

## Resumo

Fertilizantes fosfatados solúveis podem apresentar diferentes produtos de reação no solo dependendo das características do fertilizante e as interações com o ambiente. Diversos fatores envolvendo solo-planta-ambiente e o manejo do fertilizante são capazes de exercer influência na eficiência da fertilização mineral. Este estudo busca avaliar o efeito de diferentes fontes fosfatadas solúveis com característica físico-química distinta, sob diferentes modos de aplicação na produção de matéria seca, teor foliar de nutrientes e na produtividade de grãos da cultura da soja (*Glycine max* (L.)). O estudo foi realizado no Município de São Vicente do Sul, em um Argissolo Bruno-Acinzentado sob semeadura direta. Os tratamentos foram compostos por fontes fosfatadas solúveis enquadradas em níveis de solubilidade de acordo com o teor de cálcio (Ca) presente na formulação e pela estrutura molecular das fontes (fator A), submetidos a diferentes modos de aplicação (fator B). Sendo assim, o fator A foi dividido em: 1) alta solubilidade, 2) média solubilidade, e 3) baixa solubilidade. As diferentes formas de aplicação (fator B) foram em superfície (a lanço), e na linha de semeadura (no sulco). 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. As fontes fertilizantes consideradas de alta solubilidade apresentaram maior produtividade na média, sendo que no manejo a lanço houve a maior eficiência agrônômica.

**Palavras-chave:** fósforo, adubação, reações no solo.

## Soluble phosphate fertilizers and placement strategies in soybean

### Abstract

Soluble phosphate fertilizers can present distinct reactions on soil due to fertilizer composition and interactions with the environment. Thus, factors involving soil-plant-environment can affect the efficiency of mineral fertilization. This study aims to assess the effect of different soluble phosphate sources with different physical-chemical characteristics, under different types of application on the dry weight, tissue nutrients concentration, and grain yield of soybean (*Glycine max* (L.)). This study was carried out in the São Vicente do Sul- RS, Brazil, on a Ultisol (sandy loam soil) under no-till. The treatments were composed by soluble fertilizer sources, with different solubility coefficient according to the calcium content in the formulation and by the molecular structure of the sources (factor A), submitted to different placement strategies (factor B). Thus, Factor A was divided in: 1) high solubility, 2) medium solubility, and 3) low solubility. The different placement strategies (factor B) were on surface (broadcast), and in the furrow (banding). The results indicate significant interaction between the factor A and B for grain yield, dry weight, and nitrogen, potassium, calcium and magnesium content on leaves tissue. The fertilizer sources that were considered to have high solubility presented greater grain yield in average, where the broadcast strategy showed greater agronomic efficiency.

**Key words:** phosphorus, fertilization, soil reactions.

## Fertilizantes fosfatos solubles y modo de aplicación en la cultura de la soja

### Resumen

Los fertilizantes fosfatados solubles pueden presentar diferentes productos de reacción en el suelo dependiendo de las características del fertilizante y las interacciones con el ambiente. Diversos factores involucrando suelo-planta-ambiente y el manejo del fertilizante son capaces de ejercer influencia en la eficiencia de la fertilización mineral. Este estudio busca evaluar el efecto de diferentes fuentes fosfatadas solubles con característica físico-química distinta, bajo diferentes modos de aplicación en la producción de materia seca, contenido foliar de nutrientes y en la productividad de granos del cultivo de la soja (*Glycine max*

Received at: 12/12/2017

Accepted for publication at: 28/05/2018

<sup>1</sup> Department of agronomy, Kansas State University. Email: fernandodhansel@ksu.edu

(L.) . El estudio fue realizado en el Municipio de São Vicente del Sur, en un Argissolo Bruno-Acinzentado bajo siembra directa. Los tratamientos fueron compuestos por fuentes fosfatadas solubles en los niveles de solubilidad de acuerdo con el contenido de calcio (Ca) presente en la formulación y la estructura molecular de las fuentes (factor A), sometidos a diferentes modos de aplicación (factor B). Por lo tanto, el factor A se dividió en: 1) alta solubilidad, 2) media solubilidad, y 3) baja solubilidad. Las diferentes formas de aplicación (factor B) fueron en superficie (a lance), y en la línea de siembra (en el surco). Los resultados indicaron una interacción significativa entre el factor A x B para la productividad de granos, materia seca y absorción de nitrógeno, potasio, calcio y magnesio. Las fuentes fertilizantes consideradas de alta solubilidad presentaron mayor productividad en la media, siendo que en el manejo a lance hubo la mayor eficiencia agronómica.

**Palabras clave:** fósforo, fertilización, reacciones en el suelo.

## Introdução

A suplementação mineral de fósforo (P) é essencial na obtenção de altas produtividades em sistemas intensivos de produção (STAUFFER, SULEWSKI, 2003). Desta forma, 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 dos diferentes processos de fabricação (MCAULEY et al., 2009).

Após a aplicação, devido a maior umidade específica existente no solo e as características higroscópicas do fertilizante, o grânulo do fosfato absorve a água e dá início ao processo de solubilização. Após, com a posterior introdução à solução do solo, o P estaria por fim disponível às plantas. No entanto, devido à variabilidade dos produtos das reações do P no solo (HEDLEY, MCLAUGHLIN, 2005), diferentes fontes fosfatadas solúveis 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 foi mais eficiente comparado ao fosfato diamônico no crescimento da cultura de milho em solos ricos em carbonato de cálcio, em termos de produção de matéria seca e absorção pela planta. 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, a solubilidade dos compostos formados interviu na disponibilização de P às plantas (HANSEL et al. 2014).

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, com consequente solubilização e disponibilização do P na solução do solo, determinando o grau de eficiência da adubação fosfatada (BREVILIERI, 2012). De acordo com MOTOMIYA (2004) fontes fosfatadas apresentam eficiências distintas dependendo do modo de aplicação, onde a fertilização no sulco nem sempre aumenta a produtividade (PAULETTI, 2010).

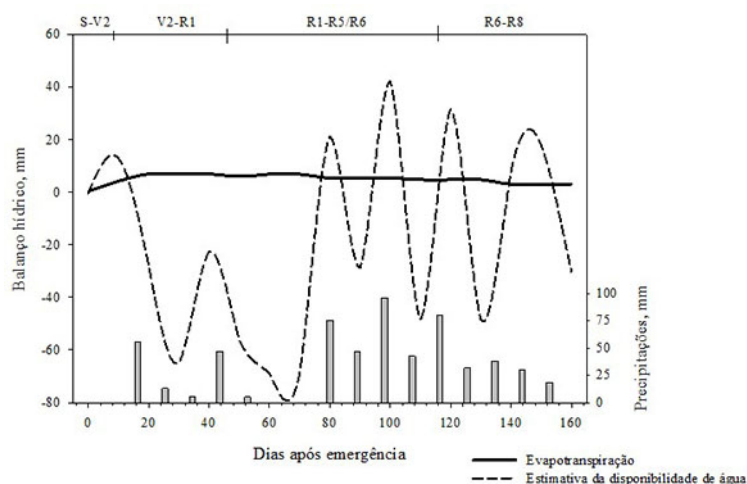
De maneira geral, em estudos com P são utilizadas fontes superfosfatadas [(00-46-00, N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O)] como padrão experimental (NUNES, 2010), desta forma não sendo considerada a variabilidade existente nas características estruturais da composição do fertilizante fosfatado 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 avaliar 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, em uma altitude

média de 100 metros. O clima segundo a classificação de Köppen é "Cfa" subtropical úmido. 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 (Eto) da região e o Kc da cultura. 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. Apresenta relevo suave ondulado e bem

drenado. A amostragem do solo foi realizada em cada unidade experimental, com o objetivo de se obter a caracterização inicial da área. Na Tabela 1 são apresentados dados relativos à condição inicial média da fertilidade do solo. O extrator utilizado nas análises foi o Mehlich-1 segundo metodologia proposta por TEDESCO et al. (1995).

**Tabela 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.

Profundidade	pH H <sub>2</sub> O	SMP	MO	p <sup>†</sup>	K	Ca	Mg	Al	S	Areia	Silte	Argila
m			%	mg dm <sup>-3</sup>		cmol dm <sup>-3</sup>				%		
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>†</sup>P-Mehlich-1.

Os tratamentos foram compostos por fontes fosfatadas solúveis enquadradas em níveis de solubilidade de acordo com o teor de cálcio (Ca) presente na formulação e pela estrutura molecular

das fontes (fator A), submetidos a diferentes modos de aplicação (fator B). Sendo assim, o fator A foi dividido em: 1) alta solubilidade, 2) média solubilidade, e 3) baixa solubilidade. 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. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em arranjo fatorial 2 x 3, com quatro repetições. As doses ajustadas de maneira a ser mantida a mesma relação nutricional para  $P_2O_5$  e  $K_2O$ . Na Tabela 2 encontra-se a descrição e as doses das fontes utilizadas com seus respectivos coeficientes de solubilidade.

As fontes 09-45-00 e 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 contêm ligações com o íon Ca, apresentando a forma molecular  $Ca - P [Ca(H_2PO_4)_2]$ . O coeficiente de solubilidade 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).

**Tabela 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 <sup>†</sup>	Solubilidade <sup>‡</sup>
	---- $\text{kg ha}^{-1}$ ----		---- $\text{kg ha}^{-1}$ ----		$H_2O$	
09-45-00 +(7,0 % $S^0$ + 2,0 % $SO_4$ )	200	92	153	92	22,7 a 0°C	Alta
09-48-00 (MAP)	170	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
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

<sup>†</sup>Coefficiente de solubilidade dado em partes por 100 partes de água. <sup>‡</sup>Níveis de solubilidade enquadrados conforme o teor de cálcio na formulação, sugeridos pelo estudo.

As parcelas possuíam  $3,6 \times 13 \text{ m}$ , totalizando  $46,8 \text{ m}^2$ . 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<sup>®</sup>, modelo PSE 8 equipada com o sistema tipo haste sulcadora com espaçamento de 0,45m e sistema de distribuição tipo rotor dentado. A fonte genética utilizada no estudo foi a variedade BMX Força RR, com estande final de 250 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ .

Segundo a escala fenológica sugerida por COSTA, MARCHEZAN (1982), no pleno florescimento (estádio R2) foi realizada a coleta de trifólios 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  $4,5 \text{ m}^2$ . 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<sup>®</sup> Version 3.2.1 (SALL et al., 2005), utilizando o teste F a 5% de significância.

## Resultados e discussão

Os níveis de solubilidade das fontes de fertilizantes fosfatados e os modos de aplicação afetaram a produção de matéria seca, produtividade de grãos e

teores foliares de macronutrientes da soja (Tabela 3).

As fontes de alta solubilidade (2963 kg ha<sup>-1</sup>) apresentaram em média produtividade 11% maior quando comparadas com as fontes de baixa solubilidade (2674 kg ha<sup>-1</sup>). As fontes de média solubilidade apresentaram um nível intermediário de produtividade (2880 kg ha<sup>-1</sup>), seguindo o gradiente de

solubilidade das fontes fosfatadas proposto (Tabela 4). 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 %),

**Tabela 3.** Análise de variância da produção de matéria seca (kg ha<sup>-1</sup>), produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) e teores foliares dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (% m<sup>-1</sup>) 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
M x S	*	*	*	ns	*	*	*	ns
CV (%)	18,18	8,74	5,26	10,48	19,87	13,75	13,75	11,26

<sup>ns</sup> não significativo, <sup>\*</sup> significativo a 5 %.

comparados com os de baixa solubilidade (Tabela 4). 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.

Sendo assim, para cada kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado

através de fontes de alta solubilidade converteu-se em média em 32 kg de soja ha<sup>-1</sup>, sendo que ao se utilizar fontes de baixa solubilidade, para cada kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado converteu-se em 29 kg de soja ha<sup>-1</sup>. Analisando-se por manejos, verifica-se que no manejo a lanço esta diferença é maior, onde a cada kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado

**Tabela 4.** Produtividade da soja (kg ha<sup>-1</sup>) e matéria seca (kg ha<sup>-1</sup>) em função da interação solubilidade de fontes fosfatadas fertilizantes x modo de aplicação.

Modos de Aplicação	Alta	Solubilidade Média	Baixa	Média
Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )				
Sulco	2868 Aa <sup>†</sup>	2946 Aa	2675 Aa	2829 A
Lanço	3058 Aa	2813 Aab	2673 Ab	2848 A
Média	2963 a	2880 ab	2674 b	
Matéria Seca (kg ha <sup>-1</sup> )				
Sulco	6723 Aab	7947 Aa	6162 Ab	6944 A
Lanço	7540 Aa	6356 Ba	6105 Aa	6667 A
Média	7131 a	7151 a	6133 a	

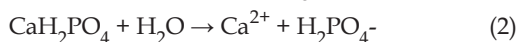
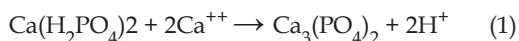
<sup>†</sup>Médias com letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

através de fontes de alta solubilidade converteu-se em 33 kg de soja e em fontes de baixa solubilidade a cada kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado converteu-se em 29 kg de soja.

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 o 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 1), o qual originam compostos de pouca solubilidade (CHIEN, 1993;

HINSINGER, 2001; CHIEN et al., 2011), ou interferir na dissociação do fosfato monocálcico (Equação 2).



O acúmulo de Ca em superfície sob SSD foi observado por AMARAL and 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 and VOLK-WEISS (1987), cerca de 25% do P aplicado através de fontes ricas em fosfato monocálcico é insolubilizado na região do grânulo como fosfato bicálcico (Figure 2).



**Figure 2.** Precipitation of P binds soils around a fertilizer granule in a calcareous soil (MCLAUGHLIN, 2018).

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  $7,8 \text{ cmol dm}^{-3}$ , em que teores  $> 4 \text{ cmol dm}^{-3}$  são interpretados como "alto" conforme CQFS-RS/SC, 2004). O melhor desempenho das fontes de alta solubilidade poderia estar ligado à estrutura molecular do fertilizante, o qual na ausência do elemento cálcico 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 interferiria 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) 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.

Quanto à matéria seca foi observada interação significativa entre os modos de aplicação e os níveis de solubilidade (Tabela 4). 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 ( $7947 \text{ kg ha}^{-1}$ ), diferindo estatisticamente das fontes de baixa solubilidade ( $6162 \text{ kg ha}^{-1}$ ). 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 ( $7947 \text{ kg ha}^{-1}$ ) do que quando aplicados a lanço ( $6356 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Tabela 4). Segundo Thomas & Costa (2010) a matéria seca produzida está relacionada principalmente com a extração dos nutrientes pela soja. 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 (Tabela 5). Analisando-se os teores foliares de N, nota-se que na média dos níveis de solubilidade, as fontes de baixa solubilidade proporcionaram maiores teores foliares deste elemento (Tabela 5).

Analisando-se os teores foliares de N, nota-se que na média dos níveis de solubilidade, as fontes de baixa solubilidade proporcionaram maiores teores foliares deste elemento (Tabela 5). 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 (Tabela 5), nota-se uma similaridade quanto a resposta 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<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).

**Tabela 5.** Análise foliar dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (% m<sup>-1</sup>) em função da interação fontes fosfatadas fertilizantes x modo de aplicação.

Modos de Aplicação	Alta	Solubilidade Média	Baixa	Média
Nitrogênio % (m/m)				
Sulco	4,159 Aa <sup>†</sup>	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>†</sup>Médias com letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Fontes de baixa solubilidade apresentaram menor teor de K quando aplicadas no sulco (Tabela 5). 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 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. (2011), 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).

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. 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.

De maneira geral, os teores foliares de P na média dos tratamentos de alta solubilidade (fontes que contém a forma amônica  $\text{NH}_4^+$ ) apresentaram incremento (9%) sob os outros níveis de solubilidade, o que indica tendência de 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  $\text{NH}_4^+$  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 afetado (YAMADA, 2002), aumentando a disponibilidade e absorção de P. Outra hipótese relacionada a maior absorção de P pelas fontes de alta solubilidade 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).

## Conclusão

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. Em aplicação a lanço, fertilizantes fosfatados contendo em sua estrutura molecular  $\text{NH}_4^+$ -P apresentaram melhor desempenho, provavelmente devido ao produto das reações e interações entre a fonte fosfatada e minerais do solo. Porém, a fertilização fosfatada no sulco de semeadura proporcionou maiores teores foliares de P, não havendo distinção entre fontes. Quanto ao efeito dos tratamentos na nutrição dos demais macronutrientes, maiores teores foliares de Ca, Mg e K foram obtidos no manejo a lanço. Por fim, fertilizantes fosfatados solúveis podem apresentar perda ou ganho de eficiência do uso dependendo das características do solo e da estratégia de fertilização adotada. Assim, o produtor e a pesquisa devem considerar possíveis ajustes na escolha da fonte de acordo com o manejo e o 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, 35:1599-1607, 2006.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. **Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 36:695-702, 2001.
- 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.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 35:2437-2446, 2000.
- 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).
- 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.** Nutrient Cycle Agroecosystems, 89:229-255, 2011.
- CHIEN, S.H. **Solubility assessment for fertilizer containing phosphate rock.** Fertilizer Research, 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.



- 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**. Revista Caatinga, 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**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:1291-1301, 2009.
- 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, 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.
- 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.
- 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**. Ciência e Agrotecnologia, 35:643-648, 2011.
- HANSEL, F.D., AMADO, T. J. C.; BORTOLOTO, R. P.; TRINDADE, B. S.; D. HANSEL D. S. S. **Influence of different phosphorus sources on fertilization efficiency**. Applied Research & Agrotechnology 7: 103-111, 2014.
- 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 no 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.
- 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.
- LEWIS, D. G.; QUIRK, J. P. **Phosphate diffusion in soil and uptake by plants**. Plant and Soil, 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**. Scientia Agricola, 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**. Agronomy Journal, 79:896-900, 1987.
- 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, 2009. p. 4449-2.
- MCLAUGHLIN, M. **Technical Bulletin: Phosphorus fertilizer use efficiency in soils**. The University of Adelaide. Acesso em: 11 jul. 2018.
- MOTERLE, L. M. et al. **Influência da adubação com fósforo e potássio na emergência das plântulas e produtividade da cultura da soja**. Revista Ciência Agronômica, 40:256-265, 2009.
- MOTOMIYA, W.R. et al. **Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 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**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 8:196-203, 2004.
- PAULETTI, V.; SERRAT, B. M.; MOTTA, A. C. V.; FAVARETTO, N.; ANJOS, A. **Yield response to fertilization strategies in no-tillage soybean, corn and common bean crops**. Brazilian Archives of Biology and Technology, 53:563-574, 2010.

- 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 Science Society of American Journal, 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.
- 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.
- 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**. Revista Brasileira de Ciência do 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.; VENTUROSU, L.; SCHLINDWEIN, J.; CARON, B.; SCHMIDT, D. **Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia**. Scientia Agricola, 9:379-365, 2008.
- YAMADA, T. **Melhoria na eficiência da adubação aproveitando as interações entre os nutrientes**. Informações agronômicas Potafós, no100, dezembro/2002.