



**DAVI REZENDE FERREIRA**

**ADUBAÇÃO FOSFATADA VISANDO O SISTEMA DE  
PRODUÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA ALTOS  
RENDIMENTOS**

**LAVRAS - MG**

**2021**

**DAVI REZENDE FERREIRA**

**ADUBAÇÃO FOSFATADA VISANDO O SISTEMA DE  
PRODUÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA ALTOS  
RENDIMENTOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira  
Orientador

Me. Júlia Rodrigues Macedo  
Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2021**

**DAVI REZENDE FERREIRA**

**ADUBAÇÃO FOSFATADA VISANDO O SISTEMA DE PRODUÇÃO COMO  
ALTERNATIVA PARA ALTOS RENDIMENTOS**

**PHOSPHATE FERTILIZATION AIMING AT THE PRODUCTION SYSTEM AS  
AN ALTERNATIVE FOR HIGH YIELD**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 19 de abril de 2021

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira

Me. Júlia Rodrigues Macedo

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira  
Orientador

Me. Júlia Rodrigues Macedo  
Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2021**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, pela vida que me proporcionou, por toda proteção, orientação, por ter me dado sabedoria, inteligência e todos os dons necessários para alcançar essa conquista.

Ao meu pai João e a minha mãe Maria Dulce, por todo amparo, apoio, auxílio e motivação.

A todos os meus irmãos e toda minha família, pelos inúmeros auxílios e suporte.

Ao Prof. Dr. Silvino Moreira, pelos conhecimentos compartilhados, por toda orientação, paciência e amizade.

A coorientadora Júlia Macedo, pela orientação e a grande ajuda na condução do trabalho.

Ao Prof. Dr. Guilherme Pimentel, pela disponibilidade e contribuição na banca examinadora.

Ao Grupo G7 Empreendimentos no Agronegócio, pela parceria.

A Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial o Departamento de Agricultura (DAG) e o Setor de Grandes Culturas, pela estrutura.

Ao Grupo de Pesquisa em Manejo de Produção (GMAP), pela ajuda, conhecimentos compartilhados e amizades.

Ao Programa Educacional Tutorial (PET Agronomia), pelo crescimento proporcionalizado e companheirismo.

A todos os professores e funcionários da UFLA, que contribuíram na minha formação.

A todos os meus amigos, que estiveram comigo nesse trajeto.

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

O manejo mais recomendado para se fazer a adubação fosfatada é a partir da aplicação de fontes solúveis de fósforo no sulco de semeadura. Porém, a aplicação deste nutriente a lanço vem ganhando espaço entre os agricultores, principalmente porque possibilita aumentar o rendimento operacional no momento da semeadura. Adicionalmente, a aplicação de P no sistema de produção tem aumentado, buscando-se aplicar todo o nutriente em uma das culturas mais exigentes no nutriente e, assim dispensando sua aplicação naquela menos exigente. Diante disso, objetivou-se estudar o efeito de diferentes formas de aplicação de fósforo nos teores de P no solo, após três anos de cultivo, e na produtividade das culturas de milho verão e feijão 2ª safra. O trabalho foi realizado na Fazenda Santa Helena, no município de Nazareno/MG, a 1020 m de altitude, em Latossolo Vermelho Amarelo com fertilidade construída, cultivado em sistema de semeadura direta há mais de 15 anos. O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados com cinco repetições. Utilizaram-se das seguintes formas de aplicação de P: Controle (sem adubação fosfatada); P no sulco de semeadura em cada cultura (safra verão e safra outono/inverno); P total do sistema de produção, aplicado a lanço antes da cultura de verão; P total do sistema de produção, aplicado no sulco da cultura do verão; P total do sistema de produção, aplicado no sulco da cultura de safra outono/inverno. Foram determinados os teores de P no solo e as produtividades das culturas. Os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, e realizado teste de média de Scott Knott. Os teores de P no solo se mantiveram em níveis altos ou muito altos, independentemente da forma de aplicação de fósforo. A produtividade do milho de verão não foi afetada pela forma de aplicação de fósforo. A maior produtividade de feijão 2ª safra foi obtida com a aplicação de fósforo no sulco de semeadura. Tais resultados mostram que o efeito da aplicação de fontes solúveis de P no sulco de semeadura das culturas é maior comparado à aplicação a lanço, em condições de ocorrência de estresse hídrico na cultura do feijão.

**Palavras-Chave:** Adubação do sistema de produção. Fósforo a lanço. Fósforo no solo.

## ABSTRACT

The most recommended management to make phosphate fertilization is the application of soluble phosphorus sources in the sowing groove. However, the application of this nutrient to haul has been gaining ground among farmers, mainly because it makes it possible to increase operating efficiency at the time of sowing. In addition, the application of P in the production system has increased, seeking to apply all the nutrient in one of the most demanding crops in the nutrient, thus dispensing its application in that less demanding one. Therefore, the objective was to study the effect of different forms of phosphorus application on the P contents in the soil, after three years of cultivation, and on the productivity corn crop in summer and second crop beans. The work was carried out on the Santa Helena Farm, in the municipality of Nazareno/MG, at 1020 m altitude, in a Red Yellow Latosol with built fertility, cultivated in a no - tillage system for over 15 years. The experimental design adopted was randomized blocks with five replication. The following forms of P application were used: Control (without fertilization); P in the sowing furrow in each crop (summer crop and autumn/winter crop); P total of the production system applied to haul before the summer crop; P total of the production system applied in the furrow of the summer crop; P total of the production system applied in the furrow of the autumn/winter crop. Soil P content and crops productivity were determined. The data were subjected to analysis of variance at a 5% probability level, and Scott Knott's mean test was performed. The P contents in the soil remained at high or very high levels, regardless of the form of phosphorus application. Summer corn productivity was not affected by the form of phosphorus application. The highest productivity of second crop beans was obtained with the phosphorus application in the sowing furrow. Such results show that the effect of the application of soluble phosphorus sources in the crop sowing furrow is greater compared to the application to haul, under conditions of occurrence of water stress in the bean culture.

**Keywords:** Fertilization of the production system. Phosphorus at the haul. Phosphorus in the soil.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1</b>	Dinâmica do fósforo no solo .....	<b>10</b>
<b>2.2</b>	Dinâmica do fósforo na planta .....	<b>13</b>
<b>2.3</b>	Formas de aplicação de fósforo .....	<b>15</b>
<b>2.4</b>	Adubação fosfatada no sistema de produção .....	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1</b>	Teores de fósforo no solo .....	<b>22</b>
<b>4.2</b>	Produtividades das culturas .....	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>29</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cada ano o Brasil se consolida cada vez mais como grande produtor mundial de grãos. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020), na safra 2019/2020 houve recorde na produção de grãos no país. A produção total foi de 257,8 milhões de toneladas, 11 milhões a mais que a safra 2018/2019, representando um crescimento de 4,5%. O crescimento também acontece na área plantada e na produtividade das culturas, que apresentaram aumento de 4,2% e 0,3% respectivamente.

Em Minas Gerais, a produção de grãos também vem aumentando a cada ano. Nas Mesorregiões Campos das Vertentes e Sul de Minas, destacam-se as culturas de milho, soja, feijão e trigo.

A região do Campos das Vertentes apresenta algumas particularidades de solo, topografia e clima que devem ser consideradas para tomada de decisão sobre algumas técnicas agronômicas (HICKMANN, 2014). Dentre essas, podem ser citadas a adubação fosfatada realizada a lanço em substituição à adubação convencional em sulco de semeadura, e a aplicação do fósforo total do sistema de produção, visando adubar apenas a cultura mais responsiva.

De acordo com a literatura, tecnicamente a recomendação de adubação fosfatada deveria ser realizada com a aplicação de fontes solúveis de P no sulco de semeadura durante a semeadura de cada cultura. Pois, isso promoveria maior eficiência na aquisição deste nutriente pelas plantas, bem como, menores perdas, diminuindo-se a interação entre o P e o solo (NUNES et al., 2006).

Porém, buscando-se realizar todas as semeaduras das culturas dentro da melhor “janela” de semeadura e, evitar atrasos e perdas de tempo na semeadura, é crescente entre os agricultores a adoção da aplicação de fósforo a lanço em área total (BARBOSA et al., 2015). Essa adubação pode ser feita antes da semeadura, obtendo-se assim, maior rendimento operacional, uma vez que se retira uma operação e assim, não se faz necessário reabastecer a caixa de adubo das semeadoras durante a semeadura.

Apesar de o fator operacional ter grande impacto na decisão das operações de manejo das fazendas, outros pontos devem ser analisados, visto que a região do Campos das Vertentes apresenta topografia acidentada e solo com tendência ao voçorocamento e isso traz preocupação em relação as adubações feitas a lanço. Além disso, situações de

formação de erosões são comuns nas áreas da região, podendo ocorrer com isso perdas do adubo por escoamento superficial também.

Outro ponto que deve ser considerado nas decisões sobre a forma de adubação fosfatada está relacionado à perda de P em solos com baixa fertilidade e acidez não corrigida. Muitas vezes esses solos apresentam altos teores de  $Al^{3+}$  e  $Fe^{3+}$ , que podem combinar com o íon fosfato, formando fosfatos de ferro e fosfatos de alumínio, reduzindo a disponibilidade de P às plantas (SANDIM, 2012). Outra preocupação sobre a aplicação de P a longo prazo é a tendência em haver acúmulo do nutriente em camadas superficiais do solo (LACERDA; STEPHAN, 2016), uma vez que o P possui baixa mobilidade no solo, sendo assim, isso poderá prejudicar o crescimento e o desenvolvimento das raízes das culturas em profundidade, visto que o P é um dos nutrientes que mais contribui para o crescimento destas (ROSOLEM; MARCELO, 1998).

Dessa forma, buscou-se avaliar a produtividade das culturas do milho e feijão, submetidas a diferentes formas de aplicação fosfatada, bem como a disponibilidade de fósforo no solo, após três anos de cultivo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Dinâmica do fósforo no solo

O fósforo é um nutriente que apresenta dinâmica complexa no solo, interagindo-se com microrganismos, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato, e com partículas com propriedades coloidais do solo (orgânicas ou minerais de argila) (PROCHNOW et al., 2017).

Para entender melhor essa dinâmica, o fósforo do solo é dividido em dois grandes grupos, fósforo inorgânico (Pi), quando ligado à fração mineral, e fósforo orgânico (Po), quanto ligado às formas orgânicas, como matéria orgânica, microrganismos e humos. Nos solos jovens, que sofreram pouco ou moderado processo de intemperização, como Neossolos, Chernossolos e Vertissolos, ainda ocorre fósforo em minerais primários, originados da rocha de origem, mas a maior parte deste nutriente já se encontra na forma orgânica, ou na forma inorgânica, adsorvida fracamente aos minerais secundários. Com o avanço do intemperismo no solo há um aumento na disponibilidade de cargas positivas, que aumentarão a relação fonte-dreno entre coloides do solo e o fósforo disponível. Sendo assim, em solos intemperizados, como os Latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente (SANTOS et al., 2008).

Os compostos de fósforo presente no solo são classificados como fosfatos lábeis e não-lábeis, de acordo com o maior ou menor grau de estabilidade de ligação destes compostos com a fração mineral ou com as formas orgânicas. O fosfato lábil é representado pelo conjunto de compostos fosfatados, capazes de repor rapidamente a solução do solo. O retorno do P-lábil ao solo varia de acordo com o grau de intemperização do solo, da mineralogia, do teor de matéria orgânica, das características físico-químicas, da atividade biológica e da vegetação predominante (WALKER; SYERS, 1976; CROSS; SCHLESINGER, 1995). Dessa forma, pode-se dizer que os processos geoquímicos e biológicos transformam os fosfatos naturais em formas orgânicas (Po) e inorgânicas (Pi) estáveis e distribuem o fósforo entre os compartimentos do ambiente (SANTOS et al., 2008).

O fósforo presente na solução do solo, pode ser absorvido pelas plantas e/ou adsorvidos pelos coloides, como os óxidos de ferro e alumínio. Esta adsorção se dá nos grupos OH e  $\text{OH}^{2+}$ , ligados mono e tricordenadamente ao metal (Fe ou Al), que são trocados pelo íon ortofosfato, caracterizando-se o fenômeno de troca de ligantes (BARROW, 1983). Dessa forma, em solos argilosos com elevada capacidade de adsorção, o nutriente oriundo da fonte solúvel é rapidamente convertido a formas menos disponíveis reduzindo-se assim sua eficiência (LOURENZI et al., 2014). Além disso, os solos tropicais tendem a apresentar originalmente baixas quantidades de P, aumentando a competição entre as plantas e os coloides (NOVAIS et al., 2007) pelo nutriente. Por esse motivo, para viabilizar os cultivos deve-se adubar com uma quantidade maior de fósforo do que aquela exportada pela cultura (RAIJ, 2011), “adubação” esta, conhecida como fosfatagem corretiva.

A adsorção do fósforo pelos coloides na solução do solo varia de acordo com o teor e mineralogia da argila, quantidade de coloides amorfos, matéria orgânica, pH e alumínio trocável (BRENNAN et al., 1994; FONTES; WEED, 1996; MEHADI; TAYLOR, 1998). Porém, o pH e a presença de alumínio trocável no solo, contribuem de forma pouco expressiva na adsorção do íon fosfato, isso porque, a maior perda é devido à presença de óxidos de Fe e Al, a qual pode ocorrer em ampla faixa de pH (MOREIRA et al., 2006).

O incremento de matéria orgânica ao solo é uma alternativa para redução da adsorção de fósforo, com aumento da eficiência de uso do nutriente nos solos (PEREIRA et al., 2010). Assim, há uma eficiência no aproveitamento de adubos fosfatados pela redistribuição de fósforo orgânico no solo, atuando como uma forma mais estável do elemento e menos suscetível à fixação (MORETI et al., 2007).

Além das plantas competirem com os óxidos de Fe e Al (adsorção) pelo fósforo no solo, quando o nutriente é aplicado, uma parte ainda pode ser precipitada aos íons e  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  em condições ácidas, e com  $\text{Ca}^{2+}$  em condições alcalinas, tornando-o indisponível às plantas em seu tempo de cultivo (NOVAIS et al., 2007).

Para minimizar as perdas por precipitação, o que se deve fazer é a correção da acidez do solo, pois quando o pH em água do solo for igual ou superior a 6,0, praticamente todo o  $\text{Al}^{3+}$  é neutralizado (RAIJ, 2011) e o  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  são oxidados. A precipitação de P com  $\text{Ca}^{2+}$  ocorre em pH próximo a 7,0 o que não é comum em solos brasileiros. No

entanto, nos últimos anos tem-se preocupado com esse tipo de perda em solos que receberam a aplicação de fósforo a lanço na superfície, onde também foi realizada a aplicação de calcário em superfície, no mesmo ano (SOUSA et al., 2016).

Outra forma de perda do fósforo é por escoamento superficial ou erosão hídrica, principalmente quando aplicado a lanço. Esta perda também é influenciada pela concentração do íon ortofosfato na água e nos sedimentos (GUADAGNIN et al., 2003). O manejo do solo também é muito importante para evitar tais perdas, solos que são preparados de forma convencional, passando por revolvimentos, estão mais propícios à erosão. Em contrapartida, manejos mais conservacionistas como o sistema de plantio direto, que visa manter a palhada sobre o solo, apresenta maior resistência às erosões hídricas. Outro fator importante, é a alta declividade do solo, onde a erosão torna-se mais preocupante.

Além das perdas por adsorção, precipitação e escoamento superficial, as plantas ainda encontram outro desafio para encontrar o fósforo na solução do solo. O fósforo é um nutriente pouco móvel no solo, em que cerca de 90% de seu transporte até as raízes se dá principalmente por difusão (FOTH e ELLIS, 1997), sendo os outros 10% absorvido por fluxo de massa ou interceptação radicular.

A difusão se dá pelo movimento térmico e aleatório de íons na solução do solo em curtas distâncias de uma região de maior para outra de menor concentração (RUIZ et al., 2010). A absorção de nutrientes pela raiz diminui a concentração dos íons nesta região e favorece a difusão em direção à superfície radicular. Quando a difusão é lenta, cria-se uma zona de esgotamento do nutriente próximo à superfície da raiz. Para que os íons sejam absorvidos de forma eficiente, dependem não só da concentração destes em solução, como também de uma maior superfície de contato das raízes com os íons e da quantidade de água na solução (JONES; JACOBSEN, 2001).

Diversos fatores ainda podem interferir no processo de difusão do íon fosfato na solução do solo, tais como temperatura, teor de água no solo, poder tampão, atividade de microrganismos, atributos mineralógicos, físicos e químicos do solo (HORST et al., 2001; SANTOS et al., 2008), bem como pela adição do fosfato à solução, por meio de fertilizantes, e das fontes utilizadas (LEWIS; QUIRK 1967). Em solos com o pH mais elevado, com maior presença de Ca, há a indução de mudanças na forma iônica  $H_2PO_4^-$

para  $\text{HPO}_4^{2-}$ , que também pode resultar em redução da difusão do íon de fosfato (LEWIS e QUIRK, 1967).

## 2.2 Dinâmica do fósforo na planta

O fósforo é absorvido pelas plantas na forma de ânions  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Após a absorção realizada pelas raízes das plantas, o fósforo é transportado pelo xilema e redistribuído na planta.

O P é um macronutriente essencial os vegetais, sem ele seria impossível que os mesmos atingissem o crescimento e maturidade normal. Como fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), o P atua como componente integral de compostos das células vegetais, incluindo intermediários da respiração e fotossíntese, fosfato-açúcares e fosfolipídeos, que compõe as membranas vegetais (TAIZ; ZAINGER, 2013). O nutriente atua como constituinte de compostos de alta energia, como adenosina trifosfato (ATP) e derivados do inositol (fitinas). Sendo assim, é um componente de nucleotídeos fundamentais para a planta armazenar e transferir energia em seus processos metabólicos (TAI e ZEINGER, 2009). Além disso, o P possui papel fundamental na síntese e degradação de macromoléculas, como amido, proteínas e gorduras (FAQUIN, 2005). Perante tais fatores, quando em baixos teores no solo, a planta tem seu crescimento prejudicado (KIMANI e DERERA, 2009). Certamente, é o nutriente que mais limita o crescimento das plantas nos solos das regiões tropicais (FAQUIN e RODAS, 2015).

A absorção do P é maximizada por melhores condições das raízes, segundo Bhadoria et al. (2004). “Plantas com maior capacidade de extrair o fósforo são aquelas que possuem sistema radicular abundante e que produzem exsudatos capazes de acidificar a rizosfera, favorecendo a solubilização dos fosfatos naturais menos reativos, insolúveis em água, que necessitam de acidez para que alguma dissolução se inicie”.

Diversos fatores podem influenciar o crescimento do sistema radicular das plantas, dentre eles, a presença de P na solução do solo (ELWAN, 1993). Regiões com alta disponibilidade de P, provocam modificações na arquitetura do sistema radicular, de tal forma, que faz com que ocorra maior proliferação das raízes, principalmente em direção ao nutriente (AMTMANN et al., 2006).

O fósforo é importante em todos os estádios das culturas, porém os problemas se agravam quando a falta do nutriente ocorre nos estádios iniciais. Devido as suas diversas funções no metabolismo das plantas, um desequilíbrio nutricional nos estádios iniciais de crescimento limitaria o potencial produtivo das culturas (GRANT et al., 2001). As faltas do nutriente nos estádios seguintes aos iniciais também acarretariam perdas de produtividade, porém em um reflexo menor (GRANT et al., 2005). Na cultura do milho, Lauzon e Miller (1997) demonstraram que a falta de P nos estádios V4 e V5 causou maiores perdas no rendimento de grãos, quando comparado as faltas do nutriente nos estados subseqüentes.

Na cultura do feijão Schoninger et al. (2015) demonstram que o incremento de P conferiu maior altura de plantas, aumento de massa seca da parte aérea, maior número de vagens por planta, maior número de grãos por vagens, e conseqüentemente maior produtividade da cultura.

O suprimento de P em quantidades adequadas às plantas, permite maior crescimento do sistema radicular, tanto em comprimento quanto em massa, o que é essencial para absorção de água e nutrientes em maiores profundidades (KLEPKER e ANGHINONI, 1996). O maior crescimento e densidade de raízes podem ser observados em camadas do solo, as quais apresentam teores adequados de P, podendo se restringir a superfície ou não (CRUSCIOL et al., 2005; SILVA-OLAYA et al., 2017).

Na planta ao contrário do que acontece no solo, o fósforo apresenta alta mobilidade, podendo ser redistribuído por meio do floema a todas as partes das plantas, se movimentando das folhas mais velhas para as mais novas. Dessa forma, os sintomas de deficiência, inicialmente, ocorrem nas folhas mais velhas. Estas podem mostrar uma cor amarelada, pouco brilho, cor verde-azulado; em algumas espécies pode ocorrer uma tonalidade arroxeada como, por exemplo, no milho, eucalipto e café (FAQUIN e RODAS, 2015). As conseqüências da falta deste nutriente é emergência e crescimento lento em plantas jovens, má formação das folhas, que podem conter pequenas manchas de tecido morto, denominado manchas necróticas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Segundo AMADO et al. (2010), a deficiência deste nutriente no solo reduz o crescimento das plantas, bem como o potencial produtivo das culturas.

### 2.3 Formas de aplicação de fósforo

Se tratando de adubação fosfatada, essa pode ser realizada de forma corretiva (fosfatagem). Neste caso, a aplicação se dá em área total, com sua incorporação ao solo, visando elevar a disponibilidade de P a níveis adequados para as culturas (SOUSA et al., 2016). Também há a fosfatagem corretiva gradual, a qual consiste na correção dos teores de fósforo no solo de forma gradativa, aplicando doses maiores de P do que as exigidas pelas culturas na semeadura e assim aumentando aos poucos o fósforo no solo. A adubação fosfatada corretiva geralmente é realizada em áreas de abertura ou reabertura.

Outra maneira de aplicação de P é através da adubação de manutenção, onde acontece a aplicação no sulco durante a semeadura das culturas, visando a adubação da cultura no ano em questão, e é recomendada quando a disponibilidade de P é adequada ou alta. As doses devem ser suficientes para a manutenção do potencial produtivo da cultura na área (SOUSA et al., 2016). Porém, nos últimos anos em substituição dessa aplicação no sulco durante a semeadura, tem crescido entre os agricultores a adubação fosfatada a lanço (BARBOSA et al., 2015), geralmente utilizando-se doses maiores que na adubação de manutenção em sulco, aplicadas na superfície do solo.

A forma de aplicação de fósforo é um fator de grande relevância, uma vez que pode alterar a velocidade com que o nutriente reage no solo, e assim, determinar o grau de eficiência e de disponibilização de P via adubação (BREVILIERI, 2012). Segundo Nunes et al. (2006), a forma mais recomendada de adubação fosfatada é via aplicação de fontes solúveis de P no sulco de semeadura, visando maior eficiência na aquisição deste nutriente pelas plantas. Porém, a aplicação a lanço vem conquistando os agricultores, devido ao alto rendimento operacional no momento da semeadura.

De acordo com Sousa et al. (2016), para a adubação fosfatada de manutenção, a escolha da forma de aplicação do fertilizante fosfatado dependerá de diversos fatores como a fonte, sistema de preparo, teor de fósforo no solo, sistema de cultivo e declividade do terreno.

É importante destacar que há uma íntima relação entre o local de aplicação do P e o crescimento radicular, observando-se maior proliferação de raízes nos pontos de maior concentração do elemento no solo (PROCHNOW et al., 2017). Em um trabalho realizado por Sousa et al. (2016) em solos sob Sistema de Plantio direto (SPD) com disponibilidade inicial de P muito baixa, a aplicação a lanço na superfície do solo resultou em menor

produtividade nos dois primeiros anos de cultivo, em relação ao sulco. Essa é a razão pela qual não se recomenda adubação fosfatada a lanço no SPD antes que o solo esteja no nível adequado de disponibilidade de P (SOUSA et al., 2016). Na ausência de P, as raízes possuem dificuldade em se desenvolver (MOREIRA, 2004), sofrendo danos por envelhecimento radicular. Além disso, a aplicação de fósforo a lanço pode favorecer o crescimento das raízes em superfície, sem o desenvolvimento dessas em profundidade, o que, quando conciliado com situações de veranico, o qual ocorre o secamento da superfície do solo em direção as camadas profundas do solo, pode resultar em maior estresse da planta pela falta de água.

Outra preocupação com a aplicação de fósforo a lanço está relacionada a solos declivosos, onde pode ser observado ocorrência de erosão hídrica. Dessa forma, algumas práticas conservacionistas são requisitos básicos para a utilização da adubação fosfatada a lanço, como o terraceamento, o cultivo em nível, o uso de plantas de cobertura, mantendo o solo com cobertura vegetal durante todo o ano (SOUSA et al., 2016). Ressalta-se ainda que em solos sob SPD, no ano da aplicação de calcário em superfície, há preocupação também com o contato direto do P aplicado a lanço com o corretivo, o que pode levar à formação de fosfato de cálcio, uma forma do nutriente indisponível às plantas (CASTRO et al., 2016).

Apesar disso, acredita-se que a aplicação de fósforo a lanço pode ter efeito positivo em condições de solos com altos teores de P e fertilidade construída. Estes solos já apresentam condições físicas, biológicas e químicas adequadas para que as culturas expressem seu potencial produtivo (KAPPES; ZANCANARO, 2013). No entanto, sob estas condições, em situações pontuais, poderia se pensar até mesmo na adubação com P do sistema de produção, visando adubar mais intensamente a cultura mais exigente e deixando de aplicar o P na semeadura da cultura menos exigente (ALTMANN, 2012). Portanto, esse manejo de adubação fosfatada não é recomendado se fazer todo ano, podendo ter efeitos negativos a longo prazo.

O ganho operacional na execução de atividades durante a semeadura das culturas é um fator muito importante para garantir que estas sejam realizadas dentro das épocas mais recomendadas, não havendo perdas de produtividade. Porém é preciso considerar a estabilidade na produção ao longo dos anos, construindo a fertilidade dos solos em

profundidade, tornando as lavouras menos vulneráveis às variações na distribuição de chuvas.

#### **2.4 Adubação fosfatada no sistema de produção**

O sistema de produção pode ser definido pelo conjunto de sistemas de cultivo, que é composto por práticas comuns de manejo, visando uma espécie vegetal, com a finalidade de produção da mesma e que vai desde a elaboração de um planejamento até o processo de pós-colheita do produto. Tendo isso em vista, o sistema de produção pode ser classificado quanto a sua complexidade, podendo ser monocultivo, sistema em sucessão de culturas, sistema em rotação de culturas, sistema em consorciação de culturas e sistema de integração (HIRAKURI et al., 2012).

Em se tratando de adubação das culturas nos sistemas de produção de grãos com rotação e/ou sucessão de culturas, a mesma pode ser realizada visando suprir cada cultura separada. Esse manejo da adubação deve ser priorizado em áreas com solos arenosos para nutrientes como N e K, pois estes nutrientes são mais facilmente perdidos (ALTMANN, 2012). Porém, nos últimos anos vem crescendo cada vez mais entre os agricultores a adubação do sistema, que é uma tecnologia que visa adubar o sistema de produção como um todo e não apenas uma única cultura (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2010).

Mesmo para o P, a adubação de sistemas não deve ser inserida nesta forma de adubação do sistema de produção com solos ácidos e com baixa fertilidade. Isso porque a aplicação a lanço expõe as partículas do adubo em maior contato com o solo, e assim, as perdas serão mais acentuadas e os reflexos serão sentidos em redução da produtividade (ALTMANN, 2012). Desse modo, para que não hajam perdas de produtividades das culturas, essa tecnologia, no caso da adubação fosfatada, deve ser restrita a solos que já apresentam níveis adequados e/ou altos de P no solo. Além disso, esse tipo de adubação necessita de alguns requisitos e cuidados para com a área, como a adoção do SPD e presença de palha no sistema (ALTMANN, 2012).

Em muitos casos, onde o nível de fertilidade do solo é interpretado como alto ou muito alto, é comum que os agricultores continuem adubando com quantidades fixas de N, P e K, por temerem a redução de produtividade. Essa prática tem resultado em adubações desnecessárias ou superdimensionadas, com baixa eficiência de uso dos

fertilizantes (BENITES et al., 2010). São nessas áreas que a adubação do sistema pode surtir melhores efeitos. De acordo com Lacerda et al. (2015) é possível que lavouras conduzidas nesses solos possam manter inalterados os patamares produtivos, mesmo com uso de menores quantidades de fertilizantes, o que teria reflexos positivos sobre a rentabilidade dos empreendimentos.

Para a adoção dessa técnica deve haver um bom planejamento do sistema de rotação de culturas, preconizando-se que a cultura sucessora seja beneficiada pela cultura antecessora, para evitar problemas futuros à lavoura (ALTMANN, 2012). Também é importante conhecer as necessidades nutricionais de cada cultura, saber quais são as culturas que tem maior resposta à adubação, que no caso da produção de grãos com milho, soja e feijão e trigo, são as culturas de milho, feijão e trigo. Neste caso, estas culturas podem receber maiores doses de adubos, acima de suas necessidades nutricionais, e as culturas menos responsivas como a soja seriam cultivadas com uma dose de arranque e com a adubação residual da cultura anterior (ALTMANN, 2012).

A adubação do sistema pode surtir efeitos positivos na rentabilidade e no operacional para os produtores, porém necessita de mais estudos de sua adaptação na região deste presente trabalho, Campo das Vertentes em Minas Gerais, e dos impactos nas produtividades das culturas, principalmente no caso de aplicação de fósforo a lanço.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Santa Helena, situada a 21° 15' 40'' de latitude sul e 44° 30' 30'' de longitude oeste, a 1020 m de altitude, no município de Nazareno, mesorregião do Campo das Vertentes, MG. O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2013), de textura argilosa, com fertilidade construída, em área manejada há mais de 15 anos sob sistema de plantio direto (SPD). O solo apresenta relevo levemente ondulado, sem tendência ao voçorocamento.

Antes da implantação do experimento, na safra 2015/2016, foi realizada análise do solo, caracterizando os atributos químicos nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 0 a 20 cm (Tabela 1), e o teor de argila no solo é de 50%.

Tabela 1 – Propriedades químicas do solo antes da implantação do experimento.

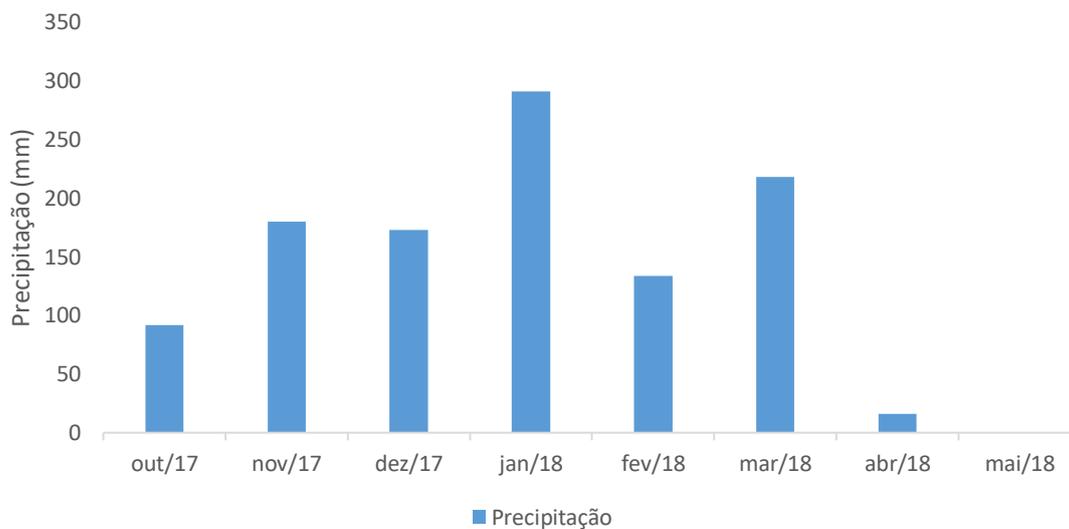
Profundidade	pH	K	P <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	Ca	Mg	Al	H+Al	t	T	V	
(cm)	(H <sub>2</sub> O)	-----( $\text{mgdm}^{-3}$ )-----	-----( $\text{cmolcdm}^{-3}$ )-----		-----( $\text{cmolcdm}^{-3}$ )-----							(%)
0-10	6,1	106	5,8	30	2,7	0,6	0,0	2,4	3,5	5,9	60	
10-20	5,5	101	5,1	25	1,5	0,4	0,0	4,1	2,2	6,3	37	
0-20	6,0	109	5,2	30	2,1	0,5	0,0	2,6	2,8	5,5	52	

<sup>1</sup>P-Mehlich 1. <sup>2</sup>P-Resina.

O experimento foi iniciado na safra 2015/2016, a partir daí se aplicaram os tratamentos com diferentes formas de aplicação de fósforo em todos os cultivos que passaram na área. Os resultados apresentados nesse trabalho são da safra 2017/2018, quando se completou três anos da submissão da área aos diferentes tratamentos.

Na safra 2017/2018 foram implantadas a cultura do milho na safra verão e a cultura do feijão na segunda safra. A cultivar de milho utilizada foi DKB 230 PRO3, semeado em outubro de 2017 e colhido em fevereiro de 2018. Logo após a colheita do milho foi realizada a semeadura de feijão ainda no mês de fevereiro de 2018, sendo utilizada a linhagem de feijão vermelho VR20, com a colheita realizada em maio de 2018. No Gráfico 1, seguem os dados das precipitações pluviométricas mensais durante a safra 2017/2018 e safrinha 2018, de acordo com a estação pluviométrica localizada na própria fazenda.

Gráfico 1 – Dados de precipitação pluviométricas mensais durante o ciclo das culturas de milho e feijão.



O delineamento experimental foi de blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e cinco repetições. Dessa maneira, se obteve 25 parcelas experimentais, com dimensões de 18 metros de largura por 30 metros de comprimento, totalizando-se 540 m<sup>2</sup> cada. A largura da parcela correspondeu a duas passadas da semeadora de grãos da fazenda.

Os tratamentos corresponderam a diferentes formas de aplicação da adubação fosfatada nas culturas de milho na safra verão e feijão em segunda safra e no sistema de produção como um todo, descritos a seguir: tratamento 1: controle (sem adubação de P em nenhuma cultura); tratamento 2: aplicação de P no sulco de semeadura em cada cultura (adubação convencional); tratamento 3: P total do sistema de produção, aplicado a lanço antes da semeadura da cultura de verão; tratamento 4: P total do sistema de produção, aplicado no sulco da cultura de verão; tratamento 5: P total do sistema de produção, aplicado no sulco da cultura de outono/inverno.

A adubação fosfatada para a cultura do milho (DKB 230 PRO3) correspondeu a 92 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sendo utilizado o formulado 09:43:00. Para a cultura de feijão (VR20) a adubação fosfatada correspondeu a 66 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, também do formulado 09:43:00. Para os tratamentos com aplicação de P total do sistema em apenas uma cultura, a adubação fosfatada foi composta pela soma da adubação das duas culturas, ou seja, 158 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sendo utilizado o formulado 09:43:00.

As adubações com nitrogênio e potássio foram realizadas com a mesma dose e fontes utilizadas pelo produtor. No caso da adubação nitrogenada foi feita uma correção para a dose aplicada, descontando-se a quantidade já fornecida pelo adubo fosfatado 09:43:00. Já o fornecimento de K também foi com dose e fonte definida pelo produtor, aplicado a lanço antes da semeadura.

A escolha das cultivares implantadas, bem como, as quantidades e fontes para a adubação fosfatada, assim como todo o manejo fitossanitário na área, foram os mesmos adotados pelo produtor de acordo com suas necessidades.

Ao final do ciclo de cada cultura, foi realizada a estimativa de produtividade. Para isso, foram colhidas três linhas de cinco metros de comprimento na região central de cada parcela, para garantir ausência de efeito bordadura. As culturas foram implantadas com espaçamento de 0,6 m entre linhas, dessa forma se obteve uma área útil de 9 m<sup>2</sup> para estimativa de produtividade. Após a colheita houve o beneficiamento das parcelas e realizaram-se a pesagem dos grãos, medição de umidade e conversão para umidade de comercialização de 13%, estimando-se assim a produtividade real.

Após a colheita do milho, na safra verão, foi realizada coleta de solo para análise de forma aleatória, com 5 pontos por parcela, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, conforme metodologia descrita por SILVA (1999). Dessa forma, tornou-se possível verificar a possível tendência de acúmulo de P em superfície, em razão das diferentes formas de aplicação do nutriente.

No final, todos os dados de produtividade e teores de P no solo, foram submetidos à análise de variância e os fatores com diferença significativa foram comparados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando-se o software Sisvar®, versão 5.6 (FERREIRA, 2014).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Teores de fósforo no solo

Antes da implantação do experimento, os teores de P no solo, extraível por resina nas camadas de 0-10, 10-20 e 0-20 cm (TABELA 1), de acordo com Sousa et al. (2004), são considerados em um nível alto. Isso, devido ao bom manejo da fertilidade do solo adotado pelo produtor por cerca 15 anos, com o solo sendo conduzido sob SPD.

Após três anos da montagem do experimento e seis cultivos na área, avaliaram-se os efeitos das formas de aplicação de fósforo nos teores de P no solo, em diferentes camadas do solo. Os dados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Teores de fósforo no solo, em função de diferentes formas de aplicação do adubo fosfatado, em diferentes profundidades (cm), com diferentes extratores. Fazenda Santa Helena, Nazareno, MG.

Tratamentos	P resina (mg.dm <sup>-3</sup> )			P Mehlich 1 (mg.dm <sup>-3</sup> )		
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
Controle	22 Ac	17 Ab	10 Bb	6 Aa	3 Ba	3 Ba
Adubação no sulco em cada cultura (convencional)	26 Ab	14 Bb	13 Ba	6 Aa	2 Ba	1 Ba
Adubação do sistema (lanço na safra verão)	31 Ab	18 Bb	6 Cb	4 Ab	2 Ba	1 Ba
Adubação do sistema (sulco na safra verão)	42 Aa	26 Ba	15 Ca	3 Ab	2 Ba	1 Ba
Adubação do sistema (sulco na safra outono/inverno)	46 Aa	26 Ba	15 Ca	4 Ab	1 Ba	1 Ba

Letras maiúsculas comparam teores de P entre diferentes profundidades, dentro de uma mesma forma de manejo do P e, letras minúsculas, comparam tratamentos na mesma profundidade. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

Em todos os tratamentos, com exceção do controle, onde não houve aplicação de P, houve um maior acúmulo de fósforo na camada de 0 a 10 cm de profundidade em relação a camada de 10 a 20 cm, tanto quando utilizado o extrator Resina como quando o Mehlich-1. Portanto, esse efeito já era esperado devido à baixa mobilidade do P no solo (NOVAIS et al., 2007) e pelo manejo sob SPD, sem revolvimento do solo. Nestas condições, existe uma tendência natural de acúmulo de P na camada superficial, que pode ser observada tanto com aplicações de P no sulco, como aplicações a lanço, conforme observado por NUNES et al. (2011) e SOUSA et al. (2016). Além disso, como não há revolvimento do solo cultivado sob SPD, há diminuição da superfície de contato do P aplicado com os colóides e, desse modo, redução das reações de adsorção do P, aumentando assim sua disponibilidade (SÁ, 1995).

Nos solos sob SPD há uma maior concentração de nutrientes de forma geral nas camadas superficiais. No caso específico do P, resultados de pesquisas de longa duração em diversas localidades têm demonstrado o aumento dos teores de P na camada superficial (0 a 5 cm) (SELLES et al., 1997; RHOTON, 2000; MOTTA et al., 2002).

Outro motivo para esse acúmulo de P na camada superficial do solo é o fato das semeadoras de grandes culturas, de forma geral, conseguirem colocar o adubo até no máximo 10 cm de profundidade (DENARDIN et al., 2008), concentrando-se o nutriente nesta camada do solo.

Segundo Moreira et al. (2001), melhores uniformidades na distribuição de nutrientes nas camadas do solo, foram encontradas em cultivos sob SPD há nove anos, quando comparados com solos há três e seis anos sob SPD. Segundo CROZIER et al. (1999), com o aumento do tempo de cultivo sob SPD, a distribuição dos nutrientes no perfil do solo tende a ser mais homogênea. Porém, isso tem sido mais observado para nutrientes com maior mobilidade no solo, como o Ca, Mg e K, do que para o P.

Quando utilizado o extrator resina, os teores de P no solo, na camada de 0 a 10 cm e também de 10 a 20 cm, foram maiores nos tratamentos com adubação do sistema, o que pode ser explicado pelo fato de que o acúmulo de P superficial pode ser intensificado quando for feita a adubação do sistema de produção (MACEDO, 2019). Na adubação do sistema, feita no sulco de semeadura, os teores de P foram maiores do que na aplicação a lanço, apesar de também ser realizada a adubação de sistema, isso pode ter ocorrido devido ao P estar mais susceptível a perdas como por escoamento superficial e

precipitação por fosfato de cálcio, quando aplicado a lanço (SOUSA et al., 2016). Porém, apesar das diferenças significativas, em todos os tratamentos de adubação do sistema (sulco ou a lanço), os teores de P se encontravam dentro de valores altos ( $21 - 35 \text{ mg.dm}^{-3}$ ) ou muito altos ( $>35 \text{ mg.dm}^{-3}$ ) para a camada de 0-20 cm, considerando o extrator Resina, como descritos por SOUSA et al. (2004).

Na camada de 20 a 40 cm de profundidade também houve diferença estatística significativa para o extrator Resina, os teores de P no solo foram menores nos tratamentos de aplicação a lanço e controle, o que sugere que houve um consumo e a não reposição do P em profundidade nesses tratamentos, consumindo uma parte do estoque de P em camadas mais profundas após os sucessivos cultivos (SOUSA et al., 2004).

Quando utilizado o extrator Mehlich-1, esse também sugeriu acúmulo de P na camada de 0 a 10 cm em todos os tratamentos, confirmando o que também apresentou quando utilizado o extrator resina. Porém, os teores de P extraídos com Mehlich 1 se apresentaram dentro da faixa de valores baixos ( $3,1$  a  $5,0 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), de acordo com SOUSA et al. (2004), nos tratamentos com adubação do sistema, e na faixa de valores médios ( $5,1$  a  $8,0 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), no tratamento de adubação convencional e no controle.

Vale ressaltar que o experimento foi conduzido em um solo com textura argilosa e com pH acima de 6,0. Nestas condições pode ter ocorrido uma possível subestimação pelo extrator Mehlich-1 na quantificação real do P disponível no solo, como descrito por SCHLINDWEIN e GIANELLO (2008). Além disso, houve altas produtividades das culturas na gleba, onde foi instalado o experimento, sugerindo que a quantidade de P no solo não foi um fator limitante da produtividade. Nas profundidades de 10 a 20 cm e de 20 a 40 cm, o extrator Mehlich-1 não apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

#### **4.2 Produtividade das culturas**

Os efeitos das formas de aplicação de P nas produtividades das culturas foi diferente para a cultura de milho e para a cultura de feijão (Tabela 3). Não houve diferença estatística significativa na produtividade de milho, cultivado durante a safra verão, isso pode ser explicado devido ao cultivo ser realizado sob um solo de fertilidade construída

com altos teores de P no solo. Além disso, a cultura do milho não passou por nenhum estresse hídrico durante seu ciclo, como pode ser observado na Gráfico 1.

Tabela 3- Produtividades das culturas de milho (1ª safra) e feijão (2ª safra) em função de formas de aplicação de fósforo. Fazenda Santa Helena, Nazareno/MG.

Tratamentos	Produtividade (kg/ha <sup>-1</sup> )	
	Milho (2017/18)	Feijão (2018)
Controle	11990 a	1956 c
Adubação no sulco em cada cultura (convencional)	11636 a	2709 a
Adubação do sistema (lanço na safra verão)	12105 a	2438 b
Adubação do sistema (sulco na safra verão)	11661 a	2094 c
Adubação do sistema (sulco na safra outono/inverno)	12645 a	2458 b
CV (%)	12,0	6,5

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

Resultados obtidos com a cultura do milho são parecidos com os observados em trabalho realizado por SOUSA et al. (2016), no SPD. Em solos com teores adequados de P, ao final de 17 cultivos, a soma das produtividades de soja e milho, cultivada com aplicação de P a lanço, e com P no sulco de semeadura foram de 91,4 e 96,6 toneladas t/ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Dessa forma, em solos com teor de P classificado como adequado ou alto, o modo de aplicação do fertilizante fosfatado solúvel não afeta a produtividade de soja e milho, em condições de adequada disponibilidade hídrica. Sousa et al. (2016) afirmam que quando os solos apresentam teores de nutrientes iguais ou acima dos níveis críticos, como no presente trabalho, eles já são suficientes para se obter de 80-90% do rendimento potencial da cultura, na ausência da aplicação do mesmo.

Além do alto teor de P no solo, durante todo o ciclo da cultura do milho, não houve nenhum estresse hídrico, dessa forma não houve limitação para o adequado transporte de P por difusão da solução do solo até as raízes. A difusão é o principal mecanismo de transporte de P no solo até as raízes das plantas (COSTA et al., 2006). De acordo com Phillips et al. (1980), os solos sob SPD apresentam maiores teores de umidade na camada superficial comparado aos solos cultivados sob sistema de plantio convencional, o que

favorece o aumento da taxa de difusão do P até as raízes das plantas. A baixa mobilidade do P no solo e a sua absorção pelas raízes ser em maior parte por difusão também são fatores que podem limitar a absorção do nutriente pelas plantas.

Para a cultura do Feijão, cultivada em 2<sup>a</sup> safra, houve diferença estatística significativa entre as formas de aplicação de P. A produtividade da cultura foi maior quando adubada de forma convencional, com o P da cultura aplicado no sulco durante a semeadura.

Como pode ser observado no Gráfico 1, a cultura do feijoeiro passou por estresse hídrico durante seu ciclo, o que afeta a disponibilidade do P para as culturas, pois para que ocorra o processo de transporte de P por difusão é necessária umidade no solo (SANTOS et al., 2008). Quando o adubo fosfatado é aplicado no sulco de semeadura ela tende a encontrar mais umidade e o fósforo fica mais próximo das raízes o que facilita seu transporte por difusão.

Além disso, há uma íntima relação entre o local de aplicação do P e o crescimento radicular, observando-se maior proliferação de raízes nos pontos de maior concentração do elemento no solo (PROCHNOW et al., 2017). A aplicação de fósforo a lanço pode desfavorecer o crescimento das raízes em profundidade e conseqüentemente deixar as plantas mais susceptíveis ao estresse hídrico, pois em situações de veranico ocorre o secamento do solo partindo da superfície em direção as camadas mais profundas.

Outro fator que pode ter contribuído para essa diferença na produtividade de feijão, que não ocorreu no milho, é o fato do feijoeiro apresentar sistema radicular pouco agressivo em relação a cultura do milho. Por isso, o mesmo é mais susceptível aos efeitos dos modos de aplicação de P, principalmente nas épocas com menor disponibilidade de água, o que é mais comum na segunda safra.

Menores produtividades do feijoeiro ocorreram no tratamento de adubação do sistema com aplicação de P total na cultura do milho, apesar dos teores de P no solo estarem muito altos neste. Isso pode ser explicado devido à falta de sincronismos ou paralelismo das linhas de semeadura da cultura de milho e feijão. Com isso, o feijoeiro provavelmente encontrou dificuldades para encontrar o fósforo aplicado no sulco da cultura do milho, devido à baixa mobilidade do fósforo no solo, a falta de umidade no mesmo e a pouca agressividade do sistema radicular do feijoeiro.

Além do tratamento de adubação do sistema com aplicação de P total na cultura do milho, o controle também apresentou menores produtividades. Em ambos os tratamentos, a cultura do feijão não recebeu fósforo durante a sua semeadura. Diante de tais resultados, retirar todo o P do sulco de semeadura da cultura de 2ª safra não demonstrou ser a melhor alternativa em regiões sujeitas a veranicos e em sistema de sequeiro.

Diante do presente trabalho ainda se mantem algumas preocupações para aplicação de P a lanço, tais como a tendência do crescimento radicular em menores profundidades, deixando as culturas mais susceptíveis ao estresse hídrico. Quando o P é aplicado na superfície, o nutriente fica mais susceptível a perdas por escorrimento superficial, podendo contribuir para contaminação de rios e mananciais, (PROCHNOW et al., 2017).

O que se pode dizer, é que aplicação de fontes solúveis de P no sulco de semeadura das culturas, como já é o mais recomendado pela literatura, tem apresentado bons resultados, sendo talvez a forma mais segura de aplicação de P. E para utilização de outras formas de adubação fosfatada se torna praticamente um requisito a presença em altos teores de P no solo e fertilidade construída.

## 5 CONCLUSÕES

Os teores de P no solo avaliados por Resina se mantiveram em níveis altos ou muito altos, independentemente da forma de aplicação de fósforo.

Na avaliação dos teores de P no solo por Mehlich 1 houve subestimação dos reais teores de fósforo no solo.

A produtividade do milho de verão não foi afetada pela forma de aplicação de fósforo, em condições de adequado suprimento de água. A maior produtividade de feijão 2<sup>a</sup> safra foi obtida com a aplicação de fósforo no sulco de semeadura, em condições de estresse hídrico. Assim, em condições de ocorrência de estresse hídrico como na 2<sup>a</sup> safra, a melhor forma de fornecimento de P é fornecimento no sulco de semeadura das culturas.

## REFERÊNCIAS

ALTMANN, N. **Adubação de sistemas integrados de produção em plantio direto: resultados práticos no cerrado**. Piracicaba: Internationalplantnutritioninstitute, 2012. (Informações agronômicas n° 140).

AMADO, T. J. C.; SCHLEINDWEIN, J. A.; FIORIN, J. E. Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto. In: **Soja – Manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 243.

AMTMANN, A.; HAMMOND, J. P.; ARMENGAUD, P.; WHITE, P. J. **Nutrient sensing and signaling in plants: potassium and phosphorus**. Advances in Botanical Research, New York, v. 43, p. 209-256, 2006.

ANGHINONI, I. **Uso do fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.16, n.2, p.349-353, 1992.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.873-928.

BARBOSA, N. C.; ARRUDA, E. M.; BROD, E.; PEREIRA, H. S. **Distribuição vertical do fósforo no solo em função dos modos de aplicação**. Bioscience Journal, v. 31, n.1, 2015.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. **Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, n. 1, 2002.

BARROW, N.J. **A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil**. Journal Soil Science, v34, p.733-750, 1983.

BENITES, V. de M.; POLIDORO, J.C.; RESENDE, A.V. **Oportunidades para a inovação tecnológica no setor de fertilizantes no Brasil**. Boletim Informativo da SBCS, v. 35, p.18-21, 2010.

BHADORIA, P. S. ET AL. **Phosphorus uptake kinetics, size of root system and growth of maize and groundnut in solution culture.** Plant and Soil, v. 262, p. 327-336, 2004.

BRENNAN, R. F.; BOLLAND, M. D.; JEFFERY, R. C.; ALLEN, D. G. **Phosphorus adsorption by a range of western Australian soils related to soil properties.** Communications Soil Science Plant Analysis, v. 25, n. 15/16, p. 2785-2795, 1994.

BREVILIERI, R. C. **Adubação fosfatada na cultura da soja em Latossolo Vermelho cultivado há 16 anos sob diferentes sistemas de manejo.** Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2012. p. 52.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. VAN.; CAMARGO, C.E.O. 13 cereais. In: RAIJ, B. van; ANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.O.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação, 1996. p. 43-71 (Boletim técnico, 100).

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E. F. **Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, n.2, p.315-327, 1999.

CASTOLDI, G.; FREIBERGER, M. B.; CASTOLDI, G.; COSTA, C. H. M. **Manejo da adubação em sistema plantio direto.** Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas, Chapadinha: v.6, p.65, 2012.

CASTRO, G. F. de; MOREIRA, S. G.; SOUSA, S. S.; VITOR, C. M. T. **Adubação fosfatada a lanço em culturas anuais sob sistema de semeadura direta.** Revista Agrogeoambiental, Pouso Alegre, v. 8, n. 4, p. 117-129, dez. 2016.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. **Sistemas de produção de grãos e incidência de plantas daninhas.** Planta Daninha. Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, v. 29, n. spe, p. 1001-1010, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – BRASIL. **Relatório Analítico da safra 2019/20.** – SAFRA 2019/20 – N.12 – Decimo segundo Levantamento, setembro 2020.

CORRÊA, J.C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C.A. **Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.1231-1237, 2004.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, A. W.; FILHO, G. M.; SANTOS, J. R. **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, 2006.

CROSS, A.F.; SCHLESINGER, W.H. **A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems.** Geoderma, v.64, p.197-214, 1995.

CROZIER, C.R.; NADERMAN, G.C.; TUCKER, M.R; SUGG, R.E. **Nutrient and pH stratification with convencional and no-till management.** Communication in Soil Science and Plant Analysis, v. 30, n.1/2, p.65-74, 1999.

CRUSCIOL, C. A. C.; MAUAD, M.; ALVAREZ, R. D. C. F.; LIMA, E. D. V.; TIRITAN, C. S. **Doses de fósforo e crescimento radicular de cultivares de arroz de terras altas.** Bragantia, p. 643-649, 2005.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; BACALTCHUK, B.; SATTLER, A.; ENARDIN, N.D.A.; FAGANELLO, A.; WIETHÖLTER, S. Sistema plantio direto: Fator de potencialidade da agricultura tropical brasileira. In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. (Eds.). **Agricultura tropical: Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1. p. 1251-1273.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Brasil). **Sistema brasileiro de classificação de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306p.

ELWAN, I. M. **Response of nutrient status of plants in calcareous soils receiving phosphorus fertilization and mycorrhiza.** Annals of Agricultural Science, Cairo, v. 38, n. 2, p. 841-849, 1993.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. p.186.

FAQUIN, V.; RODAS, C. L. **Funções dos nutrientes nas plantas.** Centro de Educação a Distância da Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. **Phosphate adsorption y clays from Brazilian Oxisoils: relationships whit specific surface area and mineralogy.** Geoderma, v. 72, p. 377-51, 1996.

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

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C. **Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 691-699, jun/ago. 2007.

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

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

GUADAGNIN, J.C.; BERTOL, I.; CASSOL, P.C.; AMARAL, A.J. **Perdas de nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo em um Cambissolo Húmico alumínico léptico.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; SOUCHIE, E. L.; ROCHA, A. C. **Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina: v.29, n. 4, p.769-774, out/dez. 2008.

GUARESCHI R. F., GAZOLLA P. R., PERIN A., SANTINI J. M. K. **Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros.** Ciências Agrotécnicas., v.35, n.4, p.643-648, 2011.

HICKMANN, C. **Dinâmica de nitrogênio e ajustes na adubação NPK para uma sequência milho-soja-milho na região dos Campos das Vertentes, Minas Gerais.** Lavras, 2014. 159 p., 2014. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2014.

HIRAKURI, M. H.; DEBIASI, H.; PROCÓPIO, S. D. O.; FRANCHINI, J. C.; CASTRO, C. D. **Sistemas de produção: conceitos e definições no contexto agrícola.** Londrina: Embrapa Soja, 14, 2012.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D. de S.; BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A. **Importância do sistema de semeadura direta na população microbiana do solo.** Londrina: EMBRAPA- CNPS, 1997. 9p. (Comunicado Técnico, 7).

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

KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; FRANCISCO, E. A. B. **Modos e doses de aplicação de fósforo na cultura da soja em diferentes níveis de correções iniciais do solo.** In: XXXIII REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 33. 2013, Londrina, Paraná: Embrapa Soja, 2013. p.166-168.

KIMANI, J.M. & DERERA, J. **Combining ability analysis across environments for some traits in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under low and high soil phosphorus conditions.** Euphytica, 166:1-13, 2009.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. **Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos de solo.** Pesquisa Agropecuária. Gaúcha, v. 2, p.79-86, 1996.

KURIHARA, C. H.; HERNANI, L. C. **Adubação antecipada no Sistema Plantio Direto.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 45 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 108).

LACERDA, J. J. de JESÚS; RESENDE, Á. V. de; NETO, A. E. F.; HICKMANN, C.; DA CONCEIÇÃO, O. P. **Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 50, n. 9, p.769- 778, 2015.

LACERDA, M. C.; STEPHAN, A. **Adubação a lanço na cultura do feijoeiro comum.** Embrapa Arroz e Feijão-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E), 2016.

LANA, R. M. Q.; BUCK, G. B.; LANA, A. M. Q.; PEREIRA, R. P. **Doses de multifosfato magnésiano aplicados a lanço em pré-semeadura, sob sistema plantio direto cultura da soja.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras: v.31, n. 6, p. 1654-1660, nov/dez. 2007.

LAUZON, J. D.; MILLER, M. H. **Comparative response of corn and soybean to seed-placed phosphorus over a range of soil test phosphorus.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 28, n. 3-5, p. 205-215, 1997.

LEITE, L. F. C.; GALVAO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAUJO, F. S.; IWATA, B. F. **Atributos químicos e estoques de carbono em latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.14, n. 12, p. 1273-1280, 2010.

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

LOURENZI C. R., CERETTA C. A., CERINI J. B., FERREIRA P. A. A., LORENSINI F., GIROTTO E., TIECHER T. L., SCHAPANSKI D. E., BRUNETTO, G. **Available content, surface runoff and leaching of phosphorus forms in a typic Hapludalf treated with organic and mineral nutrient sources.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.38, p.544-556, 2014.

MACEDO, J. R. **Distribuição do sistema radicular da cultura do milho em Função de diferentes formas de aplicação de fósforo.** 2019. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras 2019.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. p. 319.

MARTINAZZO, R.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J. **Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 563-570, mai/jun. 2007.

MEHADI, A. A.; TAYLOR, R. W. **Phosphate adsorption by two highly-weathered soils.** Soil Science Society America Journal, Madison, v. 52, p. 627-632, 1998.

MOREIRA, S.G.; KIEHL, J.C.; PROCHNOW, L.I.; PAULETTI, V. **Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.71-81, 2001.

MOREIRA, S. G. **Formas químicas no solo e disponibilidade de micronutrientes à soja em sistema de semeadura direta.** 2013. 147 P. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.

MOREIRA, M. F. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea do feijoeiro comum em função da distribuição e do teor de fósforo no solo.** 2004. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2004.

MOREIRA, F.L.M.; MOTA, F.O.B.; CLEMENTE, C.A.; AZEVEDO, B.M. de; BOMFIM, G.V. do. **Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará.** Revista Ciência Agronômica, v.37, p.7-12, 2006.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CARVALHO, M. P. **Atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 167-175, jan/fev. 2007.

MOTTA, ANTONIO C.V.; REEVES, D. W.; TOUCHTON, J. T. **Tillage intensity effects on chemical indicators of soil quality in two coastal plain soils.** Communications in soil Science and plant analysis, v. 33, n. 5-6, p. 913-932, 2002.

MOTERLE, L. M.; SANTOS, R. F. dos; DE LUCCA, A.; SCAPIM, C. A.; DO CARMO LANA, M. **Influência da adubação com fósforo e potássio na emergência das plântulas e produtividade da cultura da soja.** Revista Ciência Agronômica, v. 40, n. 2, p. 256-265, 2009.

MUZILLI, O. A Fertilidade do solo em plantio direto. In: FANCELLI, L.A.; TORRADO, P.V.; MACHADO, J. **Atualização em Plantio Direto.** Campinas-SP: Fundação Cargill, 1985. cap.7, p.147-159.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

NUNES, U. R.; JÚNIOR, V. C. A.; SILVA, E. de. B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. **Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília: v.41, n. 6, p. 943-948, jun. 2006.

NUNES, R. S.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; VIVALDI, L. J. **Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 877-888, 2011.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. de; CASTRO, C. de; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F.A. de. Soja. In. PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Ed.). **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes.** International Plant Nutrition Institute, Piracicaba v. 3 p.1-38, 2010.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. de; PROCHNOW, L.I.; KLEPKER, D. **Soybean yield in response to application of phosphate rock associated with triple superphosphate.** Scientia Agricola, v.68, p.376-385, 2011.

PAIVA, P.L.R.; FURTINE NETO, A.E.; VALE, F.R.; FAQUIN, V. **Efeito do manejo do solo sobre os teores de matéria orgânica, nitrogênio mineral, fósforo e base trocáveis.** Ciência Agrotecnologia, v.21, p.35-43, 1997.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. **Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação.** Ciência Rural, v. 34, n. 6, 2004.

PAVINATO, P.S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C.A. **Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage.** Soil and Tillage Research, v.105, p.149-155, 2009.

PEIXOTO, C.P.; CÂMARA, G.M. de S.; MARTINS, M.C.; MARCHIORI, L.F.S.; GUERZONI, R.A.; MATTIAZZI, P. **Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos.** ScientiaAgricola, v.57, p.89-96, 2000.

PEREIRA, M.G. et al. **Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 45, n. 5, p. 508-514, maio 2010.

PHILLIPS, E.R.; BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; FRYE, W.W.; PHILLIPS, S.H. **No-tillage agriculture**. Science, v.208, n.4448, p.1108-1113, 1980.

PROCHNOW, L. I.; DE RESENDE, A. V.; OLIVEIRA JUNIOR, A. D.; FRANCISCO, E., CASARIN, V.; PAVINATO, P. **Localização do fósforo em culturas anuais na agricultura nacional: situação importante, complexa e polêmica**. Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2017.

RAIJ, B, V. Fósforo. In: RAIJ, B, V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: InternationalPlantNutritionInstitute, 2011. p. 135-156.

RHEINHEIMER, D. S. ANGHINONI, I.; CONTE, E. **Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 589-597, 2000.

RHOTON, F.E. **Influence of time on soil response to no-till practices**. Soil Science Society American Journal, v.64, p.700-709, 2000.

ROSIM D. C., MARIA I. C.; SILVA R. L., SILVA A. P. **Compactação de um Latossolo Vermelho Distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície**. Bragantia, v.71, n.4, p.502508, 2012.

ROSOLÉM, C. A.; MARCELLO, C. S. **Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada**. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 55, n. 3, p. 448- 455, 1998.

RUIZ, H. A.; FERREIRA, P. A.; ROCHA, G. C.; BORGES J. R. J. C. F. Transporte de solutos no solo. In: JONG VAN LIER, Q. (Ed). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 213-240.

SÁ, J.C.M. Fósforo: frações, formas de ocorrência e distribuição no perfil do solo. In: SÁ, J.C.M (Coord.) **Curso sobre o manejo do solo no sistema de plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1995b. p.229-243.

SANDIM, A. S. **Disponibilidade de fósforo em função da aplicação de calcário e silicatos em solos oxidicos**. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu - SP, 2012.

SANTOS, D. R. dos.; 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, RS, v. 38, n. 2, p. 576- 586, 2008.

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, Campinas, v. 32, n. 5, p. 2037-2049, 2008.

SCHONINGER, E. L.; LANGE, A.; MENEGON, T. G.; CAIONE, G. **Produtividade da cultura do feijoeiro submetido a doses de fósforo e nitrogênio.** Agrarian, v. 8, n. 30, p. 387- 398, 2015.

SELLES, F.; KOCHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; ZENTNER, R.P.; FAGANELLO, A. **Distribution of phosphorus fractions in a Brazilian Oxisol under different tillage systems.** Soil and Tillage Research, v.44, p.23-34, 1997.

SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, P.; EDUARDO, C.; CERRI, C. C. **Comparação de métodos de amostragem para avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar.** Revista de Ciências Agrícolas, v. 34, n. 1, p. 7-16, 2017.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Solos / Embrapa Informática Agropecuária, 1999. 370p.

SOUSA, D. M. G. de; REIN, T.; SANTOS JUNIOR, J. **Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no cerrado.** Embrapa Cerrados-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2016.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E., eds. **Cerrado: Correção do solo e adubação.** Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; **Fisiologia vegetal.** 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** Porto Alegre: Artmed, 2013.

TIECHER, T.; SANTOS, D.R. dos; KAMINSKI, J.; CALEGARI, A. **Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, p.271-281, 2012.

VALADÃO, F. C. de A.; WEBER dos S. O. L.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; SCAPINELLI, A.; DEINA, F. R.; BIANCHINI, A. **Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, n. 1, 2015.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** International Plant Nutrition Institute, 2011

VENTIMIGLIA, L.A.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L.; PIRES, J.L.F. **Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.34, p.195-199, 1999.

WALKER, T.W.; SYERS, J.K. **The fate of phosphorus during pedogenesis.** Geoderma, v.15, p.01-19, 1976.

ZANCANARO, L.; ONO, F.B.; KAPPES, C.; VALENDORFF, J.D.P.; CORADINI, D.; DAVID, M. A.; SEMLER, T. D.; VIDOTTI, M. V. **Adubação fosfatada no sulco de semeadura e em superfície.** Rondonópolis: Fundação MT, 2018. Boletim de pesquisa (Fundação MT. Boletim, 18). p. 82.

ZUCARELI, C.; RAMOS JUNIOR, E.U.; BARREIRO, A.P.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. **Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão.** Revista Brasileira de Sementes, v.28, p.9-15, 2006.