ( $p < 0,05$ ).**

O satisfatório teor de P no tecido foliar de tratamentos com fontes de média/baixa solubilidade não repercutiram em maior ganho na produtividade de grãos. Novamente Grant et al. (2001,2005) sugerem que, a absorção de P após o período de crescimento das plantas aumentam a concentração do elemento no tecido, mas não influenciam na produção de matéria seca e grãos. Esta constatação poderia explicar os casos de alta concentração de P foliar em tratamentos de menor produtividade tendo em vista os reduzidos índices pluviométricos no início do desenvolvimento da cultura com posterior regularização das

precipitações (Figura 1), interferindo nos processos de solubilização do fertilizante e absorção pelas plantas.

## CONCLUSÃO

1. As variáveis matéria seca, produtividade de grãos e teor de N, K, Ca e Mg no tecido foliar apresentaram interação entre modos de aplicação e níveis de solubilidade.
2. Fertilizantes fosfatados contendo em sua estrutura molecular  $\text{NH}_4^+\text{-P}$  apresentaram maior eficiência quando utilizados em superfície (a lanço), enquanto outros fertilizantes contendo estrutura Ca-P, como os superfosfatados, obtiveram melhor eficiência quando utilizados no sulco de semeadura.
3. A fertilização fosfatada no sulco de semeadura proporcionou maiores teores foliares de P, onde fontes com estrutura molécula  $\text{NH}_4^+\text{-P}$  apresentam maior eficiência em suprir as plantas em P. Por outro lado, na fertilização potássica, a maior nutrição foi obtida quando o manejo foi a lanço.
4. Mais estudos deverão ser realizados, em maior escala de tempo, sendo enfocada a variabilidade existente entre fontes fosfatadas solúveis e os produtos das reações no solo.

## LITERATURA CITADA

- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B.-H.; VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in Southern Brazil. *J. Environ. Qual.*, 35:1599-1607, 2006.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:695-702, 2001.
- AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. & CANTARELLA, H. Leguminosas e Oleaginosas. In: RAIJ, B. van et al. (eds.). *Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo*, 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. p.187-203.

- ANDREOTTI, M.; SOUZA, E. C. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; RODRIGUES, J. D.; BULL, L. T. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação por bases e da adubação potássica. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:2437-2446, 2000.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Plantio direto. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plantio-direto>>. Acesso em: 20 dez. 2012.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil. Levantamento de Recursos Naturais, Rio de Janeiro: DNPV, 1983. 764 p. v.31.
- BREVILIERI, R. C. Adubação fosfatada na cultura da soja em Latossolo Vermelho cultivado há 16 anos sob diferentes sistemas de manejo. Campo Grande, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2012. 52p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal)
- CATANI, R. A. & PELLEGRINO, D. Avaliação da capacidade de fixação de fósforo pelo solo. *Anais da E. S. A. Luiz de Queiroz*, 1960.
- CERETTA, C.A; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1997. Cap.7, p.111-120.
- CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; TU, S.; SNYDER, C. S. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 89:229–255, 2011.
- CHIEN, S.H. Solubility assessment for fertilizer containing phosphate rock. *Fert. Res.*, 35: 93–99, 1993.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre, Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
- CONAB. Balanço comercial do agronegócio. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=547&t=>>> . Acesso em: fev. 2013.
- COSTA, J. A.; MARCHEZAN, E. Características dos estádios de desenvolvimento da soja. Campinas: Fundação Cargill, 1982. 30p.
- COSTA, J. P. V.; BASTOS, A. L.; REIS, L. S.; MARTINS, G. O.; SANTOS, A. F. Difusão de fósforo em solos de Alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. *R. Ca.* 22:229-235, 2009.
- COSTA, S. E. V. G. A. et al. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. *R. Bras. Ci. Solo.* 33:1291-1301, 2009.



- CUBILLA, M. M. et al. Calibração visando à fertilização com fósforo para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:463-1474, 2007.
- DEITH, L. G. et al. Soil and fertilizer sources of plant nutrients. *Management of Wisconsin Soils A3588*, Fifth Edition, chapter 9, 2005, p. 87.
- ELTZ, F.L.F et al. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:259-267, 1989.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- FARIAS, J. R. B. et al. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. *R. Bras. De Agrometeorologia*,9:415-421, 2001.
- FERREIRA, D. F. Sisvar versão 5.3 (Biud 75). Sistemas de análises de variância para dados balanceados: programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos. Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras, 2010.
- GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. The importance of early season phosphorus nutrition. *Canadian Journal of Plant Science*,81:211-224,2001.
- GRANT, C.; BITTMAN, S.; MONTREAL, M.; PLENCHETTE, C.; MOREL, C. Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. *Canadian Journal of Plant Science*,85:3-14, 2005.
- GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; SOUCHIE, E. L.; ROCHA, A. C. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado. *Semina: Ciências Agrárias*, 29:769-774, 2008.
- GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; SANTINI, J. M. K. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. *Ci. Agrotec.*, 35:643-648, 2011.
- HEDLEY, M.; MCLAUGHLIN, M. Reactions of phosphate fertilizers and by-products in soils. In: SIMS, J.T., SHARPLEY, A.N. (ed) *Phosphorus: agriculture and the environment*. Agronomy Monograph n<sup>o</sup> 46, ASA-CSSA-SSSA, Madison, 2005. P. 181-252.
- HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and Soil*, 237:173-195, 2001.
- KASTER, M. & FARIAS, J. R. B. Regionalização dos testes de valor de cultivo e uso e da indicação de cultivares de soja (Resumo). Embrapa Soja, Londrina, PR. 2002.
- KLUTHCOUSKI, J. Efeito salino, causado por fertilizantes, no sistema de plantio direto sobre as culturas do feijão, soja e arroz. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA

- DE FEIJÃO (1999: Salvador). Resumos. Salvador: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p.797-800.
- LANA, R. M. Q.; VILELA FILHO, C. E.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; PEREIRA, H. S.; LANA, A. M. Q. Adubação superficial com fósforo e potássio para a soja em diferentes épocas em pré-semeadura na instalação do plantio direto. *Sci. Agric.*, 4:53-60, 2003.
- LEWIS, D. G.; QUIRK, J. P. Phosphate diffusion in soil and uptake by plants. *Plant and soil* XXVI, 1:99-118, 1967.
- LIMA, E. V.; ARAGÃO, C. A.; MORAIS, O. M.; TANAKA, R.; FILHO, H. G. Adubação NK no desenvolvimento e na concentração de macronutrientes no florescimento do feijoeiro. *Sci. Agric.*, 58:125-129, 2001.
- LU, D. Q.; CHIEN, S. H.; HENAO, J.; SOMPONGSE, D. Evaluation of short-term efficiency of diammonium phosphate versus urea plus single superphosphate on a calcareous soil. *Agron J.* 79:896-900, 1987.
- MALAVOLTA, E. O fósforo na agricultura brasileira. In: IPT. Tecnologia de fertilizantes fosfatados. São Paulo, publicação especial, 1980. p. 189-206.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T.; Estimativa do consume relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. *R. Ci. Rural*,33:1013-1019, 2003.
- MCAULEY, A.; JONES, C.; JACOBSEN, J. Commercial fertilizers and soil amendments. In: Nutrient Management Module N<sup>o</sup>.10. Nutrient Manegement a self-study course from MSU Extension Continuing Education Series. Montana State University, 2009. p. 4449-2.
- MOTERLE, L. M. et al. Influência da adubação com fósforo e potássio na emergência das plântulas e produtividade da cultura da soja. *R. Ci. Agron.*, 40:256-265, 2009.
- MOTOMIYA, W.R. et al. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. *Pesq. Agrop. Bras.*,39:307-312, 2004.
- NUNES, R.S. Distribuição do fósforo no solo sob dois sistemas de cultivo e diferentes manejos da adubação fosfatada. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2010, 88 p. (Dissertação de Mestrado)
- OLIVEIRA, E. M. M.; RUIZ, H. A.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ, V. H.; JÚNIOR, J.C . F. B.; Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão de fosfato, potássio e amônio em solos de Minas Gerais. *Rev. Bras. de Eng. Agrícola e Ambiental*, 8:196-203, 2004.
- PAULETTI, V. et al. Yield response to fertilization strategies in no-tillage soybean, corn and common bean crops. *Braz. arch. biol. technol*,53:563-574, 2010.

- PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. *Ci. Rural*, 34:1779-1784, 2004.
- PÖTTKER, D. Resposta da soja e do trigo a fósforo no sistema plantio direto. *Rev. Plantio direto*, Ed., 2001.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; ROQUE, C.G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:85-92, 2001.
- QUEIROZ, A. A. Interação do silicato de cálcio e magnésio granulado em mistura com adubos fosfatados solúveis. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2006. (Mestrado em Agronomia/Solos)
- RILEY, D.; BARBER, S. A. Effect of Ammonium and Nitrate Fertilization on Phosphorus Uptake as Related to Root-Induced pH Changes at the Root-Soil Interface. *Soil Sci. Soc. Am.* 35:301, 1971.
- SALL, J.; CREIGHTON, L.; LEHMAN, A. *JMP start statistics: a guide to statistics and data analysis using JMP and JMP IN software*. 3rd ed. Cary: Duxbury Press, 2005. 580p.
- SCHLINDWEIN, J.A. & ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. *Ci. Rural*, 30:611-617, 2000.
- SCHLINDWEIN, J.A. & GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema de plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2037-2049, 2008.
- SFREDO, G. J. Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral. In: EMBRAPA SOJA. Resultados de Pesquisa da Embrapa Soja. Embrapa Soja, Londrina PR. (Documentos, 305), 2008.
- SIACESP/FOB. Sindicato da Indústria de Adubos e Corretivos Agrícolas. Disponível em: <<http://www.siacesp.com.br/ver2/>> Acesso em fev. de 2013.
- SILVA, F. N. da; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; MAGALHÃES, C. A. S. & CARNEIRO, D. N. M. Crescimento e produção de grãos da soja sob diferentes doses e fontes de fósforo em solos distintos. *Ci. e Agrotec.*, 33:1220-1227, 2009.
- SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Profundidade de amostragem do solo sob plantio direto para avaliação de características químicas. *R. Bras.Ci. Solo*, 26:157-62, 2002.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, 102:1-16, 2003. Encarte técnico.
- SOUSA, D.M. G.; VOLKWEISS, S.J. Reação do superfosfato triplo em grânulos com solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:133-140, 1987.

- STAUFFER, M. D. & SULEWSKI, G. Fósforo- Nutriente essencial para a vida. In: Informações Agronômicas, nº102 Potafós, junho/2003.
- TEDESCO, M.J.;GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. et al.Análise de solo, plantas e outros minerais. UFRGS: Depto. de Solos. Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 1995. 174p.
- THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Desenvolvimento da planta de soja e o potencial de rendimento de grãos. In: Soja – Manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre, Editora Evangraf, 2010, 243 p.
- TRENKEL, M. E. Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. In: Improving Fertilizer Use Efficiency. Published by International Industry Association, Paris, December, 1997, 50p.
- VALADÃO JÚNIOR, D.; BERGAMIN, A.; VENTUROSOS, L.; SCHLINDWEIN, J.; CARON, B.; SCHMIDT, D. Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. Sci Agric., 9:379-365, 2008.
- WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; CUBILLA, M. M.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; LOVATO, T. Recomendação de adubação nitrogenada para trigo em sucessão ao milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. R. Bras. Ci. Solo, 31:985-994, 2007.
- YAMADA, T. Melhoria na eficiência da adubação aproveitando as interações entre os nutrientes. Informações agronômicas Potafós, nº100, dezembro/2002.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostrou que fertilizantes solúveis apresentam interações específicas no solo, onde o uso de fontes de maior solubilidade, contendo  $\text{NH}_4^+$ , apresentam satisfatória eficiência sob manejo superficial, enquanto as fontes superfosfatadas, que apresentam a forma Ca-P, obtiveram maior eficiência quando aplicadas no sulco de semeadura. A possível interferência do produto das reações entre fertilizante-solo, sob características químicas e físicas específicas do solo e ambientais, podem ser os principais fatores determinantes da eficiência na fertilização fosfatada.

Da mesma forma, foi observado a tendência de fertilizantes contendo estrutura  $\text{NH}_4^+\text{-P}$  apresentarem melhor capacidade de suprir a planta em P sob condições de restrição hídrica, devido à sua maior solubilidade e difusividade no solo. Também, em razão da necessidade da planta na nutrição inicial de P, a escolha do manejo e da fonte do fertilizante fosfatado que garantam esta suplementação, apresentam extrema importância para altos tetos produtivos.

Por fim, fertilizantes fosfatados apresentam particularidades específicas em cada fonte que devem ser consideradas. Características físicas, químicas e fisico-químicas desencadeiam reações diversas no solo conforme a umidade volumétrica, textura e mineralogia do mesmo. Assim, o produtor e a pesquisa devem estar atentos a possíveis ajustes na escolha da fonte em relação ao manejo e ao ambiente.

## REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B.-H.; VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in Southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, 35:1599-1607, 2006.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 695-702, 2001.
- AMADO, T. J. C.; SCHLEINDWEIN, J. A.; FIORIN, J. E. Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto. In: **Soja – Manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre, Editora Evangraf, 2010, 243 pág.
- BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York, John Wiley & Sons, Inc. 1984, 398p.
- BARBER, T. M. **Phosphate adsorption by mixed and reduced iron phases in static and dynamic systems**. Department of Geology, Stanford University, 2002, 124 p. Dissertação de Mestrado
- BASTOS, A.L. **Fluxo difusivo, desenvolvimento de milho e atributos do solo influenciados por doses de fósforo em solos do Estado de Alagoas**. 125f.: il. 2006. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Paraiba, Areia.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. & MARTIN-NETO, L. **Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>**. R. Bras. Ci. Solo, 24:599-607, 2000.
- BERGAMIN, A. C. ; SCHLEINDWEIN, J. A.; VENTUROSO, L.R.; VALADÃO JÚNIOR, D. D; CARON, B. O.; SCHMIDT, D. **Resposta de duas cultivares de soja à adubação a lanço e em sulco, no município de Rolim de Moura/RO**. Revista de Ciências Agrárias (Belém), v. 52, p. 155-166, 2008.
- BOATWRIGHT, G. O. & VIETS, F. G., Jr. **Phosphorus absorption during various growth stages of spring wheat and intermediate wheatgrass**. Agron. J. 58: 185–188, 1966.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Plantio direto**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plantio-direto> Acesso: Dezembro 2012.
- BREVILIERI, R. C. **Adubação fosfatada na cultura da soja em Latossolo Vermelho cultivado há 16 anos sob diferentes sistemas de manejo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 52p. 2012.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S. & AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:147-157, 2009.

CARNEIRO, R. G.; MENDES, I. C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M.; VIVALDI, L. J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 661-669, 2004.

CERETTA, C. A.; FRIES, M. R. **Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto**. In: NUERNBERG, N. J. Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Núcleo Regional Sul, 1997. Cap.7, p. 111-120

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. **Recent developments of fertilizer production and use to increase nutrient efficiency and minimize environmental impacts**. *Adv Agron* 102:261–316, 2009.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; TU, S.; SNYDER, C. S. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. **Nutr Cycl Agroecosyst**, 89:229–255, 2011.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V. Acidificação de latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1055-1064, 2002.

COLLAGHAN, P. **Simulated dispersion in a beadpack**. Magnetic Resonance Physics. University of Wellington, Victoria, 2012.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400p.

CONAB. **Balanco comercial do agronegócio**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=547&t=> . Acesso em: Fevereiro 2013.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 527-535, 2003.

COSTA, J. P. V.; BASTOS, A. L.; REIS, L. S.; MARTINS, G. O.; SANTOS, A. F. Difusão de fósforo em solos de Alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3. pp. 229-235, 2009.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA FILHO, G. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 10: 828-835,2006.

COSTA, S.E.V.G. de A. **Distribuição de fósforo, de potássio e de raízes e rendimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo**. 2008. 116p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre.

DEBARBA, L. & AMADO, T. J. C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. **R. Bras. Ci. Solo**, 21:473-480, 1997.

DEITH, L. G. et al. **Soil and fertilizer sources of plant nutrients**. Management of Wisconsin Soils A3588, Fifth Edition, chapter 9, 2005, p. 87.

ELTZ, F. L. F et al. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 259-267, 1989.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Plantio direto reduz efeitos da degradação do solo**. Disponível em: <http://hotsites.sct.embrapa.br/diacampo/programacao/2011/plantio-direto-reduz-efeitos-da-degradacao-do-solo>. Acesso Setembro 2012.

FOTH, H. D. & ELLIS, B. G. Phosphorus. In **Soil Fertility**, 2nd ed., Ed. H.D, Lewis Publishers, Tokyo, 1997, p. 145-161.

GONÇALVES, C. N. **Plantas de cobertura do solo no inverno e seus efeitos sobre carbono, nitrogênio e fósforo do solo e na produtividade do milho em sucessão, sob plantio direto**. 1997. 115f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. The importance of early season phosphorus nutrition. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 81 p. 211-224, Canada, 2001.

GRANT, C.; BITTMAN, S.; MONTREAL, M.; PLENCHETTE, C.; MOREL, C. Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. **Canadian Journal of Plant Science**, 85:3-14, 2005.

GREEN, D. G.; FERGUSON, W. S.; WARDER, F. G. Accumulation of toxic levels of phosphorus in the leaves of phosphorus-deficient barley. **Can. J. Plant Sci.** 53: 241–246, 1973.

GRIFFIN, T. & ERICKSON, B. **Adoption and Use of Yield Monitor Technology for U.S. Crop Production**. Site Specific Management Center Newsletter, Purdue University, p. 1-7 April 2009.

GUARESCHI, R. F. *et al.* Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lâncõ antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 04, p. 769-774, 2008.

HEDLEY, M.; MCLAUGHLIN, M. Reactions of phosphate fertilizers and by-products in soils. In: Sims JT, Sharpley AN (ed) **Phosphorus: agriculture and the environment**. Agronomy Monograph no 46, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, pp 181–252, 2005.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, v. 237, p. 173-195, 2001.

HOPKINS, B & ELLSWORTH, J. **Phosphorus availability with alkaline/calcareous soil**. Western Nutrient Management Conference. v. 6, Salt Lake City, UT, 2005.



IPEA. **Boletim Radar:** tecnologia, produção e comércio exterior. Diretoria de Estudos Setoriais, nº 20, junho de 2012.

JONES, C.; JACOBSEN, J. Plant nutrition and soil fertility. In: **Nutrient Management Module**, Nº.2. Nutrient Management a self-study course from MSU Extension Continuing Education Series. Montana State University, dec. 2001. 4449-2

LANA, R. M. Q.; VILELA FILHO, C. E.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; PEREIRA, H. S.; LANA, A. M. Q. Adubação superficial com fósforo e potássio para a soja em diferentes épocas em pré-semeadura na instalação do plantio direto. **Scientia Agricola**, Curitiba, v. 4, n. 1/2, p. 53-60, 2003.

LEWIS, D. G.; QUIRK, J. P. Phosphate diffusion in soil and uptake by plants. **Plant and soil** **XXVI**, n. 1, p. 99-118, 1967.

LU, D. Q.; CHIEN, S. H.; HENAO, J.; SOMPONGSE, D. Evaluation of short-term efficiency of diammonium phosphate versus urea plus single superphosphate on a calcareous soil. **Agron J**, 79:896-900, 1987.

MALAVOLTA, E. O fósforo na agricultura brasileira. In: **IPT. Tecnologia de fertilizantes fosfatados**. São Paulo, p. 189-206, publicação especial, 1980.

MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado**. 82f.: il. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MCAULEY, A.; JONES, C.; JACOBSEN, J. **Commercial fertilizers and soil amendments**. In: **Nutrient Management Module**, Nº.10. Nutrient Management a self-study course from MSU Extension Continuing Education Series. Montana State University, may 2009. 4449-2

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 435-443, 2003.

MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D. & BISSANI, C. A. Fenômenos de sorção em solos. In: MEURER, E. J. (Ed.) **Fundamentos de química do solo**. 3ª ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p. 117-162. 285 p.: il.

MOTERLE, L. M.; SANTOS, R. F.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; LANA, M. C. Influência da adubação com fósforo e potássio na emergência das plântulas e produtividade da cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 02, p. 256-265, 2009.

MOTOMIYA, W. R. *et al.* Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 04, p. 307-312, 2004.

NUNES, R. S. **Distribuição do fósforo no solo sob dois sistemas de cultivo e diferentes manejos da adubação fosfatada**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2010, 88 p. Dissertação de Mestrado

- NUNES, R. S.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; VIVALDI, L. J. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **R. Bras. Ci. Solo**, 35:877-888, 2011.
- OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEM, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:439-445, 2004.
- OLIVEIRA, E. M. M.; RUIZ, H. A.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H.; JÚNIOR, J. C. F. B.; Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão de fosfato, potássio e amônio em solos de Minas Gerais. **Rev. Bras. de Eng. Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2/3, p. 196-203, 2004.
- PAUL, K. W. **Molecular modeling study of sulfate and phosphate adsorption at the mineral-water interface**. 2007. 223 p. (Tese de doutorado), University of Delaware. 2007.
- PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; FAVARETTO, N.; ANJOS, A. Atributos químicos de um latossolo bruno sob sistema plantio direto em função da estratégia de adubação e do método de amostragem de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 581-590, 2009.
- PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural**, v. 34, n. 06, p. 1779-1784, 2004.
- POTTKER, D. **Aplicação de fósforo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa, 1999. 32p. (Embrapa Trigo, Boletim de Pesquisa, 2).
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 85-92, 2001.
- PROCHNOW, L. I.; DILLARD, E. F.; AUSTIN, E. R.; CHIEN, S. H.; CALVO, C. G. **Modal analysis to estimate the composition of single superphosphates**. *Commun Soil Sci Plant Anal*. 34:2131-2147, 2003a.
- PROCHNOW, L. I.; CHIEN, S. H.; TAYLOR, R. W.; CARMONA, G.; HENAO, J.; DILLARD, E. F. Characterization and agronomic evaluation of single superphosphates varying in iron phosphate impurities. **Agron J**. 95:293-302, 2003b.
- RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RAIJ, B. V. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFÓS, 2004. cap. 17, p. 435-456.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L. C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solos provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 6, p. 1053-1059, 2003.

- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 151-160, 2001.
- RILEY, D.; BARBER, S. A. Effect of Ammonium and Nitrate Fertilization on Phosphorus Uptake as Related to Root-Induced pH Changes at the Root-Soil Interface. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 35:301, 1971.
- RUIZ, H. A.; FERNANDES, B.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H. Efeito do conteúdo de água sobre os níveis críticos de fósforo em dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 12:43-48, 1988.
- RUIZ, H. A.; FERREIRA, P. A.; ROCHA, G. C. & BORGES J. R. J. C. F. Transporte de solutos no solo. In: JONG van LIER, Q., ed. **Física do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 213-240.
- RUIZ, H. A.; MIRANDA, J. & CONCEIÇÃO, J. C. S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca, Mg às plantas de arroz. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:1015-1018, 1999.
- SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A. O. No-till corn performance in response to P and fertilization modes. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 1, p. 96-101, jan/fev, 2013.
- SÁ, J. C. M.; NETTO, C. Q.; NAVARRO, J. F.; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A. O. **Modos de aplicação de nitrogênio e fósforo na cultura de milho em plantio direto**. SynScy UTFPR v. 4, n. 1, Pato Branco, 2009.
- SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistemas plantio direto. **Ci. Rural**, 38:576-586, 2008.
- SCHEPERS. Editorial for special issue of papers from the 10<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture (ICPA). **Precision Agric**, 13:1, 2012.
- SILVA, F. N. da; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; MAGALHÃES, C. A. S. & CARNEIRO, D. N. M. Crescimento e produção de grãos da soja sob diferentes doses e fontes de fósforo em solos distintos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1220-1227, set./out., 2009.
- STEWART, J. W. B. & TIESSEN, H. **Dynamics of soil organic phosphorus**. Biogeochemistry 4: 41-60, Dordrecht, 1987.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**, 3. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 719, 2006.
- TRENKEL, M. E. Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. In: **Improving Fertilizer Use Efficiency**. Published by International Industry Association, Paris, December, 1997. p. 50.
- TRIGO, L. F. N.; PESKE, S. T.; GASTAL, M. F. C.; VAHL, L. C.; TRIGO, M. F. O. Efeito do conteúdo de fósforo na semente de soja sobre o rendimento da planta resultante. **Rev. Bras. de Sementes**, v. 19, n. 1, p. 111-115, 1997.

VASCONCELLOS, C. A. et al. Eficiência agronômica de fosfatos naturais para a cultura do sorgo-granífero. II. Produção de grãos, eficiência relativa e fósforo disponível. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 10, p. 123-128, 1986.

ZAPATA, E. & ROY, R. N. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. **FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin** - 13, 172 pp., 2004.

## **ANEXOS**

**ANEXO A – Sintoma de insolubilidade do fertilizante superfosfatado formulado 00-20-20. Nas figuras A, B e C, fertilização a lanço após 140 mm de precipitação. Na figura D, resíduo fertilizante insolubilizado em estágio reprodutivo da soja. São Vicente do Sul, 2011/2012.**



**Sintoma de insolubilidade do fertilizante superfosfatado formulado 00-20-20. Nas figuras A, B e C, fertilização a lanço após 140 mm de precipitação. Na figura D, resíduo fertilizante insolubilizado em estágio reprodutivo da soja. São Vicente do Sul, 2011/2012.**

**ANEXO B – Coeficientes de solubilidade dos principais fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil**

<b>Fertilizante</b>	<b>N-P-K</b>	<b>Solubilidade em água<sup>1</sup></b>	<b>Forma física</b>
Polifosfato de amônio	10-30-00	-	Líquido
Fosfato diamônio (DAP)	18-46-0	57,5 a 10°C	Sólido
Fosfato monoamônio (MAP)	10-50-0	22,7 a 0°C	Sólido
Ácido fosfórico	0-54-0	-	Líquido
Superfosfato simples (SSP)	0-20-0	1,8 a 30°C	Sólido
Superfosfato triplo (TSP)	0-46-0	1,8 a 30°C	Sólido
Rochas fosfatadas	10-30-0	Zero	Sólido

*1-Solubilidade é dada em partes por 100 partes de água, Farm Chemical Handbook 2000, Meister Publishing Company. Fonte: Adaptada de Western Fertilizer Handbook. 1995. California Fertilizer Association. 8th Ed. Chap. 5. Interstate Publishers. In: Deith, L. G. et al. Soil and fertilizaer sources of plant nutrients. Management of Wisconsin Soils. University of Wisconsin Cooperative Extension Bulletin A3588, 2005.*

## **ANEXO C – Normas da revista brasileira de ciência do solo**

A Revista Brasileira de Ciência do Solo é um periódico de divulgação científica publicado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). Os trabalhos submetidos à publicação somente poderão ser enviados pelo site [www.sbcs.org.br](http://www.sbcs.org.br), e não mais em papel, e nas seguintes formas:

Artigos ou notas científicas.

Revisões de literatura sobre tema específico.

Cartas ao Editor de, no máximo, quatro páginas digitadas em espaço duplo, contendo um dos seguintes temas: (a) Comunicação de matéria diretamente ligada à Ciência do Solo; (b) Comentário crítico de trabalhos publicados na Revista Brasileira de Ciência do Solo. Só serão aceitos trabalhos escritos em português ou inglês, depois de revistos e aprovados pela Comissão Editorial, e que não foram publicados e não submetidos à publicação em outro veículo. Excetuam-se, nesta última limitação, os apresentados em congressos, em forma de resumo. O autor que encaminhar o trabalho deverá se responsabilizar pelos demais autores, quando houver, como co-responsáveis pelo conteúdo científico do trabalho.

Os trabalhos subdivididos em partes I, II..., devem ser enviados juntos, pois serão submetidos aos mesmos revisores.

Solicita-se observar as seguintes instruções para o preparo dos artigos e notas científicas:

1. O original deve ser encaminhado completo e revisto.
2. Deve ser enviado digitado em espaço 1,5, utilizando fonte “Times New Roman 12”, formato A4, com 2,5 cm nas margens superior e inferior e 2,0 cm nas margens direita e esquerda, enumerando-se todas as páginas e as linhas do texto.
3. O trabalho deve ser o mais claro e conciso possível. Somente em casos especiais serão aceitos trabalhos com número de páginas de texto superior a quinze.
4. Os artigos, notas e revisões deverão ser iniciados com o título do trabalho e, logo abaixo, os nomes completos dos autores. Como chamada de rodapé referente ao título, deve-se usar número-índice que poderá indicar se foi trabalho extraído de tese, ou apresentado em congresso, entidades financiadoras do projeto e, necessariamente, a data (Recebido para publicação em / / ) em que o trabalho foi recebido para publicação. O cargo, o local de trabalho dos autores [endereço postal e, se possível, eletrônico (E-mail)], deverão ser inseridos também no rodapé, em



numeração consecutiva de chamada de números-índices colocados logo após o nome de cada autor. A condição de bolsista poderá ser incluída.

5. Os artigos deverão ser divididos, sempre que possível, em seções com cabeçalho, na seguinte ordem: RESUMO, SUMMARY (precedido da tradução do título para o inglês), INTRODUÇÃO, MATERIAL E MÉTODOS, RESULTADOS, DISCUSSÃO, CONCLUSÕES, AGRADECIMENTOS e LITERATURA CITADA. Não há necessidade dessa subdivisão para os artigos sobre educação, revisões de literatura e notas científicas, embora devam ter, obrigatoriamente, RESUMO e SUMMARY.

Tais seções devem ser constituídas de:

- 5.1. TÍTULO do trabalho que deve ser conciso e indicar o seu conteúdo.
- 5.2. RESUMO que deve apresentar, objetivamente, uma breve frase introdutória, que justifique o trabalho, o que foi feito e estudado, os mais importantes resultados e conclusões. Será seguido da indicação dos termos de indexação, diferentes daqueles constantes do título. A tradução do RESUMO para o inglês constituirá o SUMMARY.
- 5.3. INTRODUÇÃO que deve ser breve, esclarecendo o tipo de problema abordado ou a(s) hipótese(s) de trabalho, com citação da bibliografia específica e finalizar com a indicação do objetivo do trabalho.
- 5.4. MATERIAL E MÉTODOS em que devem ser reunidas informações necessárias e suficientes que possibilitem a repetição do trabalho por outros pesquisadores.
- 5.5. RESULTADOS que devem conter uma apresentação concisa dos dados obtidos. Quadros ou figuras devem ser preparados sem dados supérfluos.
- 5.6. DISCUSSÃO que deve conter os resultados analisados, levando em conta a literatura, mas sem introdução de novos dados.
- 5.7. CONCLUSÕES que devem basear-se somente nos dados apresentados no trabalho e deverão ser numeradas.
- 5.8. AGRADECIMENTOS devem ser sucintos e não aparecer no texto ou em notas de rodapé.
- 5.9. LITERATURA CITADA, incluindo trabalhos citados no texto, quadro(s) ou figura(s) e inserida em ordem alfabética e da seguinte forma:

a. Periódicos: Nome de todos os autores, Título do artigo. Título abreviado do periódico, volume: páginas inicial e final, ano de publicação. Exemplo:

FONSECA, J.A. & MEURER, E.J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. R. Bras. Ci. Solo, 21:47-50, 1997.

b. Livro: Autores. Título da publicação. Número da edição. Local, Editora, ano de publicação. Número de páginas. Exemplo:

KONHNKE, H. Soil physics. 2.ed. New York, MacGraw Hill, 1969. 224p.

c. Participação em obra coletiva:

Autores. Título da parte referenciada seguida de In: Nome do editor. Título da publicação, número da edição. Local de Publicação, Editora, ano. Páginas inicial e final.

Exemplos:

- Capítulo de livro:

JACKSON, M.L. Chemical composition of soil. In: BEAR, F.E., ed. Chemistry of the soil. 2.ed. New York, Reinhold, 1964. p.71-141.

d. Trabalho em Anais:

VETTORI, L. Ferro “livre” por cálculo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1975. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.127-128.

e. CD-ROM:

SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P. & CURI, N. Índice de erosividade de chuva da região de Goiânia (GO). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO. 13., 1996. Anais. Águas de Lindóia, Embrapa, 1996. CD-ROM

f. Internet:

EL NIÑO and La Niña. Disponível em: < <http://www.stormfax.com/elnino.htm>>. Acesso em 15 out. 2000.

As abreviações de nome de revistas devem ser feitas de acordo com as usadas pelos “abstracting journals”, como dos Commonwealth Agricultural Bureaux.

6. As Referências no texto deverão ser feitas na forma: Silva & Smith (1975) ou (Silva & Smith, 1975). Quando houver mais de dois autores, usar a forma reduzida: (Souza et al., 1975). Referências a dois ou mais artigos do(s) mesmo(s) autor(es), no mesmo ano, serão discriminadas com letras minúsculas (Ex.: Silva, 1975a,b).
7. Os quadros deverão ser numerados com algarismos arábicos, sempre providos de um título claro e conciso e construídos de modo a serem auto-explicativos. Não usar linhas verticais. As linhas horizontais devem aparecer para separar o título do cabeçalho e este do conteúdo, além de uma ao final do quadro. O quadro deve ser feito por meio de uma tabela (MICROSOFT WORD/TABELA/INSERIR TABELA), no qual cada valor deve ser digitado em células distintas, estando centralizado e alinhado.
8. Os gráficos deverão ser preparados, utilizando-se “Softwares” compatíveis com “Microsoft Windows” (“Excel”, “Power Point”, “Sigma Plot”, etc.). Para fotos e mapas coloridos utilizar resolução de 150 a 300 DPI. Não serão aceitas figuras que repitam informações de quadros.
9. Fotos coloridas, quando imprescindíveis, a critério da Comissão Editorial, serão, também, aceitas. Os custos adicionais deverão ser cobertos pelos autores.
10. Para publicação de artigos na RBCS serão cobrados por página editorada (forma final na Revista): para sócios da SBCS (primeiro autor e, ou, autor correspondente) R\$ 25,00, até oito páginas, e R\$ 50,00 por página adicional, para não-sócios (primeiro autor e, ou, autor correspondente): R\$ 50,00 por página até oito páginas e R\$ 100,00 por página adicional.