



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE AGRONOMIA

LUCAS GOTTARDO MACHRY

**EFICIÊNCIA DO FÓSFORO EM DIFERENTES MODOS DE APLICAÇÃO E
DOSAGEM NA CULTURA DA SOJA EM PLANTIO DIRETO**

CERRO LARGO

2016

LUCAS GOTTARDO MACHRY

**EFICIÊNCIA DO FÓSFORO EM DIFERENTES MODOS DE APLICAÇÃO E
DOSAGEM NA CULTURA DA SOJA EM PLANTIO DIRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso II de graduação
apresentado como requisito para a obtenção de grau de
Bacharel em Agronomia da Universidade Federal da
Fronteira Sul.

Orientador: Prof^o. Dr. Renan Costa Beber Vieira
Co-Orientador: Prof^o. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

CERRO LARGO

2016

DGI/DGCI - Divisão de Gestão de Conhecimento e Inovação

Machry, Lucas Gottardo
Eficiência do Fósforo em Diferentes Modos de
Aplicação e Dosagem na Cultura da Soja em Plantio
Direto/ Lucas Gottardo Machry. -- 2016.
33 f.:il.

Orientador: Renan Costa Beber Vieira.
Co-orientador: Douglas Rodrigo Kaiser.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Agronomia , Cerro Largo, RS, 2016.

1. Glycine max. 2. Adubação. 3. Linha. 4. Lanço. I.
Vieira, Renan Costa Beber, orient. II. Kaiser, Douglas
Rodrigo, co-orient. III. Universidade Federal da
Fronteira Sul. IV. Título.

LUCAS GOTTARDO MACHRY

**EFICIÊNCIA DO FÓSFORO EM DIFERENTES MODOS DE APLICAÇÃO E
DOSAGEM NA CULTURA DA SOJA EM PLANTIO DIRETO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira

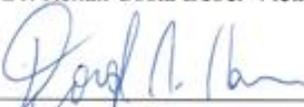
Co-orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 28 / 11 / 2016

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira – UFFS



Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS



Eng. Agr. Erli Jacob Balbinot - ETAGRO

Dedico a Deus, aos meus pais, esposa, filho, familiares, professores, amigos e a todas as pessoas que colaboraram de alguma forma para a realização deste estudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde e força para a realização deste estudo, aos meus pais Aristeu e Marilete pela educação, incentivo e apoio durante esse período, a minha esposa Sandra pelo amor, incentivo, apoio, compreensão, conselhos, companheirismo e amizade, ao meu filho Esthevan pelo amor, compreensão, companheirismo, ao meu irmão Tiago pelo incentivo e apoio, aos meus avós e demais familiares pelo apoio e incentivo, a Universidade Federal da Fronteira Sul pela oportunidade da realização da graduação em agronomia, ao Professor Dr. Renan Costa Beber Vieira pela orientação, ensinamentos, apoio e incentivo, ao Professor Dr. Douglas Rodrigo Kaiser pela co-orientação, ensinamentos, apoio e incentivo, aos demais professores de graduação pelos ensinamentos e contribuição em minha formação profissional, ao supervisor de estágio, Engenheiro Agrônomo Erli Jacob Balbinot, pelos ensinamentos técnicos, práticos, experiências, apoio e incentivo, aos colegas de graduação com quem convivi nesse período, pelas amizades e bons momentos juntos, aos colegas Sirineu Gottardo e Volnei Eichelberger pela amizade, auxílio, apoio e companheirismo durante a jornada acadêmica e trabalhos realizados, ao Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Roque Gonzales pela oportunidade de conciliar o trabalho com o estudo, a presidente do Sindicato Laura Langer e vice Marcio Langer e demais companheiros de diretoria, pelo apoio, incentivo e compreensão, aos colegas de trabalho, pela compreensão, apoio e incentivo na jornada acadêmica e a todos os amigos e demais pessoas que de alguma forma contribuíram para minha formação profissional de nível superior.

RESUMO

A modernização da agricultura a partir da década de 70 intensificou o manejo superficial do solo através do sistema plantio direto, tornando os modos de aplicação e dosagens de fertilizantes fosfatados importantes fatores na eficiência dos cultivos. O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência do fósforo em diferentes modos de aplicação e dosagem na cultura da soja em sistema plantio direto. O estudo foi realizado em Roque Gonzales/RS, em um Latossolo Vermelho com baixa concentração de fósforo no solo. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados com quatro repetições, sendo os tratamentos compostos por dois modos de aplicação (a lanço e na linha de semeadura) e duas doses de fósforo (85 kg ha^{-1} de P_2O_5 e $127,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5). Avaliou-se a produtividade de grãos, peso de mil grãos, teor foliar de fósforo e produção de matéria seca. Apesar da baixa disponibilidade de P no solo, os modos de aplicação e as doses de adubação fosfatada não influenciaram a produção de matéria seca, a absorção de P, o peso de mil grãos e a produtividade da soja. Estes resultados podem ser justificados pelo alto índice pluviométrico ocorrido no período de desenvolvimento da cultura, o qual pode favorecer a difusão do fósforo no solo. Desta forma, conclui-se que em anos com boa disponibilidade hídrica, o modo de aplicação e a dose da adubação fosfatada não influenciam na produtividade da cultura.

Palavras-chave: *Glycine max*. Adubação. Linha. Lanço.

ABSTRACT

The improvement of agriculture from 1970s intensified the superficial soil management with no-till adoption, which highlight the place and doses of phosphate fertilizer application like important points in crop efficiency. The objective of this work was to evaluate the efficiency of phosphorus applied in different places and doses for soybean under no-till system. The study was carried out in Roque Gonzales, RS, Brazil, in a Hapludox with low content of phosphorus. The experimental design was a randomized complete block design with four replications. The treatments were composed of two application places (broadcast and crop row) and two doses of phosphorus ($85 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ and $127.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$). The grain yield, 1000 seed weight, foliar P content and dry matter yield were evaluated. Despite of the low availability of P in the soil, the places and doses of phosphate fertilization did not influence the dry matter production, the P uptake, the 1000 seed weight and the soybean yield. These results can be justified by the high rainfall index during the crop growing period, which may support the phosphate diffusion in the soil. Thus, it can be concluded that in years with high water availability, the place and dose of phosphate fertilization application do not influence crop yield.

Keywords: *Glycine max.* Fertilization. Furrow. Broadcast.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1: Condição inicial da fertilidade do solo na profundidade de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m.	21
Tabela 2: Produtividade, Rendimento Relativo, Peso de mil grãos (PMG), Teor de P foliar e Matéria seca da soja em diferentes modos de aplicação e dosagem de fósforo.....	24
Figura 1: Precipitação durante o desenvolvimento da cultura.....	25

LISTA DE SIGLAS

Al	Alumínio
BMX	Brasmax
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
DBC	Delineamento de Blocos Casualizados
g	Gramas
ha	Hectare
IEA	Índice de Eficiência Agronômica
ILP	Integração Lavoura e Pecuária
K	Potássio
K ₂ O	Óxido de Potássio
kg	Quilograma
L ²	Semeadura a lanço
ml	mililitro
m	metro
mm	Milímetro
M.O	Matéria Orgânica
O	Oeste
PMG	Peso de Mil Grãos
P	Fósforo
P ₂ O ₅	Pentóxido de Fósforo
R2	Estádio Fenológico de Florescimento Pleno
R8	Estádio Fenológico de Maturação Plena
RR	Rendimento Relativo
S	Sul
S ¹	Sulco de Semeadura
STF	Super Fosfato Triplo
t	Tonelada
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul
Y1	Produtividade da Testemunha
Y2	Produtividade do Tratamento Testado
Y3	Produtividade da Fonte de Referência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	A CULTURA DA SOJA	12
2.2	A IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO PARA AS PLANTAS	12
2.3	REAÇÕES DO FÓSFORO NO SOLO, TRANSPORTE E ABSORÇÃO PELAS PLANTAS	14
2.4	PLANTIO DIRETO E A DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO	16
2.5	INFLUÊNCIA DOS MODOS DE APLICAÇÃO E DOSAGEM DO FÓSFORO	17
2.5.1	Modos de aplicação do fósforo	17
2.5.2	Dosagem de fertilizante fosfatado	19
2.6	O FÓSFORO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA E PECUÁRIA.....	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	28
	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* (L) Merrill) é um dos principais cultivos do mundo, devido ao alto potencial produtivo, aliado à sua composição química, valor nutritivo e ao importante papel no setor socioeconômico.

O rendimento potencial da soja é determinado geneticamente, porém, depende do efeito de diversos fatores que atuam simultaneamente durante o ciclo da cultura, os quais podem ser limitantes para que este potencial seja atingido, dentre eles a adubação fosfatada. O fósforo é de fundamental importância no metabolismo das plantas, na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese (GRANT et al., 2001).

A soja possui alta exigência em fósforo. Muitos solos onde é cultivada, principalmente os argilosos apresentam alta capacidade de fixação de fósforo, tornando-se fundamental a escolha das melhores formas de adubação fosfatada (MOTOMIYA et al., 2004).

O intenso manejo superficial do solo, através da adoção do sistema plantio direto, do impulso da mecanização agrícola e da agricultura de precisão, têm intensificado as práticas de adubação a lanço em suprimento da adubação no sulco, visando maior rendimento operacional e aproveitamento das épocas de semeadura.

O fósforo é transportado no solo por difusão, apresentando baixa mobilidade no solo, além de grande parte ficar adsorvido nos óxidos de ferro e alumínio (MEURER; RHEINHEIMER; BISSANI, 2006).

As mudanças no modo de aplicação de fertilizantes podem refletir na produtividade das culturas, principalmente para nutrientes com baixa mobilidade no solo e em condições de restrição hídrica.

O modo de aplicação da adubação fosfatada pode interferir na disponibilidade de P às plantas, visto que aplicações superficiais são dispostas em camadas mais suscetíveis à evaporação e, conseqüentemente, com menor teor de umidade, podendo ser uma prática restritiva ao fornecimento de P às plantas em condições de estiagens (HANSEL, 2013).

Com o cenário nacional favorável a produção de soja, cada vez busca-se maior precisão na agricultura, através do uso eficiente de recursos, de tal modo que otimize os investimentos e proporcione incremento na produtividade.

Os custos de produção têm aumentado significativamente ao longo dos anos, principalmente em relação aos insumos sintéticos, dentre eles os adubos fosfatados, sendo necessário o avanço nos estudos científicos em diferentes condições edafoclimáticas para melhorar a eficiência da adubação fosfatada na agricultura.

O objetivo deste trabalho foi de avaliar a eficiência do fósforo em diferentes modos de aplicação e dosagens na cultura da soja em sistema plantio direto, em um Latossolo Vermelho com baixa concentração de fósforo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Serão apresentados na sequência aspectos de produção da cultura da soja em nível nacional e mundial. O fósforo é de fundamental importância para os cultivos agrícolas, onde serão expostas as reações que ocorrem com o fósforo no solo, seu transporte e absorção pelas plantas, as relações com o plantio direto e a distribuição no solo, as influências dos modos de aplicação e dosagem do fósforo, além de sua relação com sistema de integração lavoura e pecuária.

2.1 A CULTURA DA SOJA

O Brasil possui condições de clima favorável ao desenvolvimento da cultura da soja, além de grandes áreas com potencial de uso agrícola, ocupando o segundo lugar entre os maiores produtores mundiais de soja em área e valor, representando importante parcela na atividade agrícola do país, com grande relevância na pauta das exportações (CONAB, 2015).

O país obteve um montante de 33,25 milhões de hectares plantadas e 95,43 milhões de toneladas produzidas na última safra (2015/2016). A estimativa nacional de área plantada é de 33,36 a 33,99 milhões de hectares, com uma projeção de produção de 101,59 a 103,51 milhões de toneladas para a safra (2016/2017), o que representa um acréscimo de aproximadamente 1,28% na área plantada e de 7,46% na produção projetada, refletindo na expansão do cultivo da soja no país (CONAB, 2016).

No Rio Grande do Sul, a produção de soja da última safra (2015/2016) foi de 32,72 milhões de toneladas em uma área de 8,53 milhões de hectares, representando 34,29% da produção nacional de soja e 25,65% da área plantada, o que posiciona este estado em terceiro maior produtor brasileiro de soja (CONAB, 2016), o que evidencia a importância socioeconômica da cultura no estado.

2.2 A IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO PARA AS PLANTAS

O fósforo em sua forma de íon fosfato, é um componente integral das células vegetais, incluindo fosfato-açúcares e fosfolipídios que compõem as membranas vegetais, sendo um elemento fundamental no metabolismo das plantas, com papel essencial na transferência de energia, respiração e fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2006).

O desenvolvimento da parte aérea da planta é dependente do estabelecimento e

crescimento do sistema radicular, sendo que a planta necessita de alta disponibilidade de fósforo no solo já no início do crescimento, pois em seu estágio inicial possui baixa capacidade de exploração do solo (HANSEL, 2013).

A soja absorve cerca de 8,4 kg de fósforo para cada tonelada de grãos produzidos, tornando a cultura mais exigente em fósforo em relação ao milho e trigo (MALAVOLTA, 1980).

A deficiência de fósforo nas plantas pode reduzir a respiração e a fotossíntese, além da síntese de ácido nucléico e de proteína, induzindo a acumulação de compostos nitrogenados solúveis no tecido vegetal (GRANT et al., 2001; VENTIMIGLIA et al., 1999). Com isso, o crescimento da célula é retardado e paralisado, podendo acarretar na diminuição da altura de plantas, no atraso da emergência de folhas, na redução da brotação, na redução no desenvolvimento de raízes e, conseqüentemente, perda de produtividade (VENTIMIGLIA et al., 1999; GRANT et al., 2001).

Os solos brasileiros são naturalmente ácidos, intemperizados, pouco férteis e pobres em fósforo, sendo necessário a reposição de nutrientes para se otimizar boas produtividades das culturas (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

As reservas de fertilizantes fosfatados no Brasil são pequenas, representando em torno de 0,8% das reservas mundiais prospectadas e economicamente exploradas, tendo em vista que o fósforo é um recurso finito e não-renovável, apenas pode ser reciclado, devendo-se dar importância ao seu manejo, com o uso de práticas e técnicas que permitam melhorar a eficiência agrônômica, objetivando o incremento de produtividade e redução do custo (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

Para otimizar boas produtividades na cultura da soja, a suplementação do solo com fósforo deve ser realizada já na fase inicial do desenvolvimento das culturas, pois em estágios posteriores de desenvolvimento vegetativo, a sua limitação demonstra-se menos relacionada à produtividade (GRANT et al., 2005).

Outro ponto importante é a utilização de concentrações mais elevadas de fósforo nas sementes, pois proporciona uma maior disponibilidade de energia para as atividades metabólicas da semente, levando 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 cultura (TRIGO et al., 1997).

2.3 REAÇÕES DO FÓSFORO NO SOLO, TRANSPORTE E ABSORÇÃO PELAS PLANTAS

As apatitas são os minerais primários fosfatados das rochas, que através do intemperismo químico, físico e biológico o fósforo é liberado, resultando em minerais secundários mais estáveis termodinamicamente, ou são incorporados a compostos biologicamente orgânicos (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

Em duas principais formas o fósforo é encontrado no solo, sendo na forma orgânica e inorgânica (DEITH et al., 2005 apud HANSEL, 2013). Em sua forma orgânica o fósforo encontra-se no húmus, na biomassa e em outros materiais orgânicos do solo, já na porção inorgânica ocorrem em várias combinações com íons de ferro, alumínio, cálcio, e outros elementos, conferindo ao fósforo uma grande estabilidade estrutural e assim a insolubilidade em água (DEITH et al., 2005 apud HANSEL, 2013).

Tanto a forma orgânica quanto a inorgânica do solo são importantes fontes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, mas suas disponibilidades são controladas pelas características do solo e pelas condições ambientais, as quais interferem principalmente na taxa de mineralização da fração orgânica pelos microrganismos, podendo imobilizar ou liberar os íons de fosfato para a solução do solo (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

O fósforo apresenta baixa mobilidade no solo, em função do seu transporte ser basicamente por difusão, além de grande parte ficar adsorvido nas partículas do solo, bem como por ser convertido para formas insolúveis, devido ao ânion fosfato reagir com grupos reativos da superfície do solo, como os óxidos de ferro e do alumínio (HANSEL, 2013).

Em estudo avaliando a biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob plantio direto, verificou-se que a longo prazo, todas as formas de fósforo do solo atuam na sustentação do fósforo absorvido pelas plantas (GATIBONI et al., 2007). Em solos com acúmulo de fósforo pela adubação, as formas orgânicas e inorgânicas de fósforo atuam de forma semelhante no tamponamento do fósforo absorvido pelas plantas, e em solos com baixa ou nenhuma adição de fertilizantes fosfatados, as formas orgânicas de fósforo são as principais mantedoras do fósforo absorvido pelas plantas (GATIBONI et al., 2007).

Um dos componentes do solo mais significativos para aumentar a eficiência da utilização do fósforo aplicado como fertilizante é a matéria orgânica, devido a sua importância na ciclagem deste nutriente, auxiliando na redução da precipitação e adsorção do fósforo, bem como, favorecendo a solubilização de fertilizantes fosfatados (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

A suplementação mineral de fósforo pelas plantas é determinada pela capacidade do solo em repor o fósforo na solução do solo, a qual depende do poder tampão do solo e do manejo da fertilização fosfatada, além das condições ambientais e do solo que afetam a biodisponibilidade de fósforo bem como o crescimento das raízes (DEITH et al., 2005 apud HANSEL, 2013).

A capacidade das plantas de absorver o fósforo do solo, depende da concentração dos íons de fósforo em solução do solo na superfície das raízes, além da área da superfície radicular em contato com a solução (JONES; JACOBSEN, 2001).

A avaliação do fósforo disponível no solo é feita geralmente medindo-se o grau de energia em que o fosfato está adsorvido às estruturas coloidais do solo, conseqüentemente, a capacidade em que o mesmo pode ser repostado na solução, após a absorção pelas plantas, através do uso de soluções extratoras ou agentes de troca iônica (SANTOS et al., 2008).

A movimentação do fósforo na solução do solo em direção a superfície das raízes ocorre principalmente por difusão, enquanto o fluxo de massa, devido aos baixos teores de fósforo na solução do solo, geralmente contribui muito pouco para este movimento (BARBER, 1962). A quantidade de fósforo que chega à superfície das raízes por difusão, está relacionada ao coeficiente de difusão do elemento no solo, à área do sistema radicular, à concentração de fósforo na solução do solo e ao poder tampão do fósforo (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

O transporte do fósforo por difusão é um processo espontâneo, que resulta do movimento térmico e aleatório de íons e moléculas na fase líquida do solo, decorrente do movimento de pontos de maior concentração para pontos de menor concentração no solo (RUIZ; MIRANDA; CONCEIÇÃO, 1999). A difusão de um íon no solo está diretamente relacionada ao conteúdo volumétrico de água presente no solo (NYE; TINKER, 1977 apud COSTA et al., 2006).

O efeito dos fertilizantes fosfatados pode ser imediato ou residual no desenvolvimento das culturas, sendo que durante o processo de solubilização, os fertilizantes granulados absorvem água, onde a solução formada com alta concentração de fósforo se move para fora do grânulo, onde neste processo ocorre simultaneamente a difusão de sais em sentido oposto aos grânulos, ao mesmo tempo ocorre a difusão de água do solo em direção aos grânulos e ocorrem reações ente os íons dissolvidos no solo (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

No fluxo de massa ocorre o escoamento de um soluto juntamente com a água do solo, sendo importante em condições onde os teores de fósforo na solução do solo são altos (RUIZ; MIRANDA; CONCEIÇÃO, 1999). O fósforo que chega a superfície das raízes é proporcional

à concentração de fósforo na solução do solo com a quantidade de água absorvida pelas plantas (BARBER, 1962).

2.4 PLANTIO DIRETO E A DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO

A partir da década de 70 a adoção do sistema plantio direto proporcionou grande evolução nos cultivos agrícolas, sendo que atualmente estima-se que 70% das áreas cultivadas com soja e milho no país estejam sob este manejo conservacionista do solo (EMBRAPA, 2011).

A dinâmica dos nutrientes e a nutrição das plantas são alguns dos aspectos mais estudados no sistema plantio direto, os quais assumem comportamentos completamente distintos em relação a cada elemento (HANSEL, 2013).

A introdução do plantio direto através do não revolvimento do solo, conciliado com a dinâmica dos nutrientes, provoca um aumento das concentrações de nutrientes na superfície do solo, principalmente do fósforo (AMADO et al., 2006).

No plantio direto, com o não revolvimento do solo, o contato entre o íon fosfato e os coloides do solo é reduzido, diminuindo assim as reações de adsorção, ocorrendo uma lenta e gradual mineralização dos resíduos orgânicos do solo, o que proporciona a liberação e redistribuição das formas orgânicas de fósforo no solo (FONTOURA; BAYER, 2006).

A deposição do fósforo no perfil do solo em sistema plantio direto, é atribuída a decomposição dos resíduos orgânicos depositados na superfície após a colheita, assim como a decomposição de raízes no solo, e ao uso de semeadoras que depositam os adubos em maiores profundidades (FONTOURA; BAYER, 2006).

Em função da baixa mobilidade do fósforo no solo, a adição de fertilizantes na superfície do solo no sistema plantio direto, tem constantemente saturado os sítios de maior afinidade por fósforo, o que pode ser observado nas diferenças do fósforo previamente adsorvido (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008). Além disso, com a expansão da agricultura de precisão entre as propriedades, intensificou-se a aplicação superficial de nutrientes, contribuindo para que este processo ocorra (HANSEL, 2013).

O sistema plantio direto pode se tornar vantajoso em relação ao convencional, devido a diminuição da erosão do solo, em consequência uma maior retenção de água, a qual é de fundamental importância para a difusão de nutrientes, aliado a menor adsorção de fósforo pelo solo, em virtude da não exposição a novos sítios (FONTOURA; BAYER, 2006).

2.5 INFLUÊNCIA DOS MODOS DE APLICAÇÃO E DOSAGEM DO FÓSFORO

Nos últimos anos, a disponibilidade de fósforo para as plantas tem sido objeto de grande preocupação social (BAVEYE, 2015). A dinâmica de nutrientes, aliado aos modos de aplicação e dosagem de fertilizantes fosfatados, provavelmente tenham sido as áreas mais estudadas em fertilidade do solo (HANSEL, 2013).

2.5.1 Modos de aplicação do fósforo

A expansão do sistema plantio direto e a introdução e 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).

O modo de aplicação de fertilizantes fosfatados pode alterar a velocidade e a capacidade do fertilizante reagir no solo, bem como alterar a solubilização e disponibilização do fósforo na solução do solo, tendo grande influência na determinação do grau de eficiência da adubação fosfatada (BREVILIERI, 2012).

Para aumentar a eficiência da fertilização fosfatada, uma das formas é a escolha do melhor método de aplicação, o qual depende do tipo de solo, da fonte de fósforo, da espécie cultivada, do sistema de preparo e do clima (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

Os modos mais utilizados para adicionar fósforo ao solo, são a lanço na superfície e no sulco de semeadura, sendo que estes modos influenciam na redistribuição de fósforo no sentido vertical e horizontal do solo (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

Diversos estudos têm sido realizados, buscando avaliar o modo mais eficiente de aplicação do fósforo no solo, porém ainda não existe consenso nos resultados (RESENDE, 2013).

Em um estudo avaliando os efeitos de modos de aplicação e de doses de fertilizante fosfatado em adubação de manutenção, em um Latossolo vermelho-escuro com teor médio de fósforo, verificou-se que os tratamentos com aplicações no sulco foram mais eficientes do que a lanço (PRADO; FERNANDES; ROQUE, 2001). Dados semelhantes foram constatados quando os teores de fósforo estão abaixo do teor crítico, onde a produtividade tem sido menor na aplicação superficial do que em áreas onde o fosfato foi aplicado na linha de semeadura (POTTKER, 1999).

Em estudo comparando o comportamento da cultura da soja fertilizada com fósforo em

semeadura e a lanço antecipadamente, sob um solo do cerrado com teor médio de fósforo, não se verificou diferença nas variáveis estudadas, dentre elas a produtividade (GUARESCHI et al., 2008).

A aplicação antecipada do fósforo, até cinco meses antes da semeadura da soja, não influencia na produtividade de grãos, nos teores de fósforo nas folhas, no peso de cem sementes e na altura da primeira vagem em relação ao solo, sob condições de muito baixa disponibilidade de fósforo no solo (LANA et al. 2003).

Em solo com muito baixa disponibilidade de fósforo no solo, avaliando a influência do manejo da fertilização fosfatada em duas cultivares de soja, verificou-se 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 (BERGAMIN et al., 2008).

Em um experimento de longa duração (14 anos), em um solo com teor inicial muito baixo de fósforo, com diferentes formas de manejo de fertilizante em dois sistemas de preparo do solo, sistema convencional e de semeadura direta, os autores verificaram que apesar do efeito do manejo da fertilização fosfatada na distribuição do fósforo no solo, a produtividade de grãos de soja no 14º ano foi alterada apenas pelo sistema de cultivo, tendo o solo sob sistema de semeadura direta produzido 15,5 % mais grãos do que o sistema convencional (NUNES et al., 2011).

Avaliando um solo com condição inicial alta de fósforo, os modos de aplicação do fertilizante fosfatado, na sucessão do trigo e milho, não acarretou em diferença na resposta da produtividade das culturas (PAVINATO; CERETTA, 2004). Solos com teores de fósforo acima do teor crítico, onde a probabilidade de resposta das culturas é muito baixa, a aplicação superficial não acarreta em perda de produtividade (ANGHINONI, 1992).

Estudos mostram que em solos com alto teor de fósforo, o efeito da localização da adubação fosfatada perde importância, pois o crescimento das plantas torna-se limitado ao teor de fósforo existente no solo, já o adubo aplicado serve para manter o nível presente no solo (FONTOURA; BAYER, 2006; SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008; PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

Com tudo isso, pode-se considerar que quando os teores de fósforo estiver abaixo do adequado, o modo preferencial de aplicação do fertilizante fosfatado para a cultura da soja é o sulco de plantio, já quando a disponibilidade de fósforo estiver adequada ou alta, o modo de aplicação pode ser escolhido levando em consideração a praticidade de operação (GUARESCHI et al., 2008; PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

Para o uso da adubação superficial do fósforo, deve-se levar em consideração as condições do local, relevo e clima, pois o mesmo apresenta elevado potencial poluente dos recursos hídricos, onde o fósforo pode ser carregado pela erosão do solo e atingir cursos de água, acarretando sua eutrofização (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

Em anos com déficit hídrico, as perdas de produtividade em aplicações superficiais de fósforo devem ser cada vez maiores, na medida em que os teores de fósforo no solo forem menores, tendo em vista o movimento do fósforo por difusão o qual é dependente de umidade (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

2.5.2 Dosagem de fertilizante fosfatado

As doses de fertilizantes estabelecidas pela Comissão de Química e Fertilidade dos Solos, do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004), são a base para avaliar a quantidade de fósforo necessário para atingir um nível ótimo para as culturas, as quais são estabelecidas por um conjunto de experimentos realizados e repetidos em diferentes locais e condições de solo, sendo a prática de fertilização responsável por elevar os teores de fósforo na solução do solo, de modo a suprir a sua deficiência existente (HANSEL, 2013).

Para a definição da dosagem de fertilizante fosfatado a ser adicionada no solo depende da filosofia de adubação adotada, onde no Brasil, possui basicamente duas filosofias em uso, sendo uma a adubação de correção seguida de manutenção, e outra através da construção gradativa da fertilidade do solo (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

Ambas as filosofias de adubação visam o incremento da disponibilidade de fósforo no solo para a absorção pelas plantas, a partir da aplicação de doses recomendadas de fertilizantes, com isso, a dose deve ser ajustada seguindo o teor de fósforo presente no solo e a quantidade de nutriente que será exportada pela cultura, além da quantidade necessária para alcançar ou manter a fertilidade acima do nível crítico (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

A mudança do sistema de cultivo convencional para o plantio direto, alterou a profundidade de amostragem do solo e o aumento no rendimento das culturas, com isso, ao longo do tempo podem alterar os teores críticos de P, as faixas de fertilidade e as quantidades de fertilizantes recomendado para as culturas (SCHLINDWEIN, 2003; SCHLINDWEIN; GIANELLO, 2008; FIORIN; BERTOLLO; WYZYKOWSKI, 2012).

Isso pode ser comprovado por estudo avaliando a calibração de métodos de determinação do fósforo, onde verificou-se que os teores críticos de fósforo em solos sob sistema plantio direto em cultivo com soja, trigo e milho são maiores do que os atualmente

recomendados pela (CQFS-RS/SC, 2004), tanto para solos amostrados na camada de 0–20 cm como na de 0–10 cm de profundidade, além disso, verificou-se que as doses de fertilizantes fosfatados para as culturas de soja e milho, obtidas no trabalho em sistema plantio direto, considerando-se a produção de 90 % do rendimento máximo, são maiores do que as recomendadas atualmente pela (CQFS-RS/SC, 2004) evidenciando a necessidade de novos estudos de calibração (SCHLINDWEIN; GIANELLO, 2008).

2.6 O FÓSFORO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA E PECUÁRIA

No sistema de integração lavoura e pecuária, os nutrientes são ciclados e reciclados várias vezes durante o pastejo, retornando via fezes e urina dos animais de maneira concentrada. A intensa ciclagem dos nutrientes, em especial do fósforo, pode contribuir na disponibilidade às plantas do sistema de integração. Dessa forma Martins et al. (2015), encontraram através de 14 cultivos de soja, acréscimos de 38% (3 mg/dm^3) de fósforo no solo, bem como teores maiores de fósforo foliar na parte aérea da soja na ordem de 1,4 para $1,7 \text{ g kg}^{-1}$ em comparação a áreas não pastejadas.

O fósforo da solução do solo é absorvido e incorporado na biomassa vegetal, a qual é consumida pelo animal, com pequena incorporação na carne, o restante do fósforo retorna ao solo, como resíduo da pastagem e da excreta animal, através do esterco e da urina (ANGHINONI et al., 2011). A decomposição dos resíduos libera o nutriente para a solução do solo, a biomassa microbiana e para a forma orgânica, de diferentes labilidades (ANGHINONI et al., 2011).

Considerando que o fósforo se encontra na forma orgânica nos resíduos, a sua lenta liberação diminui a possibilidade de sua retenção aos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, o que leva a uma utilização mais eficiente pelas plantas (ANGHINONI et al., 2011).

O sistema agricultura e pastagem é o mais eficiente de acordo com o balanço do P total, seguido pelo sistema agricultura contínua com a utilização de fertilizantes (MACEDO, 2009). Em relação as propriedades físicas Prechac (1992), concluiu que o solo se degrada quando utilizado em lavoura contínua, recuperando-se com o plantio de pastagens de gramíneas, que quando produtivas, influenciarão positivamente na produção das culturas posteriores.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado com a cultura da soja (safra 2015/2016) na comunidade da Colônia Limeira, interior do município de Roque Gonzales/RS, localizado na região fisiográfica denominada missões do Rio Grande do Sul em um Latossolo Vermelho, pertencente à Unidade de Mapeamento de Santo Ângelo (EMBRAPA, 2013).

A área está situada entre uma latitude 28° 05' S e longitude 54° 05' O, em uma altitude média de 123 metros, apresentando o clima “Cfa” subtropical úmido, segundo a classificação de Köppen, com uma precipitação média anual de 1818 milímetros (CLIMATE-DATA.ORG, 2016).

A área vem sendo conduzida em sistema plantio direto há mais de 10 anos, sendo caracterizado pela integração lavoura-pecuária, ocupado pelo cultivo de soja e milho no verão e pecuária de corte no inverno (pastejo sob azevém perenizado). As principais características químicas da área são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Condição inicial da fertilidade do solo na profundidade de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m.

Profundidade	pH ¹	M.O ²	P ²	K ²	Argila ²	Al ²	CTC ²
m		%	---mg	dm ⁻³ ---	%	cmol _c dm ⁻³	cmol _c cm ⁻³
0-0,10	6,0	3,4	5,0	355	58,6	0,0	15,7
0,10-0,20	5,9	2,4	3,2	99	61,3	0,0	12,7

Fonte: Elaborado pelo autor.

¹pH em água; ²Mehlich⁻¹

O delineamento experimental foi de blocos casualizados (DBC), com 4 repetições, sendo os tratamentos compostos por diferentes modos de aplicação e dosagens de fósforo. Os modos de aplicação foram em superfície (a lanço), de forma manual, e na linha de semeadura (no sulco), de forma mecânica. As doses de fósforo, foram compostas pela dosagem recomendada (85 kg ha⁻¹ de P₂O₅), pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo, RS/SC (2004) e 1,5 vezes a dosagem recomendada (127,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅), através da interpretação das análises químicas do solo para uma produtividade estimada de 3 t ha⁻¹ de soja.

Desta forma, o experimento foi constituído por 7 tratamentos: T1- Testemunha (sem adubação fosfatada); T2- 100% de P no sulco de semeadura (85 kg ha⁻¹ P₂O₅); T3- 100% de P a lanço (85 kg ha⁻¹ P₂O₅); T4- 50% de P no sulco de semeadura e 50% de P a lanço (85 kg ha⁻¹ P₂O₅); T5- 100% de P no sulco de semeadura (127,5 kg ha⁻¹ P₂O₅); T6- 100% de P a lanço

(127,5 kg ha⁻¹ P₂O₅); T7- 50% de P no sulco de semeadura e 50% de P a lanço (127,5 kg ha⁻¹ P₂O₅).

A fonte de fósforo utilizada foi o superfosfato triplo (SFT com 41% de P₂O₅ e 7 a 12% de Ca). A fonte de potássio foi o cloreto de potássio (60% de K₂O), distribuído a lanço em todos os tratamentos na ocasião da semeadura, na dosagem de 60 kg ha⁻¹ de K₂O, para suprir a exportação da cultura.

A semeadura foi realizada no dia 21/11/2015, com a cultivar BMX Magna RR (Brasmax Don Mario 7.0), na densidade de semeadura recomendada de 28,2 planta m⁻², que totaliza 13 plantas por metro linear no espaçamento de 0,46 metros entre linhas. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium* na dose de 100 ml ha⁻¹.

As parcelas foram dimensionadas com 2,76 de largura por 10 metros de comprimento, totalizando 27,6 m² por tratamento. A adubação com tratamentos de P no sulco de semeadura, foi realizada com uma semeadora da marca KF geração 4.200, modelo 6040-A, equipada com um sistema de haste sulcadora e sistema de distribuição de fertilizantes do tipo rosca sem fim.

Para a regulagem da semeadora, o fertilizante foi coletado em 4 linhas da máquina e pesado após percorridos 50 metros de distância. Trabalhando-se com a média, ajustes foram realizados até alcançar a dose desejada em cada tratamento. Para cada regulagem da dose de fertilizante, a operação foi repetida 3 vezes.

O teor foliar de fósforo na soja foi avaliado no estágio de pleno florescimento (estádio R2). Para isso, amostras foliares foram obtidas nas quatro linhas centrais em cada unidade experimental, através da coleta do 3º trifólio com pecíolo a partir do ápice da planta, totalizando 30 trifólios por parcela, sendo acondicionados em sacos de papel e levados à estufa a uma temperatura de 65°C, até adquirir peso constante (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). As análises foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFFS, Campus Cerro Largo, onde para a digestão ácida seguiu-se a metodologia de Tedesco et al. (1995), e para a determinação do teor de fósforo (MURPHY; RILEY, 1962).

A produção de matéria seca foi avaliada com a coleta da parte aérea das plantas em pleno florescimento da cultura (estádio R2), avaliando 0,5 metro linear em duas linhas centrais de cada parcela, totalizando um metro linear por tratamento. As amostras foram acondicionadas em estufa a 65°C até adquirir peso constante e posteriormente pesadas.

A produtividade da soja foi avaliada no estágio de plena maturação da cultura (estádio R8), com a colheita de 4 linhas centrais de cada parcela e dois metros lineares de cada linha, descartando como bordadura as duas linhas externas e os primeiros quatro metros de cada parcela, totalizando uma área útil de 3,68 m². Após a debulha do material, determinou-se a

umidade para o ajuste dos resultados em 13%. Os rendimentos dos tratamentos com fósforo foram comparados ao rendimento do tratamento testemunha, obtendo-se o rendimento relativo através da fórmula: $RR = (\text{rendimento do tratamento avaliado} / \text{rendimento da testemunha sem P}) * 100$.

O peso de mil grãos foi avaliado com a coleta de dez sub-amostras de cem grãos cada, provenientes da porção de sementes de cada tratamento. Os grãos de soja foram contados com a utilização de equipamento contador de sementes a vácuo e pesados em balança analítica de precisão do Laboratório de Sementes da UFFS.

Os resultados foram submetidos a análise de variância, sendo suas médias comparadas entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modos de adubação e as doses de fósforo utilizadas no experimento, não influenciaram significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro, a produtividade, o peso de mil grãos, a matéria seca e o teor foliar de fósforo na soja (Tab. 2).

O rendimento dos tratamentos com fósforo em relação a testemunha sem fósforo comprovam a ineficiência dos modos de adubação, das doses e da utilização da adubação fosfatada no experimento (Tab. 2).

Resultados semelhantes foram encontrados por Lana et al. (2003), Bergamin et al. (2008), Guareschi et al. (2008), Nunes et al. (2011), em solos com teor de P abaixo do nível crítico, onde não verificaram efeito dos diferentes modos de aplicação de fósforo no solo.

A produtividade estimada de 3,0 t ha⁻¹ de soja foi superada em todos os tratamentos (Tab. 2), bem como o teor foliar de fósforo ficou entre os limites de suficiência da cultura, sendo de 2,5 a 5,0 g kg⁻¹ (SFREDO; BORKERT; KLEPKER, 2001). Estes resultados comprovam que o teor de fósforo disponível no solo supriu a necessidade da cultura.

O peso de mil grãos da soja no experimento (Tab. 2), não superou o peso característico da cultivar BMX Magna de 143 gramas, o que pode ser explicado pela ocorrência de doenças e ataque de pragas durante o desenvolvimento da cultura, prejudicando o enchimento de grãos, o que foi verificado pela presença de “grãos ardidos” na ocasião da colheita. Segundo Yang et al. (1991), a perda de rendimento devido ao ataque de pragas e doenças, está relacionado a desfolha precoce, que conseqüentemente reduzirá o tamanho e peso dos grãos.

Tabela 2: Produtividade, Rendimento Relativo, Peso de mil grãos (PMG), Teor de P foliar e Matéria seca da soja em diferentes modos de aplicação e dosagem de fósforo.

Tratamento	Produtividade	RR	PMG	P foliar	Matéria seca
	kg ha ⁻¹	%	gramas	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
Sem P	3545 a	100,0%	112,4 a	3,18 a	5218 a
100% S ¹ 85 kg ha ⁻¹	3581 a	101,0%	112,8 a	3,24 a	6745 a
100% L ² 85 kg ha ⁻¹	3558 a	100,4%	112,6 a	3,30 a	6284 a
50% S ¹ 50% L ² 85 kg ha ⁻¹	3741 a	105,5%	113,5 a	3,04 a	5831 a
100% S ¹ 127,5 kg ha ⁻¹	3589 a	101,2%	116,6 a	3,15 a	6058 a
100% L ² 127,5 kg ha ⁻¹	3674 a	103,6%	112,7 a	3,05 a	6235 a
50% S ¹ 50% L ² 127,5 kg há ⁻¹	3539 a	99,8%	114,0 a	3,08 a	6293 a
CV (%)	5,34		2,56	6,02	17,80

Fonte: Elaborado pelo autor.

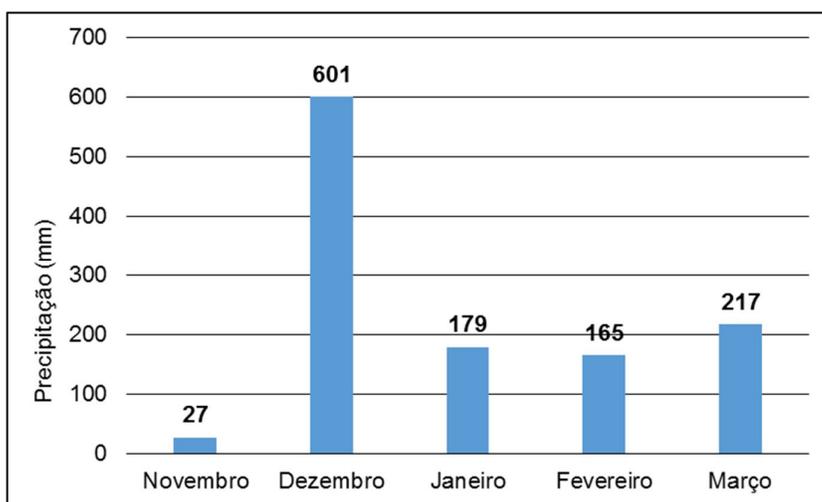
⁽¹⁾ S¹ Adubação no sulco de semeadura. L² Adubação a lanço.

⁽²⁾ RR Rendimento Relativo a testemunha sem P.

⁽³⁾ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Os altos rendimentos da cultura da soja aliados à ausência de resposta dos modos de adubação e das dosagens de fósforo podem ser explicados pelo alto índice pluviométrico ocorrido no período de desenvolvimento da cultura da soja (Fig. 1), totalizando 1189 mm durante o ciclo da cultura (19/11/2015 a 02/04/2016; COTRISA, 2015/2016). Este montante constitui uma média mensal de 268 mm, o que representa uma precipitação 177% maior que as médias mensais normais (151 mm mês⁻¹) segundo a CLIMATE-DATA.ORG (2016).

Figura 1: Precipitação durante o desenvolvimento da cultura.



Fonte: Elaborado pelo autor

O mês de dezembro apresentou a maior precipitação pluviométrica (Fig. 1), que pode ter contribuído na difusão do fósforo e sua disponibilidade para as plantas já no início do desenvolvimento da cultura, favorecendo a produtividade da soja (GRANT et al. 2005).

A alta produtividade da soja no solo com baixa disponibilidade de P era inesperada, e pode indicar uma necessidade de reavaliação dos teores críticos deste nutriente para a cultura.

A necessidade de recalibração já foi sugerida tendo em vista as alterações no manejo do solo, na profundidade de amostragem e no rendimento das culturas podem alterar os teores críticos de P, as faixas de fertilidade e as quantidades de fertilizantes recomendados para as culturas agrícolas (SCHLINDWEIN; GIANELLO, 2008; FIORIN; BERTOLLO; WZYKOWSKI, 2012).

Além disso, os principais extratores de fósforo utilizados no país, foram feitos com amostras de solo tomadas na camada arável (0-20 cm), em áreas submetidas anualmente às

práticas de aração e gradagem e sem o aporte de resíduos culturais na superfície do solo (LOPES et al., 2004).

Resultados diferentes poderiam ter sido encontrados em ano com déficit hídrico, pois a difusão do fósforo estaria prejudicada em função da falta de umidade no solo, sendo que as perdas de produtividade nas aplicações superficiais do fósforo seriam cada vez maiores na medida em que os teores de fósforo no solo fossem menores (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

Uma vez que o fósforo é transportado por difusão, a ocorrência de alta precipitação no desenvolvimento da cultura favorece o suprimento de fósforo, independente do solo conter maior concentração de P na camada superficial (0-5 cm), oriundo da aplicação a lanço ou do gradiente de nutrientes decorrente de sistemas de manejo sem revolvimento, ou na camada de (5-10 cm), resultante da distribuição no sulco de semeadura (COSTA et al., 2009).

A absorção do fósforo pelas plantas está diretamente relacionada com a concentração de íons de P na solução do solo, além da área da superfície radicular em contato com a solução (JONES; JACOBSEN, 2001). Com a ocorrência de alta precipitação no período de desenvolvimento da cultura, o sistema radicular da soja não necessitou buscar água e nutrientes em camadas mais profundas do solo, podendo ter concentrado o crescimento de raízes em camadas superficiais, ficando próximo da região onde foi depositado o nutriente aplicado a lanço ou no sulco de semeadura, além da camada superficial do solo apresentar média concentração de fósforo avaliado pela CQFS-RS/SC (2004).

O sistema radicular das culturas em geral, se desenvolvem mais densamente nos pontos em que há maior suprimento de P no solo (KLEPKER; ANGHINONI, 1993). Assim, a difusão de P é favorecida pela menor distância a ser percorrida pelo nutriente até a superfície das raízes (BASTOS et al., 2007).

Em solos com umidade alta, o aumento da disponibilidade de fósforo tem sido encontrado em vários estudos, que se referem às alterações dos fatores de capacidade e intensidade da difusão como responsáveis pelo suprimento de fósforo às raízes das plantas (KHALID; PATRICK; LAUNE, 1977; VILLANI et al., 1993). Com isso, quando o conteúdo de água no solo é elevado, o fluxo difusivo do fósforo também aumenta, independente da dosagem de P adicionada ao solo (COSTA et al., 2006; VILLANI et al., 1993).

Desta forma, em anos com alta disponibilidade hídrica ou com a utilização de sistemas de irrigação, possibilitaria a diminuição de doses de fósforo a ser utilizada nos cultivos (RUIZ, 1986). Já em anos com déficit hídrico, se poderia aumentar a quantidade de fósforo para compensar a falta de umidade, visando manter a difusão do fósforo (MAHTAB et al., 1971).

Por outro lado, a adoção do sistema plantio direto pode ser outro fator que favoreceu a difusão do P aplicado no solo, por este sistema de manejo apresentar e conservar maior teor de umidade logo abaixo dos resíduos vegetais (POTTKER, 1999).

Além disso, o sistema de cultivo caracterizado pela integração lavoura e pecuária (ILP) pode ter influenciado no suprimento de fósforo às plantas. Esta hipótese pode ser compreendida pelo efeito do pastejo do gado no azevém perenizado no inverno, em que através do corte da dominância apical do azevém, o desenvolvimento de raízes em camadas mais profundas do solo é favorecido (MARTINS et al., 2015).

Assim, a ILP ao longo dos anos aumenta a porosidade e os teores de P orgânico no perfil do solo (COSTA et al., 2015), podendo mesmo em condições de baixa disponibilidade de P no solo (via Mehlich-1), não apresentar respostas das culturas à adição do nutriente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em anos com boa disponibilidade hídrica, o modo de aplicação da adubação fosfatada não influencia na produtividade, no peso de mil grãos, no teor foliar de fósforo e na produção de matéria seca da soja.

Não há aumento na produtividade, no peso de mil grãos, no teor foliar de fósforo e na matéria seca da soja, com a aplicação de diferentes doses de fósforo em ano com boa disponibilidade hídrica, mesmo em solo com baixa disponibilidade de P.

O experimento indica a necessidade de novos estudos de modos de adubação e calibrações de doses de fósforo para solos com sistema de integração lavoura e pecuária em plantio direto, bem como em anos com diferentes condições de disponibilidade hídrica.

REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C. et al. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in Southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, Madison-EUA, v. 35, n. 4, p. 1599-1607, 2006.
- ANGHINONI, I. Uso do fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n. 2, p. 349-353, 1992.
- ANGHINONI, I. et al. Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. **Synergismus Scyentifica**, Pato Branco, v. 6, n. 2, p. 1-8, 2011.
- BARBER, S. A. A. Diffusion and mass-flow concep of soil nutriente availability. **Soil Science**, Baltimore, v. 93, n. 1, p. 39-49, 1962.
- BASTOS A. L. et al. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n.2, p. 136-142, 2007.
- BAVEYE, P. C. Looming Scarcity of Phosphate Rock and Intensification of Soil Phosphorus Research. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Paris, v. 39, n. 3, p. 637-642, abr. 2015.
- BERGAMIN, A. C. et al. 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, n. 50, p. 155-166, jul./dez. 2008.
- BREVILIERI, R. C. **Adubação fosfatada na cultura da soja em Latossolo Vermelho cultivado há 16 anos sob diferentes sistemas de manejo**. 2012, 52 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Curso de pós-graduação em Agronomia, Aquidauana, 2012.
- CLIMATE-DATA.ORG. **Precipitação**. Disponível em: < <http://pt.climate-data.org/location/313415/>>. Acesso em: 20 out. 2016.
- 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.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Perspectivas para a Agropecuária: Safra 2015/2016 - Produtos de verão. **Conab**, v.3, p. 1-130, 2015.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Monitoramento Agrícola – Safra 2016/2017. **Conab**, v. 4, n. 2, p. 1-156, Segundo Levantamento, nov. 2016.

COOPERATIVA TRITÍCOLA REGIONAL SANTO ÂNGELO - COTRISA. **Histórico de Chuvas**. 2015/2016. Disponível em: <<http://www.cotrisa.com.br/>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

COSTA, J. P. V. et al. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 828-835, out/dez. 2006.

COSTA, S. E. V. G. A. et al. Phosphorus and root distribution and corn growth related to longterm tillage systems and fertilizer placement. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1237-1247, 2009.

COSTA, N. R. et al. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n. 39, p. 852-863, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Dia de Campo na TV - Plantio direto reduz efeitos da degradação do solo**, 2011. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/dia-de-campo-na-tv/busca-de-noticias/-/noticia/2184446/dia-de-campo-na-tv---plantio-direto-reduz-efeitos-da-degradacao-do-solo-with-english-subtitles-conleyenda-en-espanol>>. Acesso em: 09 abr. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2013. 353 p.

FIORIN, J. E.; BERTOLLO, G. M.; WYZYKOWSKI, T. Adubação fosfatada e potássica para alta produtividade: proposta de nova recomendação. In: XVII SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 2012, Unicruz. **Anais...** Cruz Alta: UNICRUZ, 2012.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. **Manejo e Fertilidade de Solos em Plantio Direto**. Guarapuava, PR. Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária. 2006. 218p.

GATIBONI, L. C. et al. Biodisponibilidade de formas de fósforo Acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Porto Alegre, n. 31, p. 691-699, 2007.

GRANT, C. A. et al. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações agrônomicas**. Piracicaba-SP, n. 95, set. 2001.

GRANT, C. et al. Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. **Canadian Journal of Plant Science**, n. 85, p. 3-14, 2005.

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

HANSEL, F. D. **Fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e em linha na cultura da soja sob semeadura direta**. 2013. p.74. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, 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, Santa Maria, 2013.

JONES, C.; JACOBSEN, J. Plant nutrition and soil fertility: Nutrient Management Module. **Montana State University**, Montana, n. 2, p. 1-12, dez. 2001.

KHALID, R. A; PATRICK, J. W. H; LAUNE, R. D. Phosphorus sorption characteristics of flooded soils. Soil Science. **Society of America Journal**. Madison, v. 41, p. 305-310, 1977.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Phosphate uptake and corn root distribution as affected by fertilizer placement and soil tillage. **Agronomy (Trends in Agricultural Sciences)**, Trivandrum, v. 1, p. 111-115, 1993.

LANA, R. M. Q. et al. 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.

LOPES, A. S. et al. Sistema Plantio Direto: Bases para o Manejo da Fertilidade do Solo. **Associação Nacional para Difusão de Adubos**, p. 1-115, 2004.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v. 38, p. 133-146, jul. 2009.

MAHTAB, S. K. et al. Phosphorus diffusion in soils: I. The effect of applied P, clay content and water content. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 35, p. 393-397, 1971.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas**. 2ª edição. Potafos, Piracicaba-SP. 1997, 319p.

MARTINS, A. P. et al. **Integração Soja Bovinos de Corte no Sul do Brasil**: Grupo de Pesquisa em Sistema Integrado de Produção. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015, 102 p.

MEURER, E.J.; RHEINHEIMER, D.; BISSANI, C.A. Fenômenos de sorção em solos. In: MEURER, E.J. **Fundamentos de Química do Solo**. 3.ed. Porto Alegre: EVANGRAF, 2006. p.117-162.

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.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A Modified Single Solution Method for Determination of Phosphate in Natural Waters. **Analytica Chimica Acta**, Oxford, v. 27, p. 31-36, 1962.

NUNES, R. S. et al. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Brasília, n. 35, p. 877-888, 2011.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural**. Santa Maria, n. 6, v. 34, p. 1779-1784, nov/dez. 2004.

POTTKER, D. **Aplicação de fósforo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo. 1999. 32 p. (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**. Caxambu-MG, n. 25, p. 85-92, 2001.

PRECHAC, F.G. Propriedades físicas y erosion in rotaciones de cultivos y pasturas. **Revista Inia Inv**. Uruguay, n. 1, p. 127-140, 1992.

PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Vol 2. Brasil: International Plant Nutrition Institute-IPNI, 2010. 362 p.

RESENDE, A. V. **Adubação fosfatada e a lancha é prática de manejo sustentável?**. 2013. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=79YNwZ-g5YM>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

RUIZ, H. A. **Efeito do conteúdo de água sobre o transporte de fosforo em dois latossolos**. 1986. 86 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1986.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Brasília, n. 23, p. 1015-1018, 1999.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**. Santa Maria, n. 2, vol. 38, mar/abr. 2008.

SCHLINDWEIN, J. A. **Calibração de métodos de determinação e estimativa de doses de fósforo e potássio em solos sob sistema plantio direto**. 2003, 186 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n. 32, p. 2037-2049, 2008.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; KLEPKER, D. O cobre (Cu) na cultura da soja: diagnose foliar. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23., 2001. Londrina. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, p. 95, 2001. (Embrapa Soja. Documentos, 157).

SILVA, F. N. et al. Crescimento e produção de grãos da soja sob diferentes doses e fontes de fósforo em solos distintos. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, n. 5, v. 33, p. 1220-1227, set/out. 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**, 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. p. 719.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (Boletim Técnico 5), 1995. 174 p.

TRIGO, L. F. N. et al. Efeito do conteúdo de fósforo na semente de soja sobre o rendimento da planta resultante. **Revista Brasileira de Sementes**. Pelotas, n. 1 v. 19, p. 111-115, 1997.

VENTIMIGLIA, L. A. et al. Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 34, n. 2, p. 195-199, fev. 1999.

VILLANI, E. M. A. et al. Difusão de fósforo em solos com diferentes texturas e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, p. 343-347, 1993.

YANG, X. B. et al. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybeans infected with *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**. Baton Rouge, v. 81, p. 1420-1426, 1991.