

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
CAMPUS JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FORMAS DE APLICAÇÃO DO FÓSFORO EM UM LATOSSOLO
DE CERRADO NA CULTURA DA SOJA

Newton Cabral Barbosa

Engenheiro Agrônomo

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Outubro 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
CAMPUS JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**FORMAS DE APLICAÇÃO DO FÓSFORO EM UM
LATOSSOLO DE CERRADO NA CULTURA DA SOJA**

Newton Cabral Barbosa

Orientador: Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Goiás – UFG, Campus Jataí, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

2010

NEWTON CABRAL BARBOSA

**TÍTULO: “FORMAS DE APLICAÇÃO DO FÓSFORO EM UM LATOSSOLO
DE CERRADO NA CULTURA DA SOJA”**

Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 22 de outubro de 2010, pela
Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira
Presidente – CAJ/UFG

Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro
Membro – CAJ/UFG

Profª. Dra. Monica Sartori de Camargo
Membro Externo – APTA/SP

Jataí - Goiás
Brasil

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Newton Cabral Barbosa – Nascido em Jataí - GO em 25/03/1982, graduado em Agronomia em 2007 pela Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí. Graduado também em Sistemas de Informação em 2005 pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, unidade de Jataí – GO. Durante sua graduação em agronomia, foi bolsista de iniciação científica (PIBIC) sob orientação do professor Dr. Hamilton Seron Pereira, por 3 anos consecutivos, onde desenvolveu trabalhos com Silício, envolvendo avaliações de soluções extratoras de Silício no solo e de fontes fertilizantes de Silício com potencial para uso na agricultura. Possui dois artigos completos publicados em periódicos, sendo um como autor e outro como co-autor. Participou da 3ª Conferência Internacional de Silício na agricultura (III Silicon in agriculture conference) no ano de 2005, onde é co-autor de um resumo completo publicado nos anais da conferência. Ainda na Conferência Internacional de Silício, possui participação em dois resumos, sendo um de sua autoria. Durante sua graduação e pós-graduação em agronomia, participou de vários congressos, tendo participado como autor e co-autor de 11 resumos expandidos. Participou também de 7 bancas de conclusão de curso (Agronomia) na Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí. Atualmente trabalha como engenheiro agrônomo em Jataí - GO, atuando na produção de Soja, Milho, Feijão, Painço e Girassol.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Noém e Lauriene, e aos meus irmãos, Newber e Katiuse e a minha avó Idevalda. Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Hamilton, pela orientação e amizade.

Aos colegas do laboratório de solos, Cleumar, Marquinho e Lucielle pelo esforço na condução das atividades.

Ao professor Edicarlos que contribuiu com sugestões durante a realização das varias atividades.

Aos amigos e alunos de iniciação científica. Everton, Elias e Pablo, que colaboraram na execução das diversas atividades envolvidas neste estudo.

Aos amigos Diemerson, Alexandre, Frederico, Marcelo, Lorena, Lucimeire, Flávia, Estefânia, Flavio e Tiago, que contribuíram na montagem e nas avaliações do presente estudo.

Ao Sr. Antonio José Gazarini pelo grande incentivo durante o curso e ao Sr. Ângelo Luiz Gazarini pela compreensão. Agradeço aos colegas de trabalho da empresa “Irmãos Gazarini” pelos momentos de apoio e paciência.

SUMÁRIO

RESUMO	Página vii
SUMMARY	viii
LISTA DE TABELAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Formas e comportamento do P no solo	3
2.2. Fontes de P	6
2.3. Modos de aplicação	7
2.4. Extratores de P disponível no solo	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1. Comportamento do P no perfil do solo	15
4.1.1. Fósforo no solo em função dos modos de aplicação nas diferentes profundidades.	15
4.1.2. Fósforo no solo em função das diferentes profundidades nos modos de aplicação.	19
4.2. Comportamento vertical e horizontal do P no solo.	21
4.2.1. Fósforo no solo em função dos modos de aplicação diante das diferentes profundidades e da distribuição lateral. Fósforo em Mehlich 1 e Resina.	21
4.2.2. Comportamento vertical do teor de P no solo em função dos modos de aplicação e da distribuição lateral. Fósforo Mehlich 1 e Resina.....	24
4.2.3 Comportamento horizontal do teor de P no solo em função dos modos de aplicação e das profundidades amostradas. Fósforo Mehlich 1 e Resina.....	33
4.3. Produtividade, altura média e teor foliar de P na soja.	35
4.3.1. Efeito dos modos de aplicação de P na produtividade, altura média de plantas e teor médio de P na massa seca de soja.	35
5. CONCLUSÕES	39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
7. APÊNDICES	46

FORMA DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO EM UM LATOSSOLO DE CERRADO NA CULTURA DA SOJA

RESUMO - A dinâmica do fósforo (P) no solo é de alta complexidade, tendo em vista a baixa mobilidade deste nutriente e suas reações com o solo. Visando entender as interações ocorridas entre o fósforo, o solo e as plantas, desenvolveu-se o presente estudo com o objetivo de avaliar a eficiência de modos de aplicação, combinando a aplicação de P a lanço com aplicação em linha de plantio. Para isso, montou-se um experimento em DBC, com 6 tratamentos e 4 repetições em uma área agrícola de primeiro ano de cultivo. Os tratamentos consistiram em aplicar de forma combinada a dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 na cultura da soja, sendo 100% a lanço; 75% a lanço e 25% em linha; 50% a lanço e 50% em linha; 25% lanço e 75% em linha; 100% em linha de plantio e uma testemunha. Avaliou-se a produtividade da soja, a altura das plantas e o teor de P na folha. Avaliou-se, por meio dos extratores Mehlich-1 e Resina, o comportamento do P no perfil do solo, sua mobilidade vertical e horizontal. Nas avaliações de produtividade, altura de plantas e teor de P na folha, percebeu-se estatisticamente, uma superioridade dos tratamentos onde se tem 50, 75 e 100% da dose de P aplicados em linha de plantio. Na avaliação do P presente no perfil do solo na profundidade de 0 – 2,5 cm percebeu-se que os tratamentos com maior parte da adubação a lanço (100 e 75%) foram estatisticamente superiores, e na profundidade de 5 – 7,5 cm os tratamentos com maior parte da adubação em linha de plantio (100 e 75%) se mostram superiores. Na avaliação da mobilidade vertical e horizontal do P no solo, percebeu-se que não houve movimentação deste nutriente no solo, permanecendo no local da aplicação. Os resultados apresentados pelos extratores, Mehlich 1 e Resina, seguiram as mesmas tendências, sendo que a extração com Resina se mostrou mais estável, estando coerente com os tratamentos.

Palavras-chave: Mehlich-1, Resina, adubação a lanço, adubação em linha, mobilidade.

FORM OF APPLICATION OF THE PHOSPHORUS IN A SAVANNA OXISOL THE SOYBEAN

SUMMARY - The dynamics of phosphorus (P) in soil is highly complex in view of the low mobility of this nutrient and its reactions with soil. In order to understand the interactions occurring between phosphorus, soil and plants, has developed this study objective to evaluate the efficiency of application methods, combining the application of phosphorus broadcast with applied in the row-and. For this, an experiment was set up in Randomized Block Designs, with 6 treatments and 4 repetitions in an agricultural area of the first year of cultivation. The treatments were applied on a combined dose of $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ in soybean, 100% broadcast, 75% broadcast and 25% row-and, 50% broadcast and 50% row-and; 25 broadcast and 75% row-and, 100% row-and and control. We evaluated the soybean productivity, plant height and phosphorus content in the leaf. Was evaluated by means of Mehlich-1 and resin, the behavior of phosphorus in the soil outline, its vertical and horizontal mobility. In the assessments of productivity, plant height and P content in leaf, it was noticed statistically superiority of treatments where you have 50, 75 and 100% of the P applied in the row-and. In evaluating the phosphorus present in the soil outline at surface layer of 0 - 2.5 cm, it was noticed that most of the treatments with fertilizer broadcasted (100 and 75%) were significantly higher, and in surface layer 5 to 7.5 cm treatments with most of the fertilizer in the row-and (100 and 75%) are shown above. In avaluation the vertical and horizontal mobility of P in soil, it was noticed that there was no movement of this nutrient in the soil, remaining at the site of application. The results presented by extractants, Mehlich-1 and resin, followed the same trends, and the extraction resin was more stable and is consistent with the treatment.

Keywords: Mehlich-1, resin, broadcast fertilization, row-and fertilization and mobility.

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Caracterização química e de textura do solo utilizado no estudo.	12
Tabela 2. Tratamentos implementados no estudo	13
Tabela 3. Teor de P (mg dm^{-3}) entre as profundidades amostradas e os tratamentos em função da combinação dos modos de aplicação. Extrator Mehlich 1.	18
Tabela 4. Teor de P (mg dm^{-3}) entre as profundidades amostradas e os tratamentos em função da combinação dos modos de aplicação. Extrator Resina.	18
Tabela 5. Teor médio de P (mg dm^{-3}) entre tratamentos nas quatro profundidades em função da variação lateral. Extrator Mehlich 1.	25
Tabela 6. Teor médio de P (mg dm^{-3}) entre tratamentos nas quatro profundidades em função da variação lateral. Extrator Resina.	26
Tabela 7. Teor de P (mg dm^{-3}) entre as profundidades em função da distribuição lateral e teor de P (mg dm^{-3}) entre as distribuições laterais em função das profundidades amostradas. Extrator Mehlich 1.	29
Tabela 8. Teor de P (mg dm^{-3}) entre as profundidades em função da distribuição lateral e teor de P (mg dm^{-3}) entre as distribuições laterais em função das profundidades amostradas. Extrator Resina.	31
Tabela 9. Produtividade, altura de plantas e teor de P na folha de plantas de soja em função da combinação dos modos de aplicação de P no solo.	35

1. INTRODUÇÃO

O bom entendimento do comportamento do fósforo (P) no solo, mediante diferentes modos de aplicação, é uma ferramenta importante que exerce grande auxílio na melhoria das adubações fosfatadas, visando aumentar a eficiência do P no solo.

O P é encontrado nos solos sob as formas orgânicas e inorgânicas, que se diferenciam entre si pelo grau de labilidade variado. O P inorgânico pode ser encontrado em solução compondo a fração lábil de P no solo. A fração não-lábil é composta pelo P sob a forma de compostos de baixa solubilidade ou adsorvido às partículas do solo. Estas diferentes formas de P no solo interagem de forma dinâmica em resposta ao manejo do solo e da adubação, o que afeta diretamente a disponibilidade deste elemento para as plantas.

O P é um dos elementos que apresenta alta complexidade na sua dinâmica quando aplicado ao solo e que também é um elemento que representa alto custo na produção de alimentos, o que faz com que estudos busquem entender tal complexidade e melhorar sua eficiência no solo, tenham grande importância nos sistemas de produção brasileiros.

Outro fator importante e ao mesmo tempo polêmico que envolve a adubação com P, diz respeito a forma de aplicação deste elemento no solo. Tem-se observado crescimento acentuado da aplicação a lanço deste elemento em diversas regiões do Brasil, sendo esta prática realizada há mais tempo no estado do Mato Grosso e Bahia. Recentemente, tem-se observado crescimento deste modo de adubação em Goiás, mais precisamente na região Sudoeste de Goiás.

Este modo de adubação é bastante desafiador, tendo em vista que são inúmeros estudos e publicações ao longo dos anos que afirmam que tal elemento não deve ser aplicado desta forma e sim nas linhas de plantio. Por outro lado, não se observa perda de produtividade, quando se aplica o P a lanço, o que nos faz pensar que, com o passar dos anos, existe outros fatores ou interações relacionadas com o P no solo, que tem dado sustentabilidade a esta modalidade de adubação, sem causar prejuízos para os sistemas de produção, onde tal modo de adubação vem sendo empregado.

Um dos grandes motivos responsáveis pelo aumento da adubação a lanço dos adubos fosfatados refere-se ao rendimento operacional durante o plantio das lavouras. Quando se faz opção pela adubação a lanço dos fosfatos, durante o plantio das lavouras, não se faz uso de adubos nas semeadoras-adubadoras, o que gera alto rendimento operacional durante o plantio, uma vez que as paradas para o reabastecimento são feitas apenas para as sementes. No que tange a aplicação a lanço, geralmente esta adubação é realizada antes do plantio, por implementos com alto rendimento operacional e baixo custo, o que torna este processo de adubação atrativo.

A pouca mobilidade do P, faz com que estudos que visem a localização do fósforo em relação à planta tenham grande significado prático. Diante disso, e percebendo a necessidade de estudos para bom entendimento do comportamento do P em adubações a lanço e em linha, o presente estudo tem como objetivo avaliar a resposta das plantas de soja aos diferentes modos de aplicação de P, combinando a adubação a lanço com adubação em linha de plantio. Objetiva-se também avaliar o comportamento do P no solo em função das diferentes combinações dos modos de aplicação e sua relação com a produção de soja.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A adubação fosfatada é uma técnica importante para se obter produções satisfatórias na atividade agrícola. No entanto, o fornecimento de fósforo (P) para as plantas é considerado uma ação de grande complexidade, tendo em vista as interações que ocorrem no sistema solo-planta-fósforo, que faz com que as plantas não aproveitem mais que 10% do P total aplicado, pois nos solos tropicais ácidos, ricos em ferro e alumínio, ocorre a adsorção deste elemento (Malavolta et al., 1989).

O P é um macronutriente primário exigido em pequena quantidade pelas plantas, mas que desempenha um importante papel no metabolismo vegetal. Malavolta (1985) descreveu que o fósforo se torna indispensável por participar dos chamados compostos ricos em energia, como o trifosfato de adenosina (ATP), sendo absorvido pelas raízes como H_2PO_4^- , encontrando-se no xilema em maior proporção nessa forma. O P estimula o crescimento das raízes, garantindo uma arrancada vigorosa.

Considerando a importância do P para as plantas, deve-se visar à forma e o comportamento deste nutriente no solo, as fontes fertilizantes, os modos de aplicação e os métodos de quantificação deste nutriente no solo. Isso visa aumentar a eficiência das adubações fosfatadas, principalmente em solos de extrema deficiência, como é o caso dos solos de cerrado (Sousa & Lobato, 2004).

2.1. Formas e comportamento do P no solo

O fósforo encontra-se nos solos sob as formas orgânicas (Po) e inorgânicas (Pi), que se diferenciam entre si pelo grau de estabilidade ou solubilidade, com diferentes disponibilidades à absorção vegetal. O Pi pode se encontrar em solução, sendo a forma que compõe a fração lábil de P no solo. A fração não-lábil é composta pelo P sob a forma de compostos de baixa solubilidade ou adsorvido às partículas do solo, não estando, estas formas, em equilíbrio imediato com o P em solução (Novais & Smyth, 1999).

A diferente labilidade de P nos solos, é um fenômeno conhecido como adsorção ou fixação de P no solo. Esse fenômeno pode ser definido como sendo a indisponibilidade de P adicionado ao solo por meio de reações químicas, que ocorrem com o passar do tempo. A indisponibilidade de P adicionado ao solo, ocorre

tanto pela precipitação do P em solução com íons de Fe, Al e Ca, sendo este fenômeno mais acentuado e significativo em baixos pH, quando a adsorção ocorre com oxidróxidos de Fe e Al, que de maneira geral apresentam-se em maiores quantidades em solos tropicais mais intemperizados e argilosos (Valladares et al., 2003; Rolim Neto et al., 2004)

A adsorção do P ocorre primeiramente nos sítios de menor labilidade e, posteriormente, o P remanescente é redistribuído em frações retidas com menor energia e de maior disponibilidade para as plantas (Rheinheimer & Anghinoni, 2001).

Nos solos tropicais muito intemperizados e argilosos, a capacidade de fixação de P é elevada, reduzindo sua disponibilidade às plantas. Desse modo, o solo compete com a planta pelo elemento, deixando de ser fonte para se tornar dreno. Nesse sentido, a disponibilidade de P constitui o fator nutricional mais limitante à produção vegetal nestes solos.

Para que haja melhor entendimento do comportamento e da disponibilidade de P, têm-se utilizados métodos de fracionamento para estudar as diferentes formas de P no solo, bem como suas transformações. O método proposto por Hedley et al. (1982) e modificado posteriormente por Condon et al. (1985) é o mais utilizado no fracionamento do P no solo. Este método tem como vantagem a obtenção de informações sobre a disponibilidade do P a curto e longo prazo, por meio da determinação de teores com diferentes graus de disponibilidade ou labilidade para as plantas (Silva et al., 2003), além de quantificar o P_o lábil no solo (Tokura et al., 2002).

Os extratores que atualmente são utilizados no fracionamento de Hedley et al., (1982) são, seqüencialmente, Resina trocadora de ânions (Pi), NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ a pH 8,5 (Pi e Po), NaOH 0,1 mol L⁻¹ (Pi e Po), HCl 1,0 mol L⁻¹ (Pi), NaOH 0,5 mol L⁻¹ (Pi e Po) e digestão com H₂SO₄ + H₂O₂ + MgCl₂ (P residual). As frações orgânicas (Po) são determinadas pela diferença entre o P total e o Pi em cada extrator.

Assim, sob o ponto de vista da fertilidade do solo, independentemente da natureza química, o fósforo quantificado no fracionamento é dividido em formas lábeis, moderadamente lábeis, e não lábeis, tendo como base a facilidade com que

repõe a solução do solo. Mesmo que essa subdivisão seja imprecisa, isso auxilia no entendimento da dinâmica do P.

Segundo Guo & Yost (1998) e Henríquez & Killorn (2005) no fracionamento, o P extraído com Resina trocadora de ânions (Pi) e Bicarbonato de sódio (Pi e Po) é considerado como a fração lábil do solo. O P extraído com Hidróxido de sódio (Pi e Po) e Ácido clorídrico (P ligado ao Ca) é considerado como a fração de labilidade intermediária ou moderadamente lábil, por outro lado, o P residual, extraído por meio de uma solução que combina ácido sulfúrico, peróxido de hidrogênio e cloreto de magnésio é considerado como sendo a fração de baixa labilidade ou não lábil.

Quando são adicionadas altas doses de fosfatos, têm-se observado aumentos nas frações inorgânicas lábeis (extraídas com Resina e NaHCO_3), moderadamente lábeis (extraídas com NaOH) e, em algumas situações, também nas frações com baixa labilidade (Beck & Sanchez, 1994; Maroko et al., 1999; Daroub et al., 2000).

Em sistema de plantio direto (SPD), ocorre a redistribuição de P em diversas formas com a aplicação no solo. Isso é devido a formação de uma camada de solo junto à superfície com alto teor de matéria orgânica e maior disponibilidade de nutrientes, inclusive P (Rheinheimer et al., 2003). Esse comportamento é consequência da adição consecutiva de fertilizantes na camada superficial do solo, ausência de revolvimento e diminuição da taxa de erosão. De acordo com Araújo & Salcedo (1997), as alterações preferenciais nas frações de P ocorrem nas formas inorgânicas.

Com o avanço do intemperismo, o Pi vai-se tornando mais intensamente adsorvido aos óxidos de Fe e Al, ao mesmo tempo que aumenta a participação do Po no total de P no solo (Cross & Schlesinger, 1995). O Po pode representar uma fonte potencial de P às plantas por meio da ciclagem biológica (Tiessen et al., 1984). O estudo biológico e químico do P deve envolver todas as etapas do seu ciclo para que se possa aproveitar melhor o P fruto da mineralização e aumentar a eficiência da adubação fosfatada.

O fósforo orgânico é originário dos resíduos vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição. A grande variedade de compostos orgânicos no solo faz com que mais da metade das formas de fósforo orgânico ainda não tenham sido identificadas. As principais formas já identificadas

são os fosfatos de inositol, que compõem de 10 a 80% do fósforo orgânico total, os fosfolipídios (0,5 a 7%), ácidos nucleicos (~3%) e outros esteresfosfato (>5%) (Dalal, 1977).

Segundo Gatiboni et al., (2007), em solos com baixa ou nenhuma adição de fertilizantes fosfatados, as formas orgânicas de P, após a mineralização, são as principais formas responsáveis pelo fornecimento deste nutriente às plantas. De acordo com Paul & Clark (1996), os principais fatores que afetam a taxa de mineralização dos compostos orgânicos são as condições edafoclimáticas (temperatura, umidade, pH, teores de O_2 e de nutrientes no solo) e a qualidade do substrato (fração solúvel, nutrientes, lignina, polifenóis e as relações C/N, lignina/N e lignina + polifenóis/N). Nesses solos, portanto, o ciclo biológico é mais relevante que o ciclo químico (Chen et al., 2003).

2.2. Fontes de P

O P é, entre os macronutrientes primários, o que apresenta maior opção de fontes no mercado, as quais podem variar quanto à concentração de P_2O_5 e solubilidade. Sua solubilidade é avaliada com base em percentuais solúveis em água (H_2O), citrato neutro de amônio (CNA) e ácido cítrico (AC).

Os fertilizantes fosfatados solúveis em água e CNA são obtidos pela acidulação de rochas fosfatadas, onde se destacam o superfosfato simples que contém cerca de 18% de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O , e o superfosfato triplo com aproximadamente 41% de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O . Os dois representam, aproximadamente, 50% dos fertilizantes fosfatados fabricados no mundo (Fassbender & Bornemisza, 1994). Enquadrado neste grupo, tem-se ainda o fosfato monoamônico (MAP), com aproximadamente 48% P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O . O MAP é caracterizado como sendo a fonte de maior concentração de P no mercado, o que faz dela um fertilizante com uso elevado na formulação de adubos granulados.

Visando avaliar a eficiência destas fontes no fornecimento de P, Stefanutti et al. (1994), trabalhando com aplicação de superfosfato simples e de termofosfato magnésiano em vasos com um Latossolo Vermelho Amarelo de cerrado, observaram a elevação no teor de P extraído (avaliado com diferentes extratores)

que, por sua vez, causaram variações na matéria seca e no conteúdo do elemento nas plantas cultivadas em sucessão.

Há também fosfatos de menor reatividade, como os naturais reativos e os termofosfatos. Estes, embora apresentem menor disponibilidade imediata do nutriente para as plantas, normalmente apresentam menor custo (Horowitz & Meurer, 2004). De acordo com Novais & Smyth (1999), nas condições de solo drenado, o uso dessas fontes menos reativas pode ser mais conveniente, desde que a menor reatividade não implique restrição do processo de difusão, que garante o suprimento de P à planta.

Outro fertilizante fosfatado é o multifosfato, que possui cerca de 15% de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O , sendo a sua solubilidade influenciada pelo pH e pela matéria orgânica do solo. Por ser uma fonte rica em Ca e Mg, atua muitas vezes como corretivo da acidez do solo (Goedert et al., 1985). Esta fonte, bem como as fontes com alta solubilidade em CNA e AC, também apresenta eficiência agrônômica comprovada, onde se observou que a aplicação de diferentes doses do multifosfato magnésiano, a lanço, em pré-semeadura, resultou num aumento quadrático sobre a produtividade da soja, em cinco anos de cultivos sucessivos (Lanal et al., 2007).

De modo geral as fontes e os modos de aplicação de P afetam, de maneira variável, as frações do P no solo (Santos et al., 2008).

2.3. Modos de aplicação

Além da escolha da fonte de P, é necessário definir a melhor forma de aplicação. O manejo da adubação deve favorecer a absorção e diminuir os processos de fixação pelo solo e, conseqüentemente, aumentar o aproveitamento do P pelas plantas (Novais & Smyth, 1999).

Dentre os modos de adubação fosfatada, pode-se citar a adubação a lanço com e sem incorporação, em faixas e em linha, sendo que o modo a ser adotado, depende principalmente do teor de P no solo, das fontes, do tipo de solo e da dose aplicada.

De acordo com Costa (2008), a eficiência da fertilização fosfatada a lanço comparada com a fertilização em linha para o milho, esta diretamente relacionada

com o teor de P no solo. O presente autor observou que, quanto maior for a deficiência de P no solo, maior será a eficiência da adubação em linha.

Segundo Sousa & Lobato (2004) a adubação a lanço com incorporação é recomendada para doses acima de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Quando se tem o interesse em fazer a adubação a lanço com incorporação, deve-se atentar para a capacidade de fixação de P do solo, isso porque esse modo de aplicação aumenta o contato do P com o solo, resultando em uma maior fixação do nutriente (Resende, 2004). Sendo assim, à medida que se aumenta o contato fertilizante-solo, deve-se aumentar a dose de P a ser aplicada (Anghinoni & Barber, 1980; Sousa & Lobato, 2004). Por outro lado, a aplicação de P em linha tem promovido acúmulo no local da aplicação (Selles et al., 1987) e de acordo com Model (1990) e Klepker (1991) esse P só será redistribuído no solo mediante seu revolvimento.

Quanto as fontes de baixa solubilidade em água, como os fosfatos naturais reativos, Sousa e Lobato (2004) indicam a aplicação a lanço, incorporando-os ao solo, visando assim maior rapidez no processo de solubilização. De acordo com Horowitz & Meurer (2004), a solubilização dos fosfatos naturais depende da superfície de contato com o solo, sendo que esta superfície aumenta se o fertilizante for aplicado em área total e incorporado. Já as fontes de alta solubilidade, tradicionalmente, tem-se recomendado aplicação de maneira localizada no sulco de plantio (Prado et al., 2001).

De forma geral, em solos cujo teor de P está acima do nível crítico, pode-se realizar adubação a lanço, e solos pobres em P, a adubação deve ser na linha.

2.4. Extratores de P disponível no solo

A quantificação dos teores de P existentes no solo é de grande importância para se definir a adubação ou até mesmo na tomada de decisão quanto ao manejo a ser adotado no solo. Esta quantificação dos teores de P no solo ocorre por meio das análises de solo. A principal finalidade da análise do solo é avaliar a disponibilidade de nutrientes para as plantas e, em caso de deficiência, estimar a quantidade a ser aplicar de corretivos e fertilizantes de modo racional e econômico. Contudo, a análise de solo é viável somente se apoiada em um programa de calibração dos valores obtidos pelo método analítico com o rendimento das culturas.

Para que se tenham resultados confiáveis oriundo das análises de solo, é necessária a utilização de soluções extratoras de P no solo. Estas soluções extratoras, teoricamente, apresentam comportamento semelhante a raiz das plantas, onde tem-se como objetivo a extração do P solúvel ou lábil do solo. Dentre os métodos de extração mais utilizados no Brasil, tem-se um método que utiliza uma solução extratora denominada de Mehlich 1 e outro método que extrai o P solúvel por meio da Resina de troca aniônica.

O extrator de Mehlich 1 é composto de uma mistura de ácidos fortes em baixas concentrações (H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} e HCl 0,05 mol L^{-1}), com pH entre 2 e 3. A extração do fósforo ocorre pela dissolução ácida dos compostos fosfatados de fraca energia, sendo maior para fosfatos de cálcio, seguida daqueles ligados ao alumínio e, por último, daqueles ligados ao ferro. O princípio do método é a dissolução ácida, porém um efeito secundário de troca iônica nos sítios de adsorção também ocorre, no caso, do íon sulfato pelo fosfato.

As vantagens da utilização do método Mehlich 1, está na sua facilidade de execução e baixo custo de análise. No entanto, deve ser observado que o extrator Mehlich 1 apresenta desvantagens na estimativa dos teores de P no solo.

A primeira desvantagem se refere à uma exaustão da capacidade de extração com o aumento dos teores de argila e do grau de intemperização do solo (Novais & Smyth, 1999). Kamprath & Watson (1980) mostraram que o método Mehlich-1 extraiu menos P de solos muito argilosos, o que pode subestimar a disponibilidade de P. Isso pode ocorrer devido à neutralização parcial da solução extratora e / ou, pela readsorção do P extraído, propiciando, às vezes, baixos coeficientes de determinação entre os teores no solo e absorção pela planta (Anghinoni & Volkweiss, 1984). Visando amenizar este efeito, diversas regiões do Brasil (GO, RS, SC e etc.) agruparam os solos em classes texturais distintas, ou seja, os teores de fósforo no solo são interpretados com base no teor de argila do solo em estudo. Mais recentemente, surgiu o P-remanescente (Alvarez V. et al., 2000), como sendo mais uma ferramenta para facilitar a interpretação dos dados.

Outra desvantagem é a superestimativa da disponibilidade de P em solos previamente adubados com fosfatos naturais (Gatiboni et al., 2003) ou em solos que pela gênese, apresentam teor elevado de P-Ca. Segundo Raij (1991) e Kroth (1998)

o extrator Mehlich 1 é composto por solução diluída de ácidos fortes, cuja reação com fosfato natural é intensa, superestimando a quantidade de P disponível no solo.

O extrator Mehlich 1 tem acesso a formas de P que variam entre o P em solução e o P lábil. Em algumas situações, este extrator pode extrair parte do P não-lábil, por ser influenciado por características do solo, principalmente, por aquelas ligadas ao fator capacidade ou poder-tampão (Novais & Smyth, 1999). Souza et al. (2007), observaram incrementos nos teores de P extraído com Mehlich 1, principalmente nos solos menos oxídicos e com textura mais arenosa com adição de calcário e esterco.

Em estudo realizado por Souza et al. (2007), observaram-se de maneira geral, que com a adição de calcário e esterco bovino, houve incrementos nos teores de P extraído com Mehlich-1, principalmente nos solos menos oxídicos e com textura mais arenosa.

Na comparação do método Mehlich-1 com os métodos Mehlich-3 e Resina de troca aniônica, estes últimos extraem mais P do solo, logo, poderiam ser melhores que o Mehlich 1. Além disso, esses métodos têm apresentado, com frequência, coeficientes de determinação maiores do que os do método Mehlich-1 (Silva et al., 1997; Kroth, 1998; Schlindwein, 2003). No entanto, o método Mehlich 1 ainda é bastante utilizado, pois, além de sua praticidade comprovada, os solos do país são ácidos, muito intemperizados e pobres em P-Ca.

O método que utiliza a Resina de troca aniônica (RTA) para a quantificação do P no solo é utilizado em vários laboratórios do Brasil. As Resinas são materiais sintéticos de alta massa molecular constituídas de uma matriz polimérica com grupos funcionais responsáveis pela troca de íons. O princípio da extração do fósforo pela RTA é a sua remoção contínua da solução pela troca com o bicarbonato ou cloreto da Resina, criando um gradiente de concentração que força a saída do P da superfície dos colóides, até que seja alcançado um equilíbrio eletroquímico entre o solo e a RTA.

O uso da RTA como extrator de fósforo é adequado para a estimativa do fator quantidade, sendo melhor que outros extratores porque o processo de extração assemelha-se à ação das raízes das plantas (Silva & Raij, 1999). Além disso, não ocorre perda de força de extração do P em solos com alto teor de argila, e o uso da

RTA não provoca dissolução química de constituintes do solo e evita a superestimação do P disponível em solos que receberam adubação com fosfatos naturais. Porém, Rheinheimer et al., (2003) verificaram que a RTA extrai mais fósforo do que o Mehlich 1 em solos com altos teores de argila e menos naqueles de texturas leves, portanto o método é sensível à textura do solo.

O método da RTA é indicado como alternativa para os problemas encontrados com a utilização do Mehlich-1, sendo apontado por muitos pesquisadores como eficiente método na avaliação do P disponível (Fixen & Grove, 1990). Um aspecto favorável ao método da Resina é que este é menos influenciado pelas características dos solos que o Mehlich-1.

Uma das críticas à Resina refere-se a pouca praticidade do método, dificultando seu uso em larga escala (Moreira & Malavolta, 2001). Visando facilitar o método de análises usando a RTA, hoje têm se usado Resinas em lâminas ao invés de Resinas em esferas. Este tipo de Resina aumenta a praticidade do método de extração, pois facilita a sua separação do solo, evitando os inconvenientes do método da Resina em forma de esferas, como a moagem das amostras de solo e necessidade de seu acondicionamento em saquinhos de poliéster.

Outra característica positiva da Resina em lâmina é o seu baixo custo, uma vez que pode ser reutilizada por até 500 vezes sem perder seu poder de extração em solos com diferentes capacidades de adsorção de P e teor de Ca trocável (Saggar et al., 1990). Em um estudo, onde se comparou Mehlich 1, RTA em lâminas e esferas, Rolim et al., (2008), concluíram que o Resina em lâmina mostrou-se eficiente para determinação do P disponível, não tendo os inconvenientes da Resina em esferas e do Mehlich-1, revelando ser um método promissor para uso em rotinas de laboratórios.

Em virtude do comportamento dos diferentes extratores sobre as formas lábeis de fósforo do solo e da variabilidade de solos que os métodos necessitam atender, a sua eficácia para todas as situações é muito mais dependente dos cuidados na calibração para predição da disponibilidade do que da sua capacidade de extração.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi instalado em uma propriedade rural no município de Jataí - GO (Latitude -17,8396759; longitude -51.6349678), em um Latossolo Vermelho-Amarelo (Tabela 1.) O local de instalação do experimento foi uma área de primeiro ano de cultivo, sendo que, anteriormente, havia pastagem degradada.

Na preparação do solo, empregou-se duas gradagens seqüenciais com grade equipadas com disco de corte recortado de 32 polegadas. Em seguida aplicou-se 3500 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT de 70%), com 30% CaO e 16% MgO. Após a aplicação do calcário, fez-se uma gradagem para incorporação do mesmo, com grade equipada com disco de corte recortado de 26 polegadas.

Tabela 1. Caracterização química e de textura do solo utilizado no estudo.

Perfil solo	Areia	Silte	Argila	pH	P ¹	K	Ca	Mg	H+Al
--- cm ---	----- g dm ⁻³ -----			CaCl ₂	-- mg dm ⁻³ --		----- cmolc dm ⁻³ -----		
0,0 - 20	495	100	405	4,4	1,3	40	1,4	0,5	7,5
0,0 - 2,5	-	-	-	4,7	1,4	65	2,2	0,7	7,6
2,5 - 5,0	-	-	-	4,8	1,2	44	1,7	0,5	7,1
5,0 - 7,5	-	-	-	4,8	1,4	33	1,1	0,4	6,5
7,5 - 10	-	-	-	4,3	1,2	37	0,7	0,3	6,8
10 - 15	-	-	-	4,1	1,0	29	0,3	0,1	7,1
15 - 20	-	-	-	4,2	0,7	27	0,4	0,2	6,9

¹ Fósforo extraído com Mehlich 1.

O experimento foi instalado em blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. As parcelas mediam 10 x 3m, tendo área útil de 30m². Os tratamentos consistiam na combinação de aplicação do P a lanço sem incorporação e em linha de plantio, aplicados antes da semeadura da soja (Tabela 2). A dose de P utilizada em todos os tratamentos foi de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de fosfato monoamônico (MAP), alterando apenas as proporções a lanço e em linha para cada tratamento. Os adubos foram pesados e acondicionados em sacos plásticos com a quantidade a ser distribuída manualmente em cada linha de plantio, assim como a quantidade a ser distribuída em área total.

Na instalação do experimento, foram abertos os sulcos de plantio com auxílio de uma adubadora-semeadora e feitas as aplicações dos tratamentos nos sulcos. Em seguida fechou-se os sulcos e aplicou-se os tratamentos a lanço. Foram aplicados 100 kg há⁻¹ de K₂O na forma de KCL dois dias antes da semeadura. A semeadura da soja, cultivar Anta 82RR foi realizada em 20/10/2009 com densidade de 555 mil sementes pó hectare.

Tabela 2. Tratamentos implementados no estudo.

Tratamentos	Descrição
1	Testemunha
2	100 % Lanço
3	75 % Lanço e 25 Linha
4	50 % Lanço e 50 % Linha
5	25 % Lanço e 75% Linha
6	100 % Linha

Na implantação e condução da cultura da soja, fez-se o tratamento das sementes com fungicida a base de metalaxil-m + fludioxonil (0,1 L para cada 100 kg de sementes) visando o controle de doenças de solo e com o inseticida a base de imidacloprido + tiodicarbe (0,25 L para cada 100 kg de sementes). Fez-se também duas aplicações de herbicida glifosato (2 L.ha⁻¹), três aplicações de inseticidas, duas aplicações com lufenuron + profenofós (0,2 L.ha⁻¹) visando o controle de lagartas e uma aplicação com tiametoxam + lambda-cialotrina (0,2 L.ha⁻¹) para o controle de percevejos. Foram feitas duas aplicações de fungicida a base de Azoxistrobina + ciproconazol para o controle de doenças fúngicas.

Para a determinação do teor de P, foram coletadas 15 folhas de soja (terceira folha com pecíolo com base no ápice das plantas) em pleno florescimento conforme recomendação de Malavolta et al., (1992). O teor de P foi determinado por meio da digestão nítrico-perclórica (Malavolta et al, 1997).

No dia 12/02/2010 realizou-se a colheita do experimento, sendo colhidos 5,4 m² por parcela. A soja colhida foi trilhada e peneirada para retirar as impurezas, em seguida, fez a medição da umidade e realizou-se a pesagem de cada parcela. Para obter a produtividade líquida, aplicaram-se os descontos referentes a cada umidade.

Foram efetuadas em cada parcela amostragens do perfil do solo nas profundidades de 0 - 2,5; 2,5 - 5; 5 - 7,5; 7,5 - 10; 10 - 15 e 15 - 20 cm de

profundidade. Estas amostras foram coletadas manualmente com o auxílio de espátulas e réguas, onde cada amostra se iniciava na entre linha, passando pela linha de plantio e indo até o meio da próxima entre linha. Foi feita a amostragem de solo com o auxílio de placas com pregos metálicos, conforme metodologia descrita por Schurman & Goedewaagen (1965), modificada por Pedó (1985). Cada placa (40x20x5 cm, horizontal, vertical e profundidade, respectivamente) foi subdividida em: quatro profundidades (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm) e oito distribuições laterais de 5 cm ($4 \times 8 = 32$). Em cada monólito (quadrículo) foi efetuada a separação do solo para posterior determinação dos teores de P por meio do extrator Mehlich 1 e Resina, descritos em Embrapa (1997).

Avaliou-se também a altura média das plantas de soja. Para isso, mediu-se 10 plantas aleatoriamente em cada parcela, calculando-se a média das alturas.

Os teores de P referentes a amostragem de solo no perfil foram submetidas ao teste F, empregando a análise de variância para blocos ao acaso, em esquema de parcela subdividida, onde tem-se como parcela os tratamentos e sub parcela as seis profundidades amostradas. Procedeu-se da mesma forma para a amostragem nas placas com pregos, tendo como parcela os tratamentos, sub parcela as quatro profundidades amostradas e sub sub parcela a distribuição lateral. Para as demais variáveis, teor de P foliar, produtividade e altura de plantas, empregaram-se a análise de variância para o delineamento de em blocos ao acaso. Quando se fez necessário, os dados foram submetidos ao teste de comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância. Utilizou-se o programa SANEST para a realização das análises estatísticas e o programa SIGMAPLOT 10 para a realização dos gráficos em 3D e 2D.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variância dos parâmetros avaliados neste estudo se encontram nos apêndices, no final deste trabalho.

4.1 Comportamento do P no perfil do solo

4.1.1. Fósforo no solo em função dos modos de aplicação nas diferentes profundidades.

Em todos os tratamentos, exceto a testemunha, ocorreu uma diminuição acentuada (estratificação) no teor de P com o aumento da profundidade (figura 1 e 2), independente da combinação dos modos de aplicação empregado. Resultados semelhantes foram obtidos por Costa (2009) e Santos (2009).

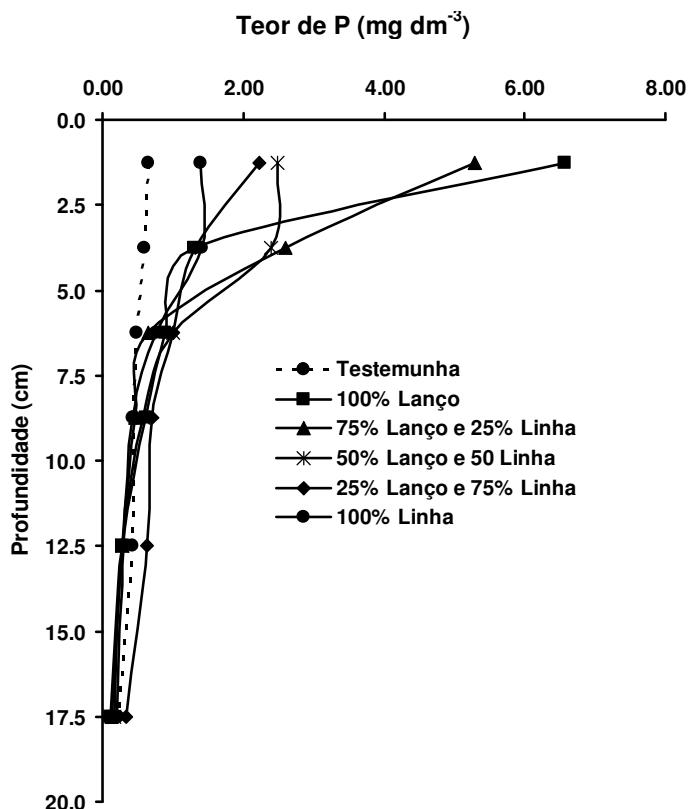


Figura 1. Distribuição do P no solo em função da profundidade e dos tratamentos. Extrator Mehlich 1.

A estratificação do P ao longo do perfil do solo pode ser influenciada pelos modos de adubação ao longo do tempo, pois, sendo superficial, independentemente de ser na linha ou a lanço, acarretará num gradiente de P no perfil (Howard et al., 1998). Visando diminuir o efeito da estratificação do P no perfil de solo, pode-se usar espécies com sistemas radiculares mais densos e agressivos, uma vez que sua posterior decomposição fornecerá P em maiores profundidades (Gregory, 2006).

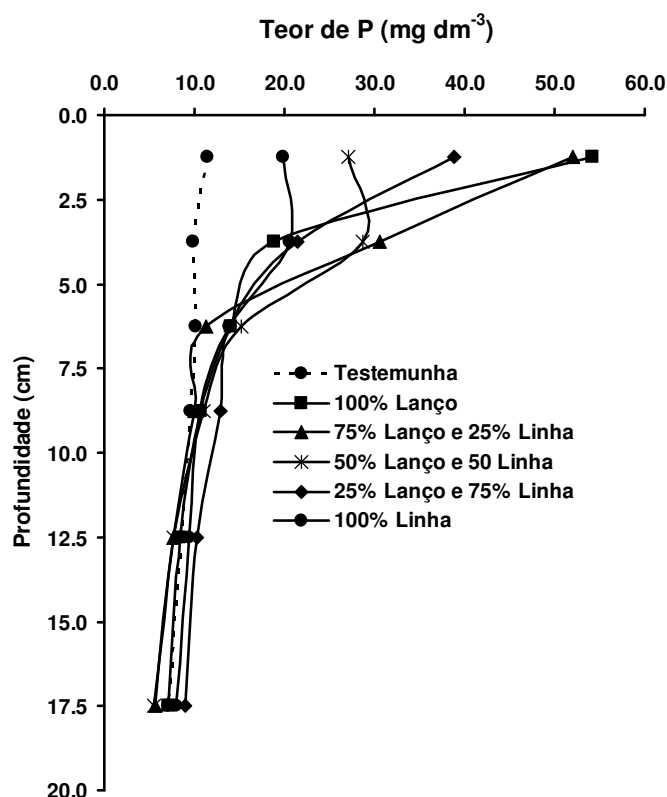


Figura 2. Distribuição do P no solo em função da profundidade e dos tratamentos. Extrator Resina.

Nesta temática, observando o comportamento do P na camada superficial do solo (Figuras 1 e 2), percebe-se grande variação no teor de P entre os modos de aplicação na profundidade de 0 – 2,5 cm, onde a testemunha apresentou o menor teor tanto para a extração com Mehlich 1 bem como para Resina (0,65 e 11,5 mg dm⁻³ respectivamente), diferenciando dos demais tratamentos (Tabela 3 e 4).

Ao contrario disso, o tratamento com 100% da dose a lanço, apresentou o maior teor de P em Mehlich 1 ($6,57 \text{ mg dm}^{-3}$) na profundidade de 0 – 2,5 cm, diferenciando dos demais tratamentos (Tabela 3). Para o P em Resina, os maiores teores ($54,14$ e $52,05 \text{ mg dm}^{-3}$) foram observados nos tratamentos com 100 e 75% da dose de P aplicados a lanço respectivamente, e que foram diferentes dos demais (tabela 4).

Na profundidade de 2,5 - 5 cm para ambas as extrações, Mehlich 1 e Resina (Figuras 1 e 2) ocorreu menor variação entre os tratamentos, independente dos modos de aplicação (Tabelas 3 e 4). Os tratamentos com 25% e 50% da dose de P aplicados em linha obtiveram resultados superiores diferenciando dos demais. Ainda nesta mesma profundidade (2,5 – 5 cm) a testemunha apresentou o menor teor de P no solo, diferenciando dos demais tratamentos (Tabelas 3 e 4).

Para o extrator Mehlich 1 e Resina, na profundidade de 5 – 7,5 cm, houve uma superioridade dos tratamentos com 100, 75 e 50% da dose de P aplicados em linha de plantio, não se diferenciando entre si e diferenciando dos demais tratamentos, exceto para o tratamento com 100% da dose de P aplicado a lanço (Tabelas 3 e 4). O fato do tratamento com 100% da dose de P aplicados a lanço estar entre os tratamentos superiores, é visto com certa incoerência, uma vez que nesta profundidade (5 – 7,5 cm) não se espera efeito deste modo de adubação, tendo em vista a baixa mobilidade do P em solos tropicais (Novais et al., 2007).

De forma geral, para ambos os extratores (Tabelas 3 e 4) nota-se uma inversão na superioridade dos tratamentos com o aumento da profundidade, ou seja, na profundidade de 0 – 2,5 cm se mostram superiores os tratamentos com maior parte da adubação a lanço, e na profundidade de 5 – 7,5 cm se mostram superiores os tratamentos com maior parte da adubação em linha de plantio. Acredita-se que motivo para esta inversão, possa estar ligado ao local de aplicação do P, uma vez que na montagem do estudo, as porções de P aplicadas na linha de plantio foram depositados abaixo das sementes, em uma profundidade média de 6 cm e o P aplicado a lanço se concentrou na superfície do solo.

Abaixo de 7,5 cm de profundidade, para ambos os extratores, Mehlich 1 e Resina, observou-se que todos os tratamentos apresentaram comportamento

Tabela 3. Teor de P (mg dm^{-3}) entre as profundidades amostradas e os tratamentos em função da combinação dos modos de aplicação. Extrator Mehlich 1.

Tratamentos	Profundidades (cm)					
	0 - 2,5	2,5 - 5	5 - 7,5	7,5 - 10	10 - 15	15 - 20
Testemunha	0,650 e ¹ A	0,587 cA	0,480 cAB	0,450 aAB	0,435 abAB	0,225 aB
100% Lanço	6,577 aA	1,300 bB	0,887 abC	0,612 aCD	0,287 bDE	0,100 aE
75% Lanço e 25% Linha	5,287 bA	2,600 aB	0,650 bcC	0,462 aCD	0,285 bD	0,132 aD
50% Lanço e 50% Linha	2,477 cA	2,395 aA	0,995 aB	0,572 aC	0,277 bCD	0,170 aD
25% Lanço e 75% Linha	2,230 cA	1,315 bB	0,992 aBC	0,712 aCD	0,625 aDE	0,337 aE
100% Linha	1,392 dA	1,412 bA	0,762 abcB	0,417 aC	0,300 abC	0,207 aC

¹Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si ao nível de significância de 5%, pelo teste de tukey. CV \rightarrow 14,96 % e DMS a 5% \rightarrow 0,336 para coluna e CV \rightarrow 14,96 % e DMS a 5% \rightarrow 0,325 para linha.

Tabela 4. Teor de P (mg dm^{-3}) entre as profundidades amostradas e os tratamentos em função da combinação dos modos de aplicação. Extrator Resina.

Tratamentos	Profundidades (cm)					
	0 - 2,5	2,5 - 5	5 - 7,5	7,5 - 10	10 - 15	15 - 20
Testemunha	11,500 e ¹ A ²	9,895 dAB	10,170 bAB	9,605 bAB	8,602 abBC	7,037 abC
100% Lanço	54,140 aA	18,900 cB	14,080 aC	10,775 bD	8,427 abE	7,087 abE
75% Lanço e 25% Linha	52,052 aA	30,510 aB	11,255 bC	9,947 bC	7,690 bD	5,692 bD
50% Lanço e 50% Linha	27,070 cA	28,765 aA	15,250 aB	10,947 abC	7,650 bD	5,565 bD
25% Lanço e 75% Linha	38,802 bA	21,377 bB	13,860 aC	12,950 aC	10,275 aD	8,950 aD
100% Linha	19,892 dA	20,597 bcA	13,947 aB	10,645 bC	9,385 abCD	8,037 aD

¹Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si ao nível de significância de 5%, pelo teste de tukey. CV \rightarrow 6,55 % e DMS a 5% \rightarrow 2,126 para coluna e CV \rightarrow 6,55 % e DMS a 5% \rightarrow 2,126 para linha.

similar, onde notou-se diminuição no teor de P com o aumento da profundidade (Figuras 1 e 2). Para as profundidades de 10 – 15 e 15 a 20 cm (Tabelas 3 e 4), nota-se pouca diferença significativa entre os tratamentos no teste de comparação de médias, o que indica baixa influência da combinação dos modos de aplicação de P em profundidades superiores a 10 cm. Costa (2008) observou efeito somente até 15 cm dos modos de aplicação (lanço, linha e em faixa) na distribuição do P no perfil do solo.

4.1.2. Fósforo no solo em função das diferentes profundidades nos modos de aplicação.

No que se refere ao comportamento do P nas diferentes profundidades em função dos modos de aplicação, nota-se por meio das extrações com Mehlich 1 e Resina (Figuras 1 e 2), que as maiores variações no teor de P no perfil do solo estão associadas aos tratamentos que tem a maior parte da dose de P aplicados a lanço.

Para a testemunha (Figuras 1 e 2), houve pouca variação nos teores de P com o aumento da profundidade. Este fato pode ser mais bem comprovado quando se analisa o teste de comparação de médias (na linha) presentes nas Tabelas 3 e 4. Nota-se pouca diferença no teor de P no solo nas diferentes profundidades, onde para o extrator Mehlich 1 (Tabela 3), não se tem diferença estatística entre as profundidades de 0 - 2,5; 2,5 – 5; 5 – 7,5; 7,5 – 10 e 10 – 15 cm. Para o extrator Resina (Tabela 4), não se tem diferença estatística entre as profundidades de 0 - 2,5; 2,5 – 5; 5 – 7,5; e 7,5 – 10 cm. Este resultado encontra-se de acordo com o esperado, tendo em vista que não houve adição de P neste tratamento.

Ao contrário do observado na testemunha, os tratamentos com 100 e 75% da dose de P aplicados a lanço (Figuras 1 e 2), apresentam alta variação no teor de P no solo com o aumento da profundidade (Tabelas 3 e 4). Para o extrator Mehlich 1 (Tabela 3) e para a extração com Resina (Tabela 4), ambos os tratamentos (100 e 75% da dose de P aplicados a lanço), apresentam diferença entre as profundidades de 0 – 2,5; 2,5 – 5 e 5 – 7,5 cm, embasando, assim, as observações feitas nas referidas Figuras.

Até a profundidade de 5 cm, o tratamento com 50% da dose de P aplicados a lanço e 50% aplicados em linha, apresentou comportamento intermediário no que se

refere ao teor de P no solo (Figuras 1 e 2). Referindo-se a este tratamento, nota-se para ambos os extratores de P, Mehlich 1 e Resina (Tabela 3 e 4 respectivamente), que não há diferença entre as profundidades de 0 – 2,5 e 2,5 a 5 cm, o que mostra que aplicação combinada de P a lanço e na linha de plantio contribuiu para a homogeneização do teor de P na profundidade de 0 – 5 cm, quando comparados aos tratamentos com maior parte da dose de P aplicados a lanço.

Considera-se como de baixa variação de P no solo, os tratamentos com 100 e 75% da dose de P aplicados na linha de plantio para ambos os extratores (Figuras 1 e 2). Para o extrator Mehlich 1, no tratamento com 75% do P aplicado na linha de plantio, nota-se que na profundidade de 0 – 2,5 cm, apresentou resultado superior, havendo diferença das demais profundidades (Tabela 3). Já para o tratamento com 100% da dose de P aplicados na linha de plantio, as profundidades de 0 – 2,5 e 2,5 a 5 cm não diferem entre si, apresentado os maiores teores de P, no entanto, diferenciando das demais profundidades. Para a extração com Resina (Tabela 4), ocorreu resultado idêntico ao observado com o extrator Mehlich.

De forma geral os tratamentos com maior percentual da adubação a lanço (100 e 75%), tanto para o extrator Mehlich 1 bem como para extração com Resina (Tabelas 3 e 4), apresentam diferenças nos teores de P na camada de 0 – 2,5 cm, o que mostra que o P permaneceu na superfície do solo. Tal relato corrobora com outros relatos na literatura que mostram teores de P, na camada de 0 – 2,5 cm, de três (Duiker & Beegle, 2006) a dez vezes (Bayer & Bertol, 1999) maiores em sistema de plantio direto (SPD) em relação ao sistema convencional, mostrando assim tendência destes modos de aplicação em acumular P em superfície. Esse acúmulo superficial de P pode apresentar algumas desvantagens, tais como a perda por erosão (Andraski et al., 2003), menor disponibilidade de tal nutriente em veranicos (Novais & Smyth, 1999) e também pode ocasionar uma concentração superficial das raízes, tornando a planta mais susceptível a períodos de estresse hídrico (Klepker, 1991).

Ambos os extratores, (Tabelas 3 e 4), não apresentaram diferença nos teores de P nas profundidades de 10 – 15 e 15 – 20 cm. Isso mostra a baixa interferência da combinação dos modos de aplicação do fertilizante fosfatado em profundidades superiores a 10 cm.

4.2. Comportamento vertical e horizontal do P no solo

4.2.1. Fósforo no solo em função dos modos de aplicação diante das diferentes profundidades e da distribuição lateral. Fósforo em Mehlich 1 e Resina.

Com base no presente estudo e considerando a comparação entre os modos de aplicação diante das profundidades amostradas e da distribuição lateral do teor de P do solo, pode-se dizer que os tratamentos com 25% ou mais da dose de P em linha de plantio (Figura 3 e 4 itens C, D, E e F), apresentaram maiores teores de P no solo na profundidade de 0 – 5 cm e no local onde se distribuiu o fertilizante, ou seja, na linha de plantio. Quando se refere ao tratamento com 100% da dose de P a lanço, nota-se que este modo de aplicação pouco influenciou no teor de P da camada superficial (0 – 5 cm) e por menor ainda nas camadas mais profundas (Figura 3 e 4, item B).

Analisando as Tabelas 5 e 6 (extrator Mehlich 1 e Resina respectivamente), tem-se os testes de comparação de médias para os teores de P entre os tratamentos na profundidade de 0 – 5 cm, onde nota-se para o extrator Mehlich 1 (Tabela 5) que na distribuição lateral 4 (DL 4), ou seja, na linha de plantio e na DL 5, tem-se as maiores variações no teste estatístico de comparação de médias. Na DL 4 o tratamento com 75% da dose de P aplicado na linha de plantio, foi superior, diferenciando dos demais. Já na DL 5, o tratamento com 100% da dose de P aplicados na linha de plantio foi superior, diferenciando dos demais.

Analisando o resultado presente na DL 4 da Tabela 5 (extrator Mehlich 1), para a profundidade de 0 – 5 cm, percebe-se uma inversão no resultado, tendo em vista que se esperava que tratamento com 100% da dose de P aplicados em linha de plantio como sendo superior, uma vez que neste local, tem-se a maior concentração de P, e que a maior dose foi aplicada na linha. Esta inversão nos resultados pode estar relacionada a menor estabilidade do extrator Mehlich 1 quando comparado a extração com Resina, uma vez que na Tabela 6 (extrator Resina), tal resultado se mostra coerente.

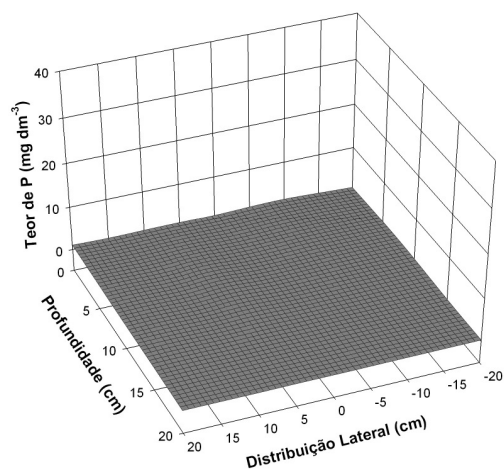
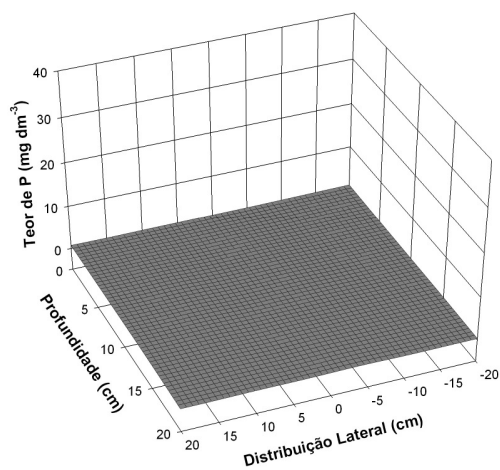
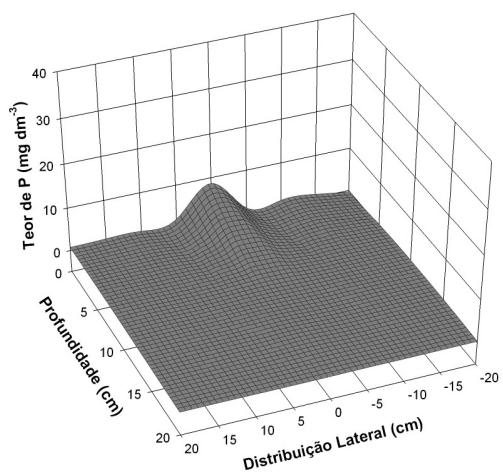
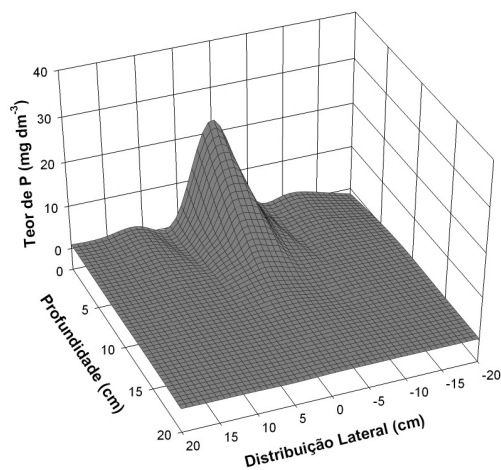
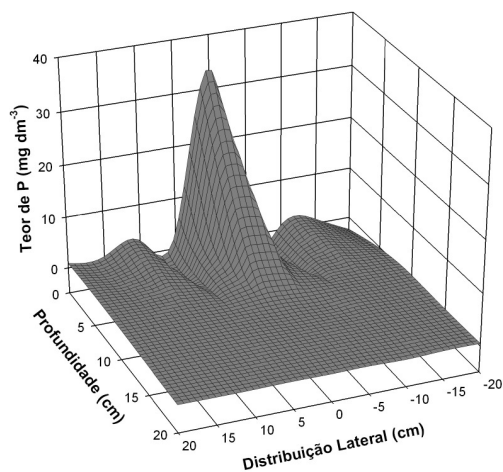
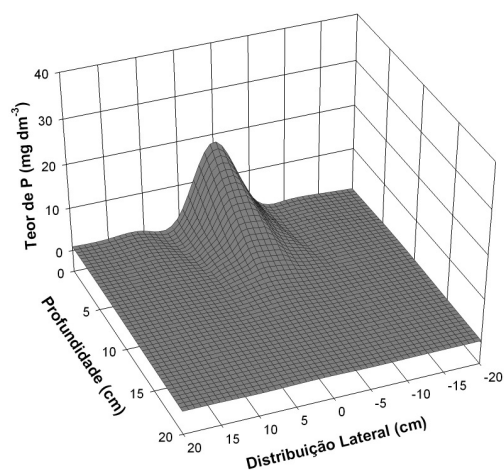
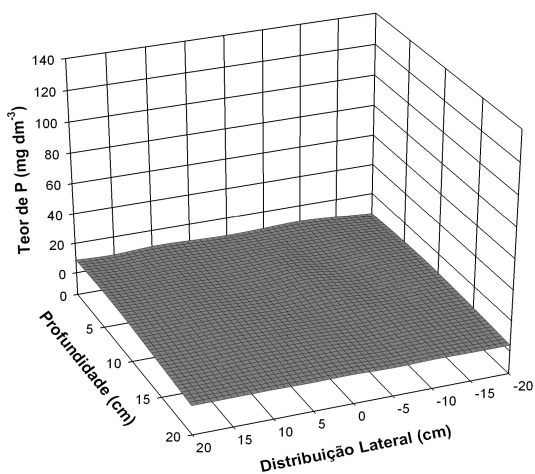
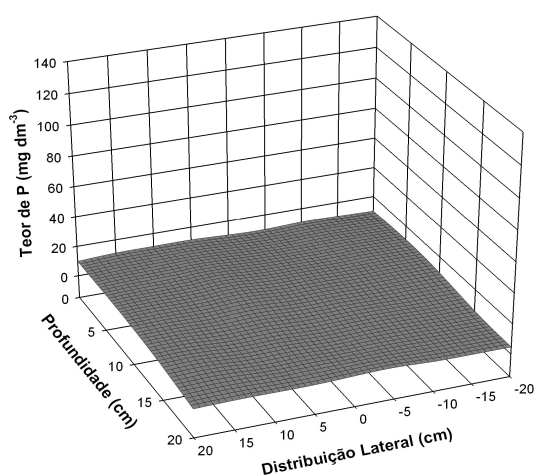
**A) Testemunha****B) 100% Lanço****C) 75% Lanço e 25% Linha****D) 50% Lanço e 50% Linha****E) 25% Lanço e 75% Linha****F) 100% Linha**

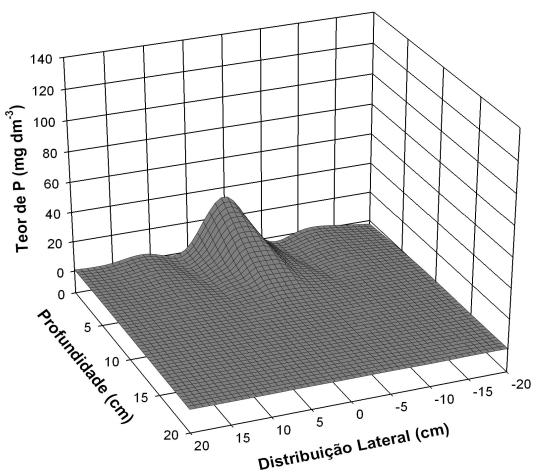
Figura 3. Distribuição lateral e vertical do P no solo em função das combinações dos modos de aplicação. Extrator Mehlich 1. (valor zero corresponde à linha de plantio).



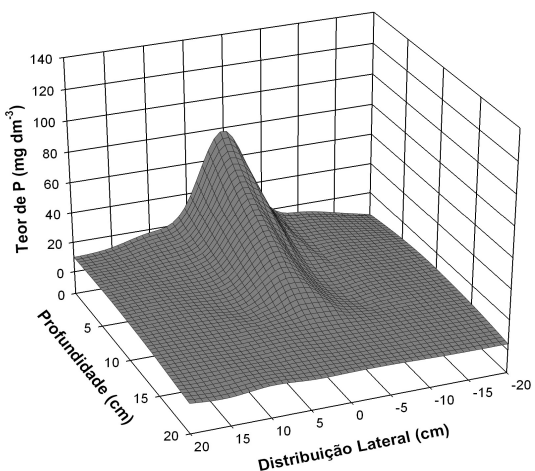
A) Testemunha



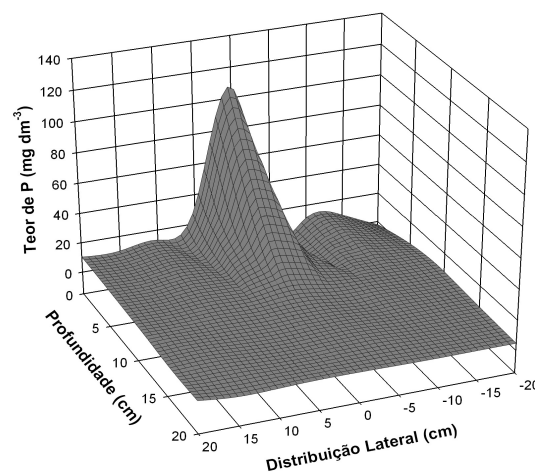
B) 100% Lanço



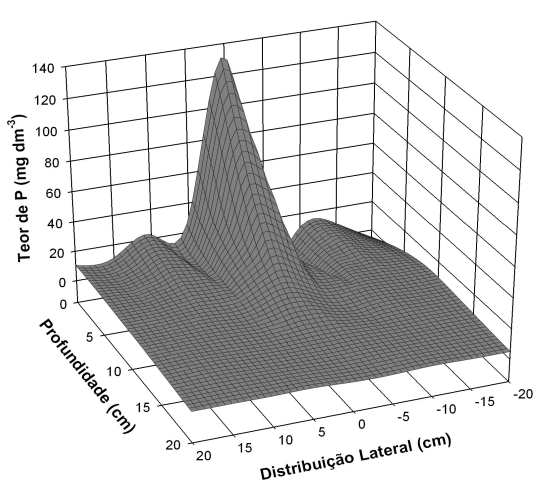
C) 75% Lanço e 25% Linha



D) 50% Lanço e 50% Linha



E) 25% Lanço e 75% Linha



F) 100% Linha

Figura 4. Distribuição lateral e vertical do P no solo em função das combinações dos modos de aplicação. Extrator Resina. (valor zero corresponde a linha de plantio).

Para a extração com Resina (Tabela 6), na mesma profundidade (0 – 5 cm), ocorreram maiores variações nos testes de comparações de médias, apenas na distribuição lateral 4, onde o tratamento com 100% da dose de P aplicado em linha de plantio foi superior, diferenciando dos demais. O restante dos tratamentos, ainda na DL 4, diferenciou-se uns dos outros, sendo os melhores resultados atribuídos aos tratamentos com 75, 50 e 25% da dose de P aplicados em linha de plantio, respectivamente.

Com base na extração com Mehlich 1, Tabela 5, para as profundidades de 5 – 10 e 10 – 15 cm, houve diferença apenas nas distribuições laterais (DLs) 4 e 5 na profundidade de 5 – 10 cm e na DL 4 na profundidade de 10 – 15 cm. Nas profundidades de 5 – 10 e 10 a 15 cm, na DL 4, percebeu-se a mesma inversão do resultado presente na profundidade de 0 – 5 cm, onde não se observou superioridade do tratamento com 100% da dose de P aplicados em linha de plantio em nenhuma destas profundidades. Na profundidade de 15 a 20 cm não houve diferença entre os tratamentos.

A extração com Resina para as profundidades de 5 – 10 e 10 – 15 cm apresentou maior variação estatística entre os tratamentos nas diferentes DLS, em relação a extração com Mehlich 1 (Tabela 5). No entanto, os mesmos tratamentos que se mostraram superiores para o extrator Mehlich 1, também foram superiores na extração com Resina, conforme Tabela 6. Para a profundidade de 15 a 20 cm (extrator Resina), nota-se diferença entre as médias de tratamento nas diferentes DLs. Entretanto, percebe-se pouca variação no teste de comparação de médias. Este resultado diferencia-se do apresentado para o extrator Mehlich 1, onde para esta profundidade (15 – 20 cm) não há diferença entre as médias (Tabela 5).

4.2.2. Comportamento vertical do teor de P no solo em função dos modos de aplicação e da distribuição lateral. Fósforo Mehlich 1 e Resina.

Houve diferença do teor de P nas diferentes profundidades, bem como entre os tratamentos e as DLs estudados, para ambos os extratores (figura 3 e 4).

Tabela 5. Teor médio de P (mg dm⁻³) entre tratamentos nas quatro profundidades em função da variação lateral. Extrator Mehlich 1.

Tratamentos	DISTRIBUIÇÃO LATERAL (DL)															
	1		2		3		4		5		6		7		8	
0 – 5 cm																
Testemunha	0,867	a ¹	0,795	d	0,737	c	0,727	e	0,705	e	0,695	c	0,665	ab	0,740	b
100% La	0,912	a	1,217	b	1,132	b	0,915	e	0,955	e	0,920	c	0,965	ab	1,060	a
75% La e 25% Li	0,840	a	1,160	bc	1,11	b	8,700	d	2,000	d	0,922	c	0,940	ab	0,750	b
50% La e 50% Li	0,912	a	1,800	a	4,650	a	22,775	b	2,747	c	1,532	b	1,077	a	0,925	ab
25% La e 75% Li	0,925	a	0,895	cd	1,190	b	33,800	a	3,125	b	2,885	a	0,975	a	0,895	ab
100% Li	0,870	a	0,985	bcd	1,085	b	18,250	c	3,875	a	2,775	a	0,970	a	0,900	Ab
5 – 10 cm																
Testemunha	0,675	a	0,655	a	0,740	a	0,687	d	0,662	c	0,830	a	0,760	a	0,780	a
100% La	0,850	a	0,825	a	0,707	a	0,727	d	1,025	ab	0,655	a	0,757	a	0,662	a
75% La e 25% Li	0,785	a	0,830	a	0,867	a	1,057	c	0,942	abc	0,767	a	0,850	a	0,760	a
50% La e 50% Li	0,765	a	0,827	a	0,910	a	2,225	a	0,900	abc	0,86	a	0,727	a	0,770	a
25% La e 75% Li	0,697	a	0,815	a	0,865	a	1,200	c	0,775	bc	0,847	a	0,852	a	0,900	a
100% Li	0,867	a	0,860	a	0,817	a	1,667	b	1,100	a	0,680	a	0,737	a	0,820	a
10 – 15 cm																
Testemunha	0,582	a	0,625	a	0,625	a	0,685	ab	0,595	a	0,727	a	0,705	a	0,690	a
100% La	0,450	a	0,440	a	0,480	a	0,452	b	0,545	a	0,522	a	0,615	a	0,562	a
75% La e 25% Li	0,717	a	0,665	a	0,665	a	0,952	a	0,762	a	0,707	a	0,625	a	0,582	a
50% La e 50% Li	0,542	a	0,525	a	0,767	a	0,732	ab	0,607	a	0,682	a	0,747	a	0,797	a
25% La e 75% Li	0,472	a	0,552	a	0,562	a	0,575	b	0,615	a	0,542	a	0,635	a	0,595	a
100% Li	0,625	a	0,675	a	0,605	a	0,585	b	0,605	a	0,615	a	0,725	a	0,605	a
15 – 20 cm																
Testemunha	0,362	a	0,367	a	0,500	a	0,462	a	0,412	a	0,442	a	0,375	a	0,372	a
100% La	0,352	a	0,352	a	0,332	a	0,327	a	0,352	a	0,327	a	0,347	a	0,355	a
75% La e 25% Li	0,367	a	0,345	a	0,380	a	0,335	a	0,335	a	0,355	a	0,397	a	0,365	a
50% La e 50% Li	0,450	a	0,510	a	0,502	a	0,492	a	0,315	a	0,427	a	0,482	a	0,542	a
25% La e 75% Li	0,502	a	0,265	a	0,430	a	0,357	a	0,410	a	0,337	a	0,317	a	0,357	a
100% Li	0,417	a	0,410	a	0,377	a	0,312	a	0,450	a	0,407	a	0,297	a	0,422	a

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de significância de 5%, pelo teste de tukey. CV → 13,69 % e DMS a 5% → 0,304. La – Lanço e Li – Linha. (distribuição lateral 4 = linha de plantio.)

Tabela 6. Teor médio de P (mg dm⁻³) entre tratamentos nas quatro profundidades em função da variação lateral.. Extrator Resina.

Tratamentos	DISTRIBUIÇÃO LATERAL (DL)															
	1		2		3		4		5		6		7		8	
0 – 5 cm																
Testemunha	7,907	b	9,300	c	8,602	d	8,040	f	8,735	d	9,167	e	7,952	c	8,735	b
100% La	10,472	a	10,752	bc	9,925	cd	10,385	e	11,352	c	11,297	d	11,112	ab	9,802	ab
75% La e 25% Li	9,615	a	10,592	bc	9,690	d	65,599	d	10,677	c	17,325	b	11,285	ab	10,722	a
50% La e 50% Li	10,412	a	14,950	a	30,242	a	78,199	c	33,274	a	17,895	b	12,045	a	9,902	ab
25% La e 75% Li	9,090	ab	11,020	b	13,302	b	107,467	b	31,449	b	13,210	c	10,087	b	10,342	a
100% Li	9,050	ab	10,487	bc	11,375	c	131,915	a	30,454	b	22,712	a	11,197	ab	10,477	a
5 – 10 cm																
Testemunha	7,402	c	6,710	c	8,652	a	7,560	e	7,605	d	8,612	b	8,300	b	8,430	a
100% La	9,557	ab	9,385	ab	9,602	a	9,475	d	10,627	ab	9,560	ab	9,732	ab	9,297	a
75% La e 25% Li	8,040	bc	8,785	b	8,907	a	10,375	d	8,832	cd	9,785	ab	8,985	b	9,345	a
50% La e 50% Li	9,512	ab	9,175	ab	10,027	a	26,975	a	11,810	a	9,940	ab	10,570	a	9,752	a
25% La e 75% Li	7,850	c	8,435	b	8,947	a	11,947	c	9,560	bc	9,605	ab	8,415	b	8,440	a
100% Li	9,780	a	10,390	a	10,067	a	19,127	b	11,062	ab	10,637	a	9,562	ab	9,025	a
10 – 15 cm																
Testemunha	5,952	b	5,952	c	5,212	c	5,922	c	6,690	b	6,995	ab	6,170	b	6,257	a
100% La	5,995	b	6,562	bc	6,475	bc	6,312	c	6,820	b	6,472	b	7,830	a	7,345	a
75% La e 25% Li	8,345	a	8,152	a	7,780	ab	8,267	ab	8,605	a	8,212	a	8,125	a	7,690	a
50% La e 50% Li	7,820	a	7,777	ab	8,255	a	8,802	a	8,865	a	7,585	ab	7,910	a	7,767	a
25% La e 75% Li	6,082	b	6,037	c	7,080	ab	6,907	bc	5,865	b	6,430	b	7,557	ab	6,560	a
100% Li	7,342	ab	6,952	abc	7,415	ab	7,187	bc	6,907	b	7,605	ab	8,300	a	7,387	a
15 – 20 cm																
Testemunha	3,910	b	4,062	a	3,605	b	4,217	a	3,997	b	4,260	b	4,115	bc	4,002	b
100% La	4,692	ab	4,865	a	5,847	a	5,302	a	4,435	ab	4,432	b	4,387	abc	3,867	b
75% La e 25% Li	5,502	a	4,780	a	4,175	b	4,562	a	4,607	ab	4,907	ab	5,647	a	4,997	b
50% La e 50% Li	4,130	ab	4,472	a	5,085	ab	5,040	a	4,910	ab	6,170	a	3,650	c	4,780	b
25% La e 75% Li	4,707	ab	4,667	a	4,910	ab	5,255	a	5,315	ab	4,695	ab	4,300	abc	6,692	a
100% Li	4,995	ab	5,387	a	4,500	ab	4,582	a	5,647	a	5,432	ab	5,472	ab	5,387	ab

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de significância de 5%, pelo teste de tukey. CV → 7,75 % e DMS a 5% → 1,523. La = Lanço ; Li = Linha.

Nesta temática, nota-se para o extrator Mehlich 1 e para o tratamento testemunha (Tabela 7), baixa variação estatística no teste de comparação de médias entre as profundidades (comparação na coluna), onde pode-se perceber, exceto para a DL 1, que a profundidade de 0 – 5 cm não se diferenciou das profundidades de 5 – 10 e 10 – 15 cm nas demais DLs. Nota-se também que não há diferença entre as DLs 3 e 4 para as profundidades 10 – 15 e 15 – 20 cm. Para as demais DLs, tem-se resultado diferente para estas mesmas profundidades.

Com base na extração com Resina (Tabela 8) e no tratamento testemunha, nota-se, exceto na DL 2, que não houve diferença entre as profundidades de 0 – 5 e 5 -10 cm nas demais DLs. Para as profundidades de 10 -15 e 15 – 20 cm nota-se que em todas as DLs tem-se diferença estatística entre estas profundidades, sendo que o menor teor de P está presente na maior profundidade (15 – 20 cm).

O fato de não ter grande variação no teste de comparação de médias para o extrator Mehlich 1 bem como para a extração com Resina, no tratamento testemunha, está de acordo com o resultado esperado, uma vez que não se adicionou P a este tratamento.

Com base nas Figuras 3 e 4 (extratores Mehlich 1 e Resina respectivamente), e no tratamento com 100% da dose de P aplicados a lanço, nota-se que este tratamento possui semelhança com a testemunha, mas no entanto, apresenta uma maior variação estatística no teste de comparação de médias, conforme pode ser visto nas Tabelas 7 e 8 respectivamente.

Se tratando da extração com Mehlich 1 e do tratamento com 100% da dose de P aplicados a lanço, nota-se na Tabela 7, exceto para DLs 2, 3 e 8, igualdade estatística entre as DLs nas profundidades de 0 – 5 e 5 – 10 cm. Para as profundidades de 10 – 15 e 15 – 20 cm para este mesmo tratamento, nota-se igualdade nas DLs 1, 4 e 5, sendo que as demais DLs as médias são diferentes, conforme Tabela 7.

Com base na Tabela 8 (extração com Resina) e no tratamento com 100% da dose de P aplicado a lanço, nota-se que no teste de comparação de médias entre as profundidades de 0 – 5 e 5 – 10 cm, tem-se igualdade estatística entre todas as DLs, exceto para as DLs 6 e 7. Para as profundidades de 10 - 15 e 15 – 20 cm nota-se igualdade estatística apenas nas DLs 1, 3 e 4, sendo que as demais DLs (2, 5, 6, 7 e

8) são estatisticamente distintas, tendo os maiores teores de P na profundidade de 10 – 15 cm, não fugindo do esperado.

O fato do tratamento com 100% lanço apresentar comportamento semelhante à testemunha nos dois extratores (Mehlich 1 e Resina), mas no entanto, resultado estatístico diferente, pode estar ligado ao aumento do teor de P na camada superficial (0 – 5 cm) em função do modo de aplicação, se comparado a testemunha (Tabelas 7 e 8).

Com base ainda nas Tabela 7 (extrator Mehlich) e 8 (extrator Resina), têm-se ainda os tratamentos com 25, 50, 75 e 100% da dose de P aplicados em linha de plantio, os quais apresentaram diferença no teste de comparação de médias entre as profundidades estudadas, em função das DLs (Tabelas 7 e 8). Nestes tratamentos, observou-se principalmente o comportamento do P em profundidade na DL 4, onde se tinha a linha de plantio, e que conseqüentemente foi o local da aplicação do fertilizante fosfatado.

Sendo assim, para os tratamentos com 25, 50, 75 e 100% da dose de P aplicados em linha de plantio, na DL 4 para o extrator Mehlich 1 (Tabela 7), se mostram em sua totalidade com diferenças estatística significativas entre as profundidades. Nestas comparações de médias, observou-se que a profundidade de 0 – 5 cm foi superior em todos os tratamentos, diferenciando estatisticamente das demais profundidades.

Considerando ainda a Tabela 7 (extrator Mehlich 1) e o tratamento com 25% da dose de P aplicados em linha na DL 4, nota-se que não há diferença significativa entre as profundidades de 5 – 10 e 10 – 15 cm, sendo que estas se diferenciam da profundidade de 15 – 20 cm, onde se tem o menor teor de P. Para os demais tratamentos (50, 75 e 100% da dose de P aplicado em linha) percebe-se, que a profundidade de 5 – 10 cm se mostrou superior, diferenciando das profundidades de 10 – 15 e 15 – 20 cm, e que estas, não se diferenciaram uma da outra, apresentando os menores teores de P no solo.

Considerando ainda a comparação de médias entre as profundidades na DL4, para os tratamentos com 25, 50, 75 e 100% da dose de P aplicados em linha de plantio, para a extração com Resina, nota-se grande variação estatística no teste de comparação de médias entre as profundidades. Neste contexto, é possível

Tabela 7. Teor de P (mg dm⁻³) entre as profundidades em função da distribuição lateral e teor de P (mg dm⁻³) entre as distribuições laterais em função das profundidades amostradas. Extrator Mehlich 1.

Profundidade (cm)	DISTRIBUIÇÃO LATERAL (DL)															
	1		2		3		4		5		6		7		8	
	----- Testemunha -----															
0 - 5	0,867	a ¹ A	0,795	aA	0,737	aA	0,727	aA	0,705	aA	0,695	aA	0,665	aA	0,740	aA
5 - 10	0,675	abA	0,655	aA	0,740	aA	0,687	aA	0,662	abA	0,830	aA	0,760	aA	0,780	aA
10 - 15	0,582	bcA	0,625	abA	0,625	aA	0,685	aA	0,595	abA	0,727	abA	0,705	aA	0,690	aA
15 - 20	0,362	cA	0,367	bA	0,500	aA	0,462	aA	0,412	bA	0,442	bA	0,375	bA	0,372	bA
	----- 100% Lanço -----															
0 - 5	0,912	aAB	1,217	aA	1,132	aAB	0,915	aAB	0,955	aAB	0,920	aAB	0,865	aB	1,060	aAB
5 - 10	0,850	aAB	0,825	bAB	0,707	bAB	0,727	aAB	1,025	aA	0,655	abB	0,757	aAB	0,662	bB
10 - 15	0,450	bA	0,440	cA	0,480	bcA	0,452	bA	0,545	bA	0,522	bcA	0,615	abA	0,562	bcA
15 - 20	0,352	bA	0,352	cA	0,332	cA	0,327	bA	0,352	bA	0,327	cA	0,347	bA	0,355	cA
	----- 75% Lanço e 25% Linha -----															
0 - 5	0,840	aCD	1,160	aC	1,115	aC	8,700	aA	2,000	aB	0,922	aCD	0,940	aCD	0,750	aD
5 - 10	0,785	aA	0,830	bA	0,867	abA	1,057	bA	0,942	bA	0,767	aA	0,850	abA	0,760	aA
10 - 15	0,717	aAB	0,665	bAB	0,665	bAB	0,952	bA	0,762	bAB	0,707	aAB	0,625	bcB	0,582	abB
15 - 20	0,367	bA	0,345	cA	0,380	cA	0,335	cA	0,335	cA	0,355	bA	0,397	cA	0,365	bA
	----- 50% Lanço e 50% Linha -----															
0 - 5	0,912	aE	1,800	aD	4,650	aB	22,775	aA	2,747	aC	1,532	aD	1,077	aE	0,925	aE
5 - 10	0,765	abB	0,827	bB	0,910	bB	2,22	bA	0,900	bB	0,865	bB	0,747	bB	0,770	abB
10 - 15	0,542	bcA	0,525	cA	0,767	bcA	0,732	cA	0,607	cA	0,682	bcA	0,727	bA	0,797	abA
15 - 20	0,450	cA	0,510	cA	0,502	cA	0,492	cA	0,315	dA	0,427	cA	0,482	bA	0,542	bA
	----- 25% Lanço e 75% Linha -----															
0 - 5	0,925	aC	0,895	aC	1,190	aC	33,800	aA	3,125	aB	2,885	aB	0,975	aC	0,895	aC
5 - 10	0,697	abB	0,815	abB	0,865	bB	1,200	bA	0,775	bB	0,847	bB	0,852	abB	0,900	aAB
10 - 15	0,472	bA	0,552	bA	0,562	cA	0,575	cA	0,615	bcA	0,542	cA	0,635	bA	0,595	bA
15 - 20	0,502	bA	0,265	cA	0,430	cA	0,357	cA	0,410	cA	0,337	cA	0,317	cA	0,357	bA

Tabela continua na próxima pagina

continuação da Tabela

Profundidade	DISTRIBUIÇÃO LATERAL (DL)															
	1		2		3		4		5		6		7		8	
	----- 100% Linha -----															
0 - 5	0,870	aD	0,985	aD	1,085	aD	18,250	aA	3,875	aB	2,775	aC	0,970	aD	0,900	aD
5 - 10	0,867	aBC	0,860	abBC	0,817	abBC	1,667	bA	1,100	bB	0,680	bC	0,737	aC	0,820	abBC
10 - 15	0,625	abA	0,675	bcA	0,605	bcA	0,585	cA	0,605	cA	0,615	bA	0,725	aA	0,605	bcA
15 - 20	0,417	bA	0,410	cA	0,377	cA	0,312	cA	0,450	cA	0,407	bA	0,297	bA	0,422	cA

¹Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si ao nível de significância de 5%, pelo teste de tukey. CV → 13,69 % e DMS a 5% → 0,275 para coluna e CV → 13,69 % e DMS a 5% → 0,325 para linha.

Tabela 8 . Teor de P (mg dm^{-3}) entre as profundidades em função da distribuição lateral e teor de P (mg dm^{-3}) entre as distribuições laterais em função das profundidades amostradas. Extrator Resina.

Profundidade (cm)	DISTRIBUIÇÃO LATERAL (DL)															
	1		2		3		4		5		6		7		8	
	----- Testemunha -----															
0 - 5	7,907	aA	9,300	aA	8,602	aA	8,040	aA	8,735	aA	9,167	aA	7,952	aA	8,735	aA
5 - 10	7,402	aAB	6,710	bB	8,652	aA	7,560	abAB	7,605	abAB	8,612	aA	8,300	aAB	8,430	aA
10 - 15	5,952	bAB	5,952	bAB	5,212	bB	5,922	bAB	6,690	bAB	6,995	bA	6,170	bAB	6,257	bAB
15 - 20	3,910	cA	4,062	cA	3,605	cA	4,217	cA	3,997	cA	4,260	cA	4,115	cA	4,002	cA
	----- 100% Lanço -----															
0 - 5	10,472	aA	10,752	aA	9,925	aA	10,385	aA	11,352	aA	11,297	aA	11,112	aA	9,802	aA
5 - 10	9,557	aA	9,385	aA	9,602	aA	9,475	aA	10,627	aA	9,560	bA	9,732	bA	9,297	aA
10 - 15	5,995	bB	6,562	bAB	6,475	bAB	6,312	bB	6,820	bAB	6,472	cAB	7,830	cA	7,345	bAB
15 - 20	4,692	bAB	4,865	cAB	5,847	bA	5,302	bAB	4,435	cAB	4,432	dAB	4,387	dAB	3,867	cB
	----- 75% Lanço e 25% Linha -----															
0 - 5	9,615	aD	10,592	aCD	9,690	aCD	65,599	aA	10,677	aCD	17,325	aB	11,285	aC	10,722	aCD
5 - 10	8,040	bB	8,785	bAB	8,907	abAB	10,375	bA	8,832	bAB	9,785	bA	8,985	bAB	9,345	bAB
10 - 15	8,345	abA	8,152	bA	7,780	bA	8,267	cA	8,605	bA	8,212	cA	8,125	bA	7,690	cA
15 - 20	5,502	cA	4,780	cA	4,175	cA	4,562	dA	4,607	cA	4,907	dA	5,647	cA	4,997	dA
	----- 50% Lanço e 50% Linha -----															
0 - 5	10,412	aG	14,950	aE	30,242	aC	78,199	aA	33,274	aB	17,895	aD	12,045	aF	9,902	aG
5 - 10	9,512	aC	9,175	bC	10,027	bC	26,975	bA	11,810	bB	9,940	bC	10,570	bBC	9,752	aC
10 - 15	7,820	bA	7,777	cA	8,255	cA	8,802	cA	8,865	cA	7,585	cA	7,910	cA	7,767	bA
15 - 20	4,130	cB	4,472	dB	5,085	dAB	5,040	dAB	4,910	dAB	6,170	dA	3,650	dB	4,780	cAB
	----- 25% Lanço e 75% Linha -----															
0 - 5	9,090	aE	11,020	aD	13,302	aC	107,467	aA	31,449	aB	13,210	aC	10,087	aDE	10,342	aDE
5 - 10	7,850	aC	8,435	bBC	8,947	bBC	11,947	bA	9,560	bB	9,605	bB	8,415	bBC	8,440	bBC
10 - 15	6,082	bAB	6,037	cAB	7,080	cAB	6,907	cAB	5,865	cB	6,430	cAB	7,557	bA	6,560	cAB
15 - 20	4,707	bB	4,667	cB	4,910	dB	5,255	dAB	5,315	cAB	4,695	dB	4,300	cB	6,692	cA

Tabela continua na próxima pagina

continuação da Tabela

Profundidade	DISTRIBUIÇÃO LATERAL (DL)															
	1		2		3		4		5		6		7		8	
	----- 100% Linha -----															
0 - 5	9,050	aE	10,487	aDE	11,375	aD	131,915	aA	30,454	aB	22,712	aC	11,197	aD	10,477	aDE
5 - 10	9,780	aBC	10,390	aBC	10,067	aBC	19,127	bA	11,062	bB	10,637	bBC	9,562	bBC	9,025	bC
10 - 15	7,342	bA	6,952	bA	7,415	bA	7,187	cA	6,907	cA	7,605	cA	8,300	bA	7,387	cA
15 - 20	4,995	cA	5,387	cA	4,500	cA	4,582	dA	5,647	cA	5,432	dA	5,472	cA	5,387	dA

¹Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si ao nível de significância de 5%, pelo teste de tukey. CV → 7,75 % e DMS a 5% → 1,377 para coluna e CV → 7,75 % e DMS a 5% → 1,628 para linha.

notar (Tabela 08) que não há igualdade estatística entre nenhuma das profundidades estudadas (0 – 5; 5 – 10; 10 – 15 e 15 – 20 cm), onde se observa que o maior teor de P está presente na profundidade de 0 – 5 cm, o qual decresce regularmente com o aumento da profundidade.

Percebe-se neste contexto que os tratamentos com 25, 50, 75 e 100% da dose de P aplicados em linha de plantio, tanto para o extrator Mehlich (Tabela 7), bem como para a extração com Resina (Tabela 8), apresenta-se alta concentração de P na profundidade de 0 – 5 cm, ocasionando diferença das demais profundidades. Este fato nos leva a concluir que não houve movimentação vertical (em profundidade) do P para estes tratamentos, tendo em vista que a concentração de P permaneceu no local de aplicação, ou seja, na profundidade de 0 – 5 cm na DL 4. De acordo com Duiker & Beegle (2006), a distribuição vertical e horizontal do P só ocorre a longo prazo.

4.2.3 Comportamento horizontal do teor de P no solo em função dos modos de aplicação e das profundidades amostradas. Fósforo Mehlich 1 e Resina.

No que se refere à movimentação horizontal de P no solo, nota-se para a extração com Mehlich 1, bem como para a extração com Resina, Figuras 3 e 4 (itens C, D, E e F) respectivamente, um aumento localizado na concentração de P, de acordo com que se aumenta a proporção da adubação em linha.

Na extração com Mehlich 1 (Tabela 7) nota-se que para o tratamento testemunha não há variação horizontal do teor de P em nenhuma das profundidades estudadas (0 – 5; 5 – 10; 10 – 15 e 15 – 20 cm), ou seja, não há diferença (teste de comparação na linha) do teor de P entre as DLs. Para a extração com Resina (Tabela 8), percebe-se a existência de diferenciação estatística nas profundidades de 5 – 10 e 10 – 15 cm, o que contraria o resultado esperado, tendo em vista que não houve adição de P neste tratamento. Para as demais profundidades (0 – 5 e 15 a 20 cm) não há diferenciação estatística entre as DLs estudadas.

Para o tratamento com 100% da dose de P aplicados a lanço, extração com Mehlich 1 (Tabela 7), nota-se a presença de variação estatística no teste de comparação de médias entre as DLs, para as profundidades de 0 – 5 e 5 – 10 cm. Nas profundidades de 10 – 15 e 15 – 20 cm não houve distinção entre as DLs

avaliadas. Para a extração com Resina (Tabela 8), não se percebe diferenças entre as DLs nas profundidades de 0 – 5 e 5 – 10 cm. Já nas profundidades de 10 – 15 e 15 – 20 cm, nota-se distinção entre as DLs avaliadas. Para este tratamento, em ambos os extratores, não se esperava estas diferenciações estatísticas, principalmente para a extração com Resina, onde a diferença ocorreu em profundidades mais elevadas (10 – 15 e 15 – 20 cm), o que não caracteriza efeito do modo de adubação.

Nesta mesma temática, considerando os tratamentos onde se tem parte da dose de P aplicados em linha de plantio (25, 50, 75 e 100%) para a extração com Mehlich 1 bem como para extração com Resina, Tabelas 7 e 8 respectivamente, nas diferentes profundidades (0 – 5, 5 – 10, 10 – 15 e 15 – 20 cm), nota-se comportamento semelhantes nos testes de comparação de médias entre as DLs, principalmente na DL 4 onde se aplicou o fertilizante.

Para o extrator Mehlich 1 (Tabela 7) e para os tratamentos com 50, 75 e 100% da dose de P aplicados na linha de plantio, nota-se que para as profundidades de 0 – 5 e 5 – 10 cm, há variação estatística no teste de comparação de médias, onde a DL 4 se mostrou superior, diferenciando-se das demais. Para o tratamento com 25% da dose de P aplicados em linha de plantio, a diferenciação estatística ocorreu apenas na profundidade de 0 – 5 cm, tendo também a DL 4 com a maior média.

Para a extração com Resina (Tabela 8), nota-se que para os tratamentos com 50, 75 e 100% da dose de P aplicados em linha de plantio, nas profundidades de 0 – 5 e 5 – 10 cm, há existência de variação estatística no teste de comparação de médias, onde a DL 4 se mostrou superior, diferenciando-se das demais. Observou-se também para o tratamento com 25% da dose de P aplicados em linha de plantio, a superioridade da DL 4 na profundidade de 0 – 5 cm. Já na profundidade de 5 – 10 cm, a DL 4 se diferencia apenas da DL 1, o que torna este resultado diferente dos demais, quando se analisa os tratamentos com parte da dose de P aplicados na linha de plantio.

Considerando que a profundidade de 0 – 5 cm revelou respostas aos modos de aplicação, e que houve superioridade dos tratamentos com adição de P na linha de plantio e que o teor de P foi maior na linha de plantio (DL 4), pode-se dizer que

não houve mobilidade horizontal de fósforo. O nutriente permaneceu no local de aplicação, ocasionando um aumento no teor, ou seja, quanto maior a proporção do P aplicado na linha de plantio, maior foi a concentração encontrada (Figura 4, itens C, D, E e F).

4.3 Produtividade, altura média e teor foliar de P na soja

4.3.1. Efeito dos modos de aplicação de P na produtividade, altura média de plantas e teor médio de P na massa seca de soja.

Com base na produtividade obtida (Tabela 9), percebe-se diferença entre os modos de aplicação de P, tendo ocorrido valores médios de produtividade de soja superiores ($2887,9 \text{ kg ha}^{-1}$), intermediários ($2107,6$ a $2610,8 \text{ kg ha}^{-1}$) e inferiores ($<2107,6 \text{ kg ha}^{-1}$). A testemunha foi o tratamento que apresentou valor inferior. Isso era esperado, uma vez que não houve a adição de P no presente tratamento e o solo apresentava baixa fertilidade como pode ser visto na tabela 9.

Os tratamentos cuja dose de P aplicada em linha de plantio foi igual ou superior a 50% da dose não se diferenciaram estatisticamente entre si (Tabela 9), se mostrando superiores. A maior produtividade foi obtida quando 100% do P foi adicionado em linha de plantio, e a medida em se aumentou a adubação em linha, aumentou-se de forma linear a produtividade, conforme figura 5.

Tabela 9. Produtividade, altura de plantas e teor de P na folha de plantas de soja em função da combinação dos modos de aplicação de P no solo.

Tratamentos	Produtividade (kg ha^{-1})	Altura de plantas (cm)	Teor de P na folha (g kg^{-1})
Testemunha	1434,9 c	34,8 d	1,7 c
100% Lanço	2107,6 b	38,0 cd	2,4 ab
75% Lanço e 25% Linha	2188,5 b	41,5 bcd	1,8 bc
50% Lanço e 50% Linha	2395,0 ab	44,8 abc	2,5 a
25% Lanço e 75% Linha	2610,8 ab	47,7 ab	2,5 a
100% Linha	2887,9 a	50,1 a	2,0 abc
Média	2270,8	42,8	2,2
CV (%)	10,7	8,6	12,7
DMS	560,1	8,5	0,6

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de significância de 5%, pelo teste de tukey.

Com produtividade intermediária, têm-se os tratamentos que receberam parte da adubação a lanço, desde 25% até 100% da dose, não se observando diferença estatística entre eles (tabela 9). Este resultado tem grande importância, uma vez que estatisticamente não houve diferença na produção quando se fez de 25 a 100% da dose de P a lanço. Howard et al., (2002) tendo aplicado P no sulco de plantio de milho obtiveram rendimentos similares aos obtidos apenas com aplicações a lanço.

Observam-se ainda na Tabela 9, a existência de diferenças entre a altura média das plantas em função dos tratamentos estudados, mostrando assim a importância do P para o crescimento dos vegetais.

No que se refere ao tamanho médio das plantas, pode-se observar que a testemunha, juntamente com os tratamentos com 100 e 75% da dose de P aplicados a lanço, obtiveram resultados inferiores, e diferentes dos demais (Tabela 9). A testemunha, por não ter recebido P, apresentou a menor altura, 34,8 cm, conforme se esperava.

O fato do tratamento com 100% da dose de P aplicados a lanço, não ter sido diferente da testemunha no tamanho médio das plantas, pode estar relacionado a baixa mobilidade do P no solo (Novais et al., 2007). Isso fez com que este elemento se concentrasse na superfície do solo, limitando a capacidade das raízes em absorver-lo. No caso do tratamento com 75% a lanço e 25% em linha de plantio, acredita-se que os 25% da dose de P aplicados em linha, foram insuficientes para suprir toda necessidade das plantas por P.

Referindo-se ainda ao tamanho médio das plantas, percebe-se que os tratamentos com 100%, 75% e 50% da dose de P aplicado em linha de plantio, se mostraram superiores no teste de comparação de médias, diferindo dos demais tratamentos. Verifica-se também que a medida que se aumenta a quantidade de P na linha de plantio, aumenta-se também o tamanho médio das plantas, resultando em maior produtividade (tabela 9 e figura 6).

Contrário ao observado neste estudo, Model e Anghinoni (1992), trabalhando com resposta de milho a modos de aplicação de adubos e tipos de preparo de solo, demonstraram que não houve diferença no rendimento do milho entre os modos de aplicação. Já Howard et al. (2002) em um trabalho com dois

sistemas de manejo de solo, ao relacionar o aumento da proporção de P aplicado a lanço, observou incremento no rendimento de grãos de milho.

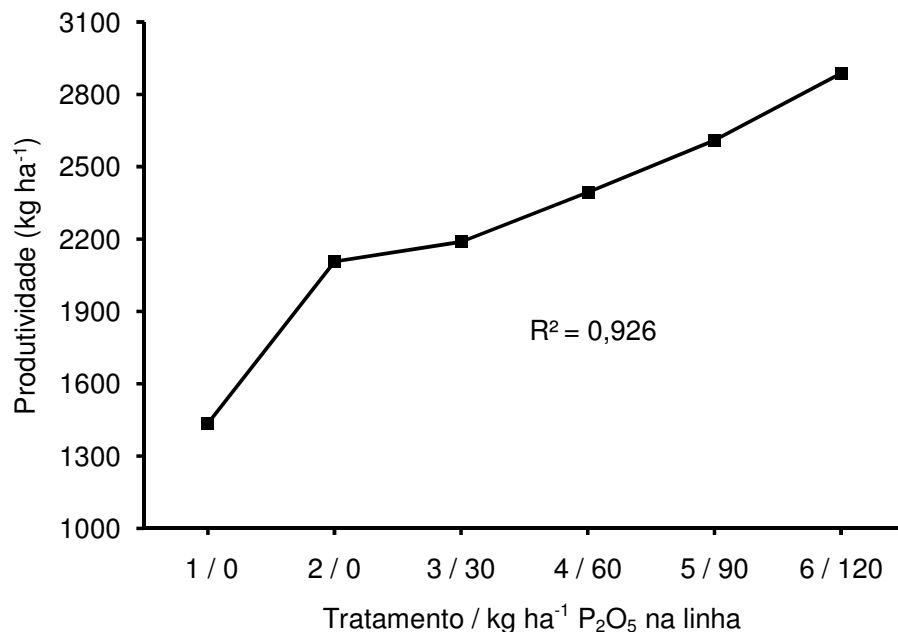


Figura 5. Produtividade de soja em função dos tratamentos e da quantidade de P₂O₅ aplicados na linha de plantio.

Na tabela 9, tem-se também o teor médio de P nas folhas de soja. De acordo com adaptação feita por Sousa e Lobato (2004), o teor adequado de P em folhas de soja deve estar entre 2,5 e 5,0 g kg⁻¹. Com base nos teores obtidos neste estudo, exceto para os tratamentos com 50 e 75% da dose de P aplicados em linha, os demais tratamentos estão com teor abaixo do teor mínimo definido por tais autores.

Os tratamentos com 50 e 75% da dose de P aplicados em linha, têm seus teores foliares de P de 2,5 g kg⁻¹, estando no limiar do intervalo definido. Os teores foliar de P na testemunha e onde se aplicou 100 e 25% da dose de P em linha de plantio foram os tratamentos com resultados inferiores, não diferenciando entre si. Entre estes tratamentos (resultados inferiores), tem-se o tratamento com 100% da dose de P em linha, o qual não se diferencia de nenhum outro, inclusive dos tratamentos com as melhores médias. O fato do tratamento com 100% da dose de P aplicado em linha de plantio não se diferenciar estatisticamente da testemunha é

visto com surpresa, tendo em vista a superioridade deste tratamento para as características de produção e altura de plantas. Entre os tratamentos com as melhores médias, destacam-se aqueles com 25% e 50% da dose de P a lanço, sendo que ambos apresentam $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ de P foliar.

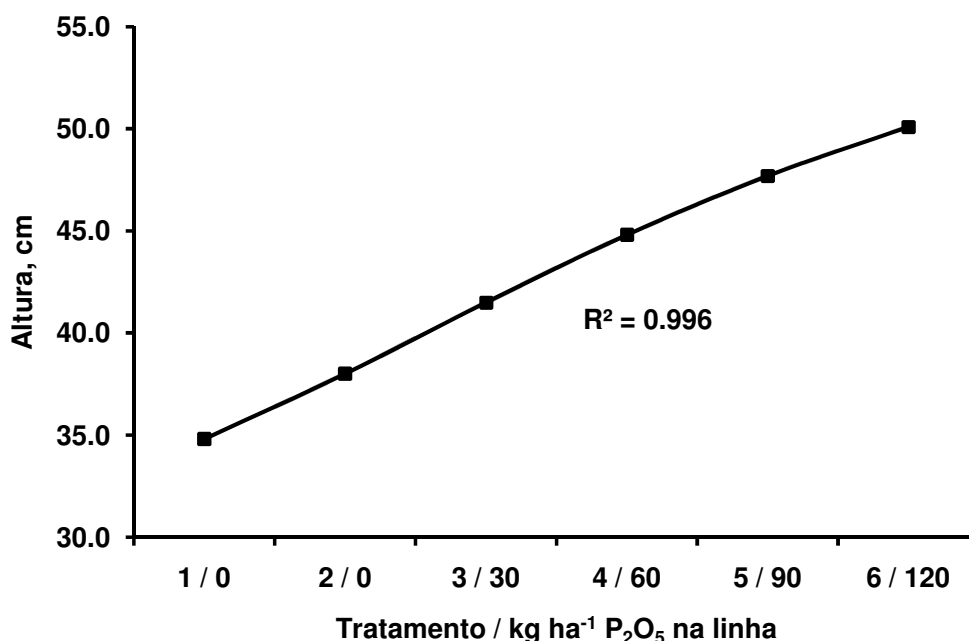


Figura 6. Altura das plantas de soja em função dos tratamentos e da quantidade de P_2O_5 aplicados na linha de plantio.

Diante do resultado apresentado para estas características (produtividade, altura de plantas e teor de P na folha), percebe-se uma superioridade dos tratamentos onde se tem 50, 75 e 100% da dose de P aplicados em linha de plantio. Este resultado está de acordo com o descrito por Welch et al (1966) e Costa (2008), que segundo eles, a eficiência da aplicação de P a lanço versus a aplicação em linha de plantio, pode estar associado ao teor inicial deste nutriente no solo. Aliado a isso, quanto maior é a deficiência de P, maior será a eficiência de rendimento de grãos de milho a aplicação localizada.

5. CONCLUSÕES

Para as características de produtividade, altura de plantas e teor de P na folha, houve superioridade dos tratamentos onde se têm 50, 75 e 100% da dose de P aplicados em linha de plantio.

Quando a maior parte do P foi aplicado a lanço (100 e 75% da dose), ocorreu acúmulo na camada de 0 – 2,5 cm; quando a maior parte da adubação de P ocorre em linha de plantio (100 e 75%) o P se acumula na camada de 5 – 7,5 cm.

Independente da combinação entre os modos de adubação, não houve mobilidade vertical e horizontal do P aplicado, tendo em vista que ocorreu maior teor na profundidade de 0 – 5 cm.

A combinação dos modos de aplicação de P, tem baixa influência no comportamento do teor deste elemento em profundidade superior a 10 cm.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. **Determinação e uso do fósforo remanescente**. B. Inf. SBCS, v.25, p.27-32, 2000.

ANDRASKI, T.W.; BUNDY, L.G.; KILIAN, K.C. **Manure history and long-term effects on soil properties and phosphorus losses in runoff**. Journal of environmental quality, Madison, v.32, p.1782-1789, 2003.

ANGHINONI, I. & BARBER, S.A. **Phosphorus application rate and distribution in the soil and phosphorus uptake by corn**. Soil Science Society of America Journal, adison, v.44, p.1041-1044, 1980.

ANGHINONI, I. & VOLKWEISS, J.S. **Recomendações de uso de fertilizantes**. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. Anais. Brasília, Embrapa/DEP, p.179-204, 1984.

ARAÚJO, M.S. & SALCEDO, I.H. **Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-deaçúcar na região nordeste**. R. Bras. Ci. Solo, v.21,p.643-650, 1997.

BAYER, C.; BERTOL, I. **Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo com ênfase na matéria orgânica**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.23, p.867-694, 1999.

BECK, M.A. & SANCHEZ, P.A. **Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult**. Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1424-1431, 1994.

BRAGA, J. N.; DEFELIPO, B. V. **Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal**. Revista CERES, Viçosa, v.21, n.113, p.73-85, 1974.

CHEN, C.R.; CONDRON, L.M.; DAVIS, M.R. & SHERLOCK, R.R. **Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand**. For. Ecol. Manag., v.177,p.539-557, 2003.

CONDRON, L.M.; GOH, K.M. & NEWMAN, R.H. **Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ³¹P nuclear magnetic resonance analysis**. J. Soil Sci., v.36,p.99-207, 1985.

COSTA, S. E. V. G. de A. **Distribuição de fósforo, de potássio e de raízes e rendimento de milho em sistemas de manejo de solo e da adubação em longo prazo**. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 106p, 2008.

COSTA, S. E. V. G. de A., **Phosphorus and root distribution and corn growth as**

related to long-term tillage systems and fertilizer placement. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. v..33, n.5, p.1237-1247, 2009.

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

DALAL, R. C. Soil organic phosphorus. *Advances in Agronomy*, San Diego, v.29, p. 83-117, 1977.

DAROUB, S.H.; PIERCE, F.J. & ELLIS, B.G. **Phosphorus fractions and fate of phosphorus-33 in soils under plowing and no-tillage.** *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.64, p.170-176, 2000.

DUIKER, S.W. & BEEGLE, D.B.; **Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems.** *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.88, p.30-41, 2006.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ).** Manual de Métodos de Análise de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro, p.212 1997.

FASSBENDER, H. W. & BORNEMISZA, E. **Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina.** San José: Instituto Interamericano de Cooperación para Agricultura, p.420, 1994.

FIXEN, P.E. & GROVE, J.H. **Testing soils for phosphorus.** In: WESTERMAN, T. L., ed. *Soil testing and plants analysis*. 3.ed. Madison, Soil Science Society of America, p.141-180, 1990.

GATIBONI, L. C., KAMINSKI, J., RHEINHEIMER, D. S., & FLORES, J. P. C. **Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto.** *Re. bras. ci. solo*, v.31, p.691-699, 2007.

GATIBONI, L.C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D.; FLORES, J.P.C.; KAMINSKI, J. & RHEINHEIMER, D.S. **Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado.** *Ci. Rural*, v.33, p.282-290, 2003.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologia e estratégias de manejo.** São Paulo: Nobel, p. 129-163, 1985.

GREGORY, P. **Plant roots-growth, activity and interaction with soils.** Oxford: lackwell Publishing, 318 p. 2006.

GUO, F. & YOST, R.S. **Partitioning soil phosphorus into three discrete pools of**

differing availability. Soil Sci., v.163, p.822- 833, 1998.

HEDLEY, M.J.; STEWARD, W.B. & CHAUHAN, B.S. **Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices and laboratory incubation.** Soil Sci. Soc. Am. J., v.46, p.970-976, 1982.

HENRIQUEZ, C. & KILLORN, R. **Soil P forms and P uptake under intensive plant growth in the greenhouse.** Agron. Costarricense, v.29, p.83-97, 2005.

HOROWITZ, N. & MEURER, E.J. **Eficiência agronômica de fosfatos naturais.** In: YAMADA, T. & ABDALLA, S.R.S., eds. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba, POTAFOS, p.665-682, 2004.

HOWARD, D. D.; ESSINGTON, M. E.; LOGAN, J. **Long-term broadcast and banded phosphorus fertilization of corn produced using two tillage systems.** Agronomy Journal, v.94, p.51-56, 2002.

HOWARD, D.D.; MULLEN, M.D.; ESSINGTON, M.E. **Assessing nutrients stratification within a long-term no-tillage corn soil.** In: Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture, 21., 1998, Arkansas. Proceedings... Arkansas: Arkansas agriculture experiment station, 1998.

KAMPRATH, E.J. & WATSON, M.E. **Conventional soil and tissue test for assessing the phosphorus status of soil.** In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J., eds. The role of phosphorus in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, p.433-469, 1980.

KLEPKER, D. **Nutrientes e raízes no perfil e crescimento de milho e aveia em função do preparo do solo e modos de adubação.** 1991. 117f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

KROTH, P.L. **Disponibilidade de fósforo no solo para as plantas e fatores que afetam a extração por Resina de troca em membranas.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 167p. (Tese de Mestrado), 1998.

LANAL, 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.** Ciênc. agrotec., Lavras, v. 31, n. 6, p. 1654-1660, 2007.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solo e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação.** São Paulo: Ceres, 1992.

MALAVOLTA, E. **Nutrição de plantas.** In: FERRI, M.G. (org.) Fisiologia vegetal. São Paulo : EDUSP, v.1, 400p, 1985.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das

plantas. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 319p, 1997.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A.S. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 201p., 1989.

MAROKO, J.B.; BURESH, R.J. & SMITHSON, P.C. **Soil phosphorus fractions in unfertilized fallow-maize systems on two tropical soils.** Soil Sci. Soc. Am. J., v.63, p.320-326, 1999.

MODEL, N. **Rendimento de milho e aveia e propriedades do solo relacionados ao modo de aplicação de fósforo e potássio e técnicas de preparo do solo.** 1990. 115f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

MODEL, N.S.; ANGHINONI, I. **Respostas do milho a modos e técnicas de preparo do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.16, p.55-59, 1992.

MOREIRA, A. & MALAVOLTA, E. **Fontes, doses e extratores de fósforo em alfafa e centrosema.** Pesq. Agropec. Brás., 36:1519-1527, 2001.

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

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.471-537. 2007.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover.** In: **Soil microbiology and biochemistry.** 2. ed. San Diego: Academic, p. 158-179, 1996.

PEDÓ, F. **Rendimento e distribuição de raízes de seis espécies de plantas em dois níveis de compactação do solo.** 92f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. & ROQUE, C.G. **Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção.** R. Bras. Ci. Solo, 25:83-90, 2001.

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba, Agronômica Ceres, 343p. 1991.

RESENDE, A.V. **Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado.** Lavras : UFLA, 2004. 169f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. **Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo.** Pesq. Agropec. Bras., v.36 p.151-160, 2001.

RHEINHEIMER, D.S. ANGHINONI I. & CONTE E. **Sorção de fósforo em função do teor inicial e de sistemas de manejo de solos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, n.1, p.41-49, 2003.

ROLIM NETO, F.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; COSTA, L.M.; CORRÊA, M.M.; FERNANDES FILHO, E.I & IBRAIMO, M.M., **Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba.** (MG). R. Bras. Ci. Solo, v.28, p.953-964, 2004.

ROLIM, M. V., NOVAIS, R.F., NUNES, F. N., & ALVAREZ, V. H., **Efeito da moagem do solo no teor de fósforo disponível por Mehlich-1, Resina em esferas e em lâmina.** R. Bras. Ci. Solo, v.32, p.1181-1190, 2008.

SAGGAR, S.; HEDLEY, M.J.; WHITE, R.E. **A simplified resin membrane technique for extracting phosphorus from soils.** Fertilizer Research, Dordrecht, v.24, p.173-180, 1990.

SANTOS, D. B. M. **Distribuição do fósforo no perfil do solo sob sistema plantio direto.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 81 p. Dissertação de Mestrado, 2009.

SANTOS, J. Z. L., NETO, A. E. F., RESENDE, A. V., CURI, N., CARNEIRO, L. F. & COSTA, S. E. V. G. A., **Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho.** R. Bras. Ci. Solo, v.32, p.705-714, 2008.

SCHLINDWEIN, J.A. **Calibração de métodos de determinação de fósforo e potássio do solo sob sistema plantio direto.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 169p. (Tese de Doutorado), 2003.

SCHURMAN, J.J.; GOEDEWAAGEN, M.A.J. **Methods for the examination of root systems and roots.** Wageningen : Pudoc, 86p. 1965.

SELLES, F.; KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; ZENTNER, R.P.; FAGANELLO, A. **Distribution of phosphorus fractions in a Brazilian Oxisol under different tillage systems.** Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.44, p.23-34, 1987.

SILVA, F.C. & RAIJ, B.van. **Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores.** Pesq. Agropec. Bras., 34:267-288, 1999.

SILVA, M.A.; NÓBREGA, J.C.A.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; SÁ, J.J.G.; MARQUES, M. & MOTTA, P.E.F. **Frações de fósforo em Latossolos.** Pesq. Agropec. Bras., v.38, p.1197-1207, 2003.

SILVA, W.M.; FABRICIO, M.C. & MARCHETTI, M.E. **Extratores de fósforo em dois**

Latossolos do Mato Grosso do Sul. In: Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 3p. CDROM. 1997.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E., **Cerrado: correção do solo e adubação.** 2.ed. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004.

SOUZA, R. F., FAQUIN, V., ANDRADE, A. T. & TORRES, P. R. F., **Formas de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica.** R. Bras. Ci. Solo, v.31, p.1535-1544, 2007.

STEFANUTTI, R., MURAOKA, T., MALAVOLTA, E., **Comportamento de extratores em solo tratado com fontes diversas de fósforo.** Sci. Agri. Piracicaba, v.51, p.105-112, 1994.

TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. & COLE, C.V. **Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis.** Soil Sci. Soc. Am. J., v.48, p.853-858, 1984.

TOKURA, A.M.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C.H. & LOVISI, A.A. **Formas de fósforo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo.** Pesq. Agropec. Bras., v.37, p.1467-1476, 2002.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M. G. & DOS ANJOS, L. H. C.; **Adsorção de fósforo em solos de argila de baixa atividade.** Bragantia, v.62, p.111-118, 2003.

WELCH, L. F.; MULVANEY, D. L.; BOONE, L. V.; MCKIBBEN, G. E.; PENDLETON, J. W. **Relative efficiency of broadcast versus banded phosphorus for corn.** Agronomy Journal, v.58, p.283-287, 1966.

7. APÊNDICES

Apêndice 1. Análise de variância para produtividade de soja.

Causas da variação	G.L	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F
Blocos	3	741709,751	247236,583	4,17	0,05
Tratamentos	5	4975872,927	995174,585	16,78	0,01
Resíduo	15	889589,401	59305,960		
Total	23				
Média geral → 2270,77			C.V → 10,72%		

Apêndice 2. Análise de variância para altura média de plantas de soja

Causas da variação	G.L	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F
Blocos	3	47,156	15,718	1,16	NS
Tratamentos	5	679,263	135,852	10,05	0,01
Resíduo	15	202,753	13,516		
Total	23				
Média geral → 42,8			C.V → 8,59%		

Apêndice 3. Análise de variância para o teor foliar médio de P em plantas de soja

Causas da variação	G.L	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F
Blocos	3	0,136	0,0456	0,62	NS
Tratamentos	5	2,368	0,473	6,41	0,01
Resíduo	15	1,108	0,073		
Total	23				
Média geral → 2,13			C.V → 12,74%		

Apêndice 4. Análise de variância (Anova) do teor médio de P no perfil do solo em função das combinações do modo de aplicação.

Causas da variação	G.L	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F
Tratamento (Trat.)	5	24,574	4,915	181,440	0,00001
Profundidade (Prof.)	5	144,588	28,918	1067,535	0,00001
Trat. x Prof.	25	96,265	3,851	142,150	0,00001
Resíduo	108	2,926	0,027		
Total	143	268,353			
Média geral → 1,10			C.V → 14,96%		

Apêndice 5. Análise de variância do teor médio de P presentes no perfil de solo.
Extrator Mehlich 1.

Causas da variação	G.L	S.Q.	Q.M.	Valor F
Blocos	3	0,085	0,0283	1,559 ns
Tratamento (trat)	5	24,542	4,908	270,20 **
Resíduo (trat)	15	0,272	0,0182	
Parcelas	23	24,900		
Profundidade (prof)	5	144,742	28,948	1062,31 **
Trat x Prof	25	95,861	3,834	140,712 **
Resíduo (prof)	90	2,453	0,0272	
Sub parcela	143	267,960		

Média geral → 1,204

C.V. para parcela → 18,979

C.V. para sub parcela → 16,777

Apêndice 6. Análise de variância do teor médio de P presentes no perfil de solo.
Extrator Resina.

Causas da variação	G.L	S.Q.	Q.M.	Valor F
Blocos	3	10,039	3,346	3,159 ns
Tratamento (trat)	5	1712,588	342,518	323,435 **
Resíduo (trat)	15	15,887	1,059	
Parcelas	23	1738,514		
Profundidade (prof)	5	12525,935	2505,187	3625,451 **
Trat x Prof	25	5579,854	223,194	323,002 **
Resíduo (prof)	90	62,164	0,691	
Sub parcela	143	19906,467		

Média geral → 1,204

C.V. para parcela → 18,979

C.V. para sub parcela → 16,777

Apêndice 7. Análise de variância do teor médio de P presentes nos monólitos.
Extrator Mehlich 1.

Causas da variação	G.L	S.Q.	Q.M.	Valor F
Blocos	3	0,778	0,259	4,964 *
Tratamento (trat)	5	173,032	34,606	662,548 **
Resíduo (trat)	15	0,783	0,052	
Parcelas	23	174,593		
Profundidade (prof)	3	793,400	264,467	6479,497 **
Trat x Prof	15	456,853	30,457	746,201 **
Resíduo (prof)	54	2,204	0,041	
Sub parcela	95	1427,051		
Distribuição lateral (lat)	7	947,258	135,323	6109,855 **
Trat x lat	35	768,358	21,953	991,188 **
Prof x lat	21	2570,204	122,391	5525,975 **
Trat x prof x lat	105	2158,859	20,561	928,316 **
Resíduo lat	504	11,163	0,022	
Sub sub parcela	767	7882,8943		

Média geral → 1,204

C.V. para parcela → 18,979

C.V. para sub parcela → 16,777

C.V. para sub sub parcela → 12,359

Apêndice 8. Análise de variância do teor médio de P presentes nos monólitos.
Extrator Resina.

Causas da variação	G.L	S.Q.	Q.M.	Valor F
Blocos	3	4,154	1,385	1,253 ^{NS}
Tratamento (trat)	5	4602,191	920,438	832,959 **
Resíduo (trat)	15	16,575	1,105	
Parcelas	23	4622,921		
Profundidade (prof)	3	25018,736	8339,579	15408,361 **
Trat x Prof	15	8192,949	546,197	1009,163 **
Resíduo (prof)	54	29,227	0,541	
Sub parcela	95	37863,832		
Distribuição lateral (lat)	7	19036,701	2719,529	4225,350 **
Trat x lat	35	12516,281	357,608	555,618 **
Prof x lat	21	44919,408	2139,019	3323,408 **
Trat x prof x lat	105	31562,523	300,596	467,037 **
Resíduo lat	504	324,386	0,644	
Sub sub parcela	767	146223,131		

Média geral → 10,405

C.V. para parcela → 10,103

C.V. para sub parcela → 7,070

C.V. para sub sub parcela → 7,711