

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
AGRONOMIA

FONTES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO SOBRE
SUAS FRAÇÕES NO SOLO E A PRODUTIVIDADE DA SOJA

Autor: Raphael Lopes do Couto
Orientador: Prof. DSc. Carlos Ribeiro Rodrigues

RIO VERDE – GO

MAIO – 2018

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
AGRONOMIA

FONTES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO SOBRE
SUAS FRAÇÕES NO SOLO E A PRODUTIVIDADE DA SOJA

Doutorando: Raphaell Lopes do Couto
Orientador: Prof. DSc. Carlos Ribeiro Rodrigues

Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração Tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água.

RIO VERDE – GO

MAIO – 2018

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

C871f Couto, Raphaell Lopes do Couto
 Fontes e formas de aplicação de fósforo sobre suas frações
 no solo e produtividade de soja /Raphaell Lopes do Couto
 Couto;orientador Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues. -- Rio Verde,
 2018.
 64 p.

 Tese (Doutorado em Agronomia) -- Instituto Federal
 Goiano, Campus Rio Verde, 2018.

 1. Adubação fosfatada. 2. Fracionamento químico. 3. Teores de
 fósforo. I. Rodrigues, Dr. Carlos Ribeiro, orient. II. Título.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-AGRONOMIA**

**FONTES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO SOBRE SUAS
FRAÇÕES NO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA**

**Autor: Raphaell Lopes do Couto
Orientador: Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues**

**TITULAÇÃO: Doutor(a) em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração
em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado**

APROVADA em 29 de maio de 2018.

**Prof. Dr. Paulo Fernandes Boldrin
Avaliador externo
UniRV – Rio Verde**

**Prof. Dr. Adriano Perim
Avaliador externo
IF Goiano – Campus Rio Verde**

**Dra. Tatiana Michlovská Rodrigues
Avaliadora interna
IF Goiano – Campus Rio Verde**

**Prof.^a Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão
Avaliadora externa
UniRV – Rio Verde**

**Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues
Presidente da banca
IF Goiano – Campus Rio Verde**

OFEREÇO

Ao meu orientador Carlos Ribeiro Rodrigues
Aos meus colegas do Laboratório de Química Agrícola do IF Goiano

DEDICO

À minha família

AGRADECIMENTOS

Ao IF Goiano Campus Rio Verde – GO, pela oportunidade oferecida com o curso de pós-graduação.

A Deus, por estar sempre presente em minha vida me guiando e dando força para não desistir.

Aos meus pais e irmãos, que viveram essa batalha comigo sempre me incentivando nas horas difíceis.

Ao meu orientador Carlos Ribeiro Rodrigues, com quem muito aprendi durante essa fase da minha vida, sendo um exemplo a ser seguido me inspirando com sua ética e profissionalismo.

Aos meus colegas do Laboratório de Química Agrícola, que auxiliaram em toda a parte prática, com trabalhos em campo e laboratório muitas vezes exaustivos. Que dedicaram seus finais de semana, férias e feriados para me ajudar e sem os quais eu não teria conseguido realizar essa pesquisa.

Aos meus amigos que acompanharam de perto essa minha trajetória me dando sempre muita força e incentivo.

À banca examinadora repleta de excelentes professores e pesquisadores, que aceitaram contribuir com a melhoria desse trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram de forma direta ou indiretamente na concretização deste trabalho tão almejado pra minha vida!

BIOGRAFIA DO AUTOR

Raphaell Lopes do Couto, nascido em Rio Verde-Goiás em 10 de setembro de 1985. Concluiu o ensino médio no Colégio Quasar no ano de 2002. Em 2003 ingressou na Faculdade de Agronomia da UniRV onde estudou por quatro anos obtendo o título de Engenheiro Agrônomo no final de 2006. Em agosto de 2008 entrou para o programa de pós-graduação, Mestrado em Agronomia, na UniRV, mudando, em 2010 para Minnesota EUA onde fez estágio na área de produção de mudas, retornando seis meses mais tarde e concluindo o mestrado e obtendo o título de mestre em março de 2011. Trabalhou como assistente técnico na empresa Basf durante a safra 2011/2012, e posteriormente na empresa Timac-Agro. Iniciou suas atividades como professor no curso de agronomia da UniRV no primeiro semestre de 2013, ingressando no ano seguinte no programa de pós-graduação do Instituto Federal Goiano na cidade de Rio Verde-Goiás. *Stricto Sensu*, Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia, com linha de pesquisa: Tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água. No ano de 2018, defendeu sua tese de Doutorado, parte indispensável para a obtenção do diploma de Doutor em Ciências Agrárias – Agronomia.

ÍNDICE GERAL

	Páginas
ÍNDICE DE TABELAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	xii
RESUMO.....	xiv
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
2.1. Geral.....	4
2.2. Específico.....	4
2.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5
3 CAPÍTULO I: PRODUTIVIDADE DE SOJA E FÓSFORO RESIDUAL EM SOLOS EM FUNÇÃO DE FONTES E FORMAS DE APLICAÇÃO.....	8
3.1 INTRODUÇÃO	10
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
3.3.1 Desempenho da cultura da soja.....	14
3.3.2 Teores de fósforo em solo arenoso e argiloso em diferentes profundidades.....	18
3.4 CONCLUSÃO.....	26
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
CAPÍTULO II: FRAÇÕES DE FÓSFORO EM SOLOS EM FUNÇÃO DE FORMAS DE APLICAÇÃO E FONTES FOSFATADAS.....	30
4.1 INTRODUÇÃO	32
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	33
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.4 CONCLUSÃO.....	61
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
4.6 CONCLUSÃO GERAL.....	64

ÍNDICE DE TABELAS

	Páginas
CAPÍTULO 1	
Tabela 1. Caracterização química e textural dos solos nas áreas experimentais.....	14
CAPÍTULO 2	
Tabela 1. Caracterização química e textural dos solos nas áreas experimentais.....	34
Tabela 2. Preparo da curva de fósforo para análise de fracionamento sequencial..	41
Tabela 3 Coeficiente de correlação entre as componentes principais 1 a 6 (CP 1 a CP 6) e as variáveis avaliadas.....	45
Tabela 4. Clusters 1 a 3 agrupados no experimento realizado sobre o Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo) e o Latossolo Vermelho distrófico nitossólico (LVd) e no seus respectivos tratamentos componentes com aplicação das fontes monoamônio fosfato (MAP), superfosfato simples (SS), superfosfato triplo (ST) e fosfato reativo de bayovar (FR) a lanço e na linha.....	47
Tabela 5. Coeficiente de correlação entre as médias de duas safras (2014/2015 e 2015/2016) da produtividade da soja (Prod.), P Mehlich 1 nas profundidades de 0 a 0,05 (P1) e 0,05 a 0,10 m (P2) e as frações de P em Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo).....	53
Tabela 6. Coeficiente de correlação entre a produtividade da soja (Prod.) , P Mehlich 1 nas profundidades de 0 a 0,05 (P1) e 0,05 a 0,10 (P2) m e as frações de P em Latossolo Vermelho distrófico nitossólico (LVd).....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Páginas

CAPÍTULO 1

Figura 1 Dados de precipitação mensal (mm) nas áreas de realização dos experimentos de setembro de 2014 a março de 2016 (Fonte: INMET, 2018)..... 12

Figura 2 Crescimento e Produtividade da soja cv. MS7110 IPRO II (safra 2014/2015) e Anta IPRO I (safra 2015/2016): número de vagens por planta (A) na safra 2014/2015, peso de mil grãos na safra 2015/2016 (B) e a produtividade nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (C e D, respectivamente), em função das diferentes fontes de fósforo e formas de aplicação em Neossolo Quartzarênico Ortico tipo (RQo) no município de Rio Verde, GO. A linha continua nos gráficos corresponde ao tratamento adicional, que é o controle sem adubação fosfatada. Letras minúsculas diferem os tratamentos das fontes de fósforo dentro de cada forma de aplicação e maiúsculas diferem os tratamentos de forma de aplicação dentro de cada fonte de fósforo pelo teste de Scoot Knoot (5% de probabilidade). **, * e nsDifere o tratamento controle dos demais tratamentos do fatorial a 1 e 5% de probabilidade (Teste de F) e não difere, respectivamente..... 16

Figura 3 Crescimento e Produtividade da soja cv. MS7110 IPRO II (safra 2014/2015) e Anta IPRO I (safra 2015/2016): número de vagens por planta (A) na safra 2014/2015, peso de mil grãos na safra 2015/2016 (B) e a produtividade nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (C e D, respectivamente), em função das diferentes fontes de fósforo e formas de aplicação em Latossolo Vermelho Nitossólico distrófico no município de Rio Verde, GO. A linha continua nos gráficos corresponde ao tratamento adicional, que é o controle sem adubação fosfatada. Letras minúsculas diferem os tratamentos das fontes de fósforo dentro de cada forma de aplicação e maiúsculas diferem os tratamentos de forma de aplicação dentro de cada fonte de fósforo pelo teste de Scoot Knoot (5% de probabilidade). **, * e nsDifere o tratamento controle dos demais tratamentos do fatorial a 1 e 5% de probabilidade (Teste de F) e não difere, respectivamente..... 17

Figura 4 Teores de P no solo (Mehlich I) nas profundidades de 0 a 0,05 (A e B), 0,05 a 0,10 (C e D), após os cultivos em função das diferentes fontes de fósforo e formas de aplicação em Neossolo Quartzarênico Ortico (RQo) tipo no município de Rio Verde, GO. A linha contínua nos gráficos corresponde ao tratamento adicional, que é o controle sem adubação fosfatada. Letras minúsculas diferem os tratamentos das fontes de fósforo dentro de cada forma de aplicação e maiúsculas diferem os tratamentos de forma de aplicação dentro de cada fonte de fósforo pelo teste de Scoot Knoot (5% de probabilidade). **, * e nsDifere o tratamento controle dos demais tratamentos do fatorial a 1 e 5% de probabilidade (Teste de F) e não difere, respectivamente..... 19

Figura 5 Teores de P no solo (Mehlich I) nas profundidades de 0 a 0,05 (A e B), 0,05 a 0,10 (C e D), após os cultivos em função das diferentes fontes de fósforo e formas de aplicação em Latossolo Vermelho Nitossólico distrófico no município de Rio Verde, GO. A linha contínua nos gráficos corresponde ao tratamento adicional, que é o controle sem adubação fosfatada. Letras minúsculas diferem os tratamentos das fontes de fósforo dentro de cada forma de aplicação e maiúsculas diferem os tratamentos de forma de aplicação dentro de cada fonte de fósforo pelo teste de Scoot Knoot (5% de probabilidade). **, * e nsDifere o tratamento controle dos demais tratamentos do fatorial a 1 e 5% de probabilidade (Teste de F) e não difere, respectivamente.....	22
Figura 6 Correlação entre o P residual (Mehlich I) e a produtividade de soja em duas safras consecutivas nas profundidades de 0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m em um Neossolo Quartzarenico Órtico típico (RQo) e um Latossolo Vermelho distrófico nitossólico (LVd).	26
CAPÍTULO 2	
Figura 1 Dados de precipitação mensal (mm) nas áreas de realização dos experimentos de setembro de 2014 a março de 2016 (Fonte: INMET, 2018).....	34
Figura 2 Seleção das componentes principais pelo critério de Kaiser.....	35
Figura 3 Análise de cluster para agrupamento dos tratamentos com aplicação das fontes monoamônio fosfato (MAP), superfosfato simples (SS), superfosfato triplo (ST) e fosfato reativo de bayovar (FR) a lanço e na linha de plantio sobre Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo).....	43
Figura 4 Análise de cluster para agrupamento dos tratamentos com aplicação das fontes monoamônio fosfato (MAP), superfosfato simples (SS), superfosfato triplo (ST) e fosfato reativo de bayovar (FR) a lanço e na linha de plantio sobre Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd).....	44
Figura 5 Frações de P em um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo) após cultivo de soja safras (2014/2015) (A) e (2015/2016) (B) em função dos tratamentos de adubação com monoamônio fosfato (MAP), superfosfato simples (SS), superfosfato triplo (ST) e fosfato reativo de bayovar (FR) a lanço e na linha agrupadas em clusters.....	48
Figura 6 Frações de P em um Latossolos Vermelho distrófico nitossólico (LVd) após cultivo de soja safras (2014/2015) e (2015/2016) em função dos tratamentos de adubação com monoamônio fosfato (MAP), superfosfato simples (SS), superfosfato triplo (ST) e fosfato reativo de bayovar (FR) a lanço e na linha agrupadas em clusters.....	54
Figura 7 Esquema demonstrativo da dinâmica de fósforo entre as diferentes frações de P em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico.....	59
Figura 8. Esquema demonstrativo da dinâmica de fósforo entre as diferentes frações de P em um Latossolo Vermelho distrófico nitossólico (LVd).....	60

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo/sigla	Significado
P	Fósforo
P ₂ O ₅	Pentóxido de difósforo
P (MI)	Fósforo Mehlich I
pH	Potencial hidrogeniônico
FR	Fosfato Reativo Bayóvar
SS	Superfosfato Simples
MAP	Monoamônio Fosfato
ST	Superfosfato Triplo
°C	Graus Celsius
ha	Hectare
Aw	Clima Tropical Úmido
GO	Goiás
mm	Milímetro
V	Saturação por bases
m	Metro
kg	Quilograma
CaCl ²	Cloreto de Cálcio
S	Enxofre
mg	Miligramma
dm ⁻³	Decímetro cúbico
K	Potássio
Ca	Cálcio
cmol ^c	Centimol Carga
Mg	Magnésio
Al	Alumínio
H	Hidrogênio
B	Boro
g	Gramma
Mn	Manganês

 Continuação...

Cu	Cobre
L	Litro
Mo	Molibidênio
m	Metro
m	Saturação por alumínio
®	Marca registrada
Zn	Zinco
N	Nitrogênio
1/3	Terço
KCl	Cloreto de potássio
%	Porcentagem
M.O.	Matéria Orgânica
SB	Soma de bases
T	CTC
B	Bo
Fe	Ferro
Co	Cobalto
RQo	Neossolo Quartzarênico Órtico típico
LVd	Latossolo Vermelho Nitossólico distrófico
P-NH ₄ Cl	Fósforo - Cloreto de amônio
Pi-bic	Fósforo inorgânico - Bicarbonato
Po-bic	Fósforo orgânico - Bicarbonato
Pm-bic	Fósforo microbiano - Bicarbonato
Pi-hid 0,1	Fósforo inorgânico -Hidróxido 0,1MolL ⁻¹
Po-hid 0,1	Fósforo orgânico - Hidróxido 0,1MolL ⁻¹
Pi-hid 0,5	Fósforo inorgânico -Hidróxido 0,5MolL ⁻¹
Po-hid 0,5	Fósforo orgânico - Hidróxido 0,5MolL ⁻¹
P-HCl	Fósforo - Ácido clorídrico
P-Res	Fósforo Residual
LabQA	Laboratório de Química Agrícola

RESUMO

COUTO, RAPHAELL LOPES DO, Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde - GO, maio de 2018. **Fontes e formas de aplicação de fósforo sobre suas frações no solo e a produtividade da soja.** Orientador: DSc. Carlos Ribeiro Rodrigues

RESUMO - Objetivou-se avaliar a eficiência de fertilizantes fosfatados minerais e formas de aplicação sob o crescimento e produtividade da soja, disponibilidade de P e alteração das frações de P no solo. Foram desenvolvidos dois experimentos, em campo, em dois tipos de solo e em duas safras consecutivas, em delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial $4 \times 2 + 1$ sendo, quatro fontes de fósforo (Fosfato Reativo Bayóvar, Monoamônio Fosfato, Superfosfato Simples e o Superfosfato Triplo) e duas formas de aplicação, lanço e linha, mais um tratamento adicional sem adubação fosfatada, com quatro blocos. Com exceção do tratamento adicional (Controle), todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de P_2O_5 , sendo aplicados 100 e 140 Kg de P_2O_5 na primeira e segunda safra respectivamente. Foi avaliado o número de vagens, peso de mil grãos, produtividade e teores residuais de P no solo, após as safras. Também foram realizadas análises de fracionamento sequencial das frações de P no solo, segundo método Hedley et al. (1982) modificado por Chen et al., (2000). Com os resultados obtidos pode -se concluir que a eficiência das fontes e formas de aplicação está relacionada aos teores de P disponível no solo, sendo diferente entre as safras e os tipos de solos. As fontes e formas de aplicação alteraram as frações de P no solo, de forma distinta no LVd e no RQo. No RQo, as frações de P mais lábeis correlacionaram com a produtividade e foram tamponadas pelas frações menos lábeis e pelo aumento do P microbiano e das frações orgânicas. No LVd, a frações inorgânicas de média a baixa labilidade se correlacionaram com as frações lábeis, que tamponam o P disponível para as plantas, e apresentaram baixa influência sobre as frações orgânicas de P.

Palavras-chave: adubação fosfatada, fracionamento químico, teores de fósforo

ABSTRACT

COUTO, RAPHAELL LOPES DO, Goiano Federal Institute - Rio Verde Campus - GO, May, 2018. **Sources and application forms of phosphorus and its fraction on soil and soybean yield.** Advisor: DSc. Carlos Ribeiro Rodrigues

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the efficiency of mineral phosphate fertilizers and their application form on soybean growth and yield, P availability and soil P fractions alteration. Two experiments were carried out in the field, in two soil types and two consecutive harvests, in a randomized complete block design in a 4 x 2 + 1 factorial scheme. Four phosphorus sources (Bayóvar Reactive Phosphate, Monoammonium Phosphate, Single Superphosphate and Triple Superphosphate) and two applications forms (haul and line), plus an additional treatment without phosphate fertilization, with four blocks. With the exception of the additional treatment (Control), all treatments received the same amount of P₂O₅, applying 100 and 140 kg of P₂O₅ in the first and second harvest respectively. The number of pods, weight of a thousand grains weight, yield and residual P contents in the soil were evaluated after the harvests. Sequential fractionation analyzes of soil P fractions were also carried out according to the method of Hedley et al. (1982) modified by Chen et al., (2000). With the results, it can be concluded that the efficiency of the sources and application forms is related to the P content available in the soil, being different between crops and soils types. The sources and applications forms altered the soil P fractions, differently in LVd and RQo. In RQo, the most labile P fractions correlated with productivity and were buffered by the less labile fractions and by the increase of P microbial and organic fractions. In the LVd, the inorganic fractions of medium to low lability correlated with the labile fractions, which buffer the P available for plants, and showed low influence on the organic P fractions.

Key words: phosphate fertilization, chemical fractionation, phosphorus content

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine Max L. Merril*), atualmente, é a planta mais cultivadas no mundo, principalmente em áreas sob o bioma Cerrado, em regiões tropicais, como o Brasil. Ela é cultivada praticamente em quase todo o Brasil, atingindo elevados índices no aspecto produtividade (Segatelli, 2004). Devido às características dos solos brasileiros apresentarem baixos teores de P, associado muitas vezes ao elevado grau de intemperismo desses solos (Yamada & Abdalla, 2004), o que os configura como forte dreno desse nutriente (Novais & Smyth, 1999; Novais et al. 2007), há preocupação com a adubação fosfatada e com bom uso desses fertilizantes, visto que a fertilização fosfatada para produção de grãos, é uma prática essencial aos cultivos em escala comercial e que o P é um recurso natural não renovável e algumas reservas já começam a se esgotar Dechen e Nachtigall (2007), Fixen (2014), Withers et al. (2018).

O fósforo (P) é o nutriente que mais limita a produção vegetal em solos tropicais e subtropicais (Raij, 1991; Novais & Smyth, 1999). Solos altamente intemperizados, pela grande quantidade de sítios de adsorção se tornam um forte dreno para o ânion fosfato, competindo com a planta pelo nutriente (Novais & Smyth, 1999). O P adicionado via fertilizante transforma-se inicialmente em P lábil, mas com o tempo esse nutriente sofre interações com o solo e passa para as formas não lábeis, tornando-se indisponível para as plantas.

Atualmente, os fertilizantes fosfatados estão disponíveis no mercado em diferentes fontes industrializadas, os quais apresentam diferentes concentrações de Fósforo (P). As fontes mais utilizadas atualmente são: Superfosfato Simples (SS), Superfosfato Triplo (ST), Monoamônico Fosfato (MAP) e Fosfatos Naturais Reativos (FR). Esses produtos podem ser classificados quanto às solubilidades em água, citrato neutro de amônio (CNA) e ácido cítrico (AC), analisados conformes a legislação brasileira (Souza e Lobato, 2004). As fontes de maior reatividade apresentam em geral, alta eficiência agrônômica (Santos et al., 2008), sendo os fosfatos de menor reatividade como os fosfatos naturais reativos uma alternativa a essas fontes de maior solubilidade. Apesar da menor disponibilidade imediata de P para as plantas, dos fosfatos naturais tem menor custo, além do que em solos com forte dreno fator dreno sua utilização é mais conveniente, desde que essa menor reatividade não interfira no processo de difusão que garante P para as plantas (Horowitz & Meurer, 2004; Novais & Smyth, 1999). A

eficiência da adubação com fontes de P pode ser influenciada também pelo modo de aplicação, sendo realizada na linha de plantio ou a lanço em área total.

A aplicação dos fertilizantes é comumente realizada em duas formas diferentes, a adubação a lanço e a adubação na linha de semeadura. A adubação a lanço consiste na aplicação parcial ou total dos fertilizantes na quantidade requerida, em uma cultura, na área total que será utilizada para o cultivo da cultura, acelerando o processo de semeadura, essa aplicação promove um sistema radicular mais volumoso, além disso, apresenta um custo operacional e total inferior, e conseqüentemente, aumento na receita líquida do produtor (Matos; Salvi; Milan, 2006). Esse método de adubação, tem-se mostrado eficiente em sistemas de plantio direto, em que os teores de P estão em faixas adequadas no solo, proporcionando a manutenção desse nutriente (Nunes, 2010). Já a adubação em linha consiste na distribuição do fertilizante ao mesmo tempo que a semente, direcionado à linha de semeadura, e aplicado ligeiramente ao lado e abaixo da semente. Esse modo de aplicação é recomendado para casos em que as doses de P_2O_5 , seja inferior a 100kg/ha. Porém aplicação de elevada quantidade de fertilizante implica em maior número de abastecimento da semeadura/adubadora, influenciado diretamente em sua capacidade operacional, aumentando consideravelmente o tempo de plantio, sendo esta uma das maiores desvantagens ao produtor.

Todavia, o solo é um ambiente complexo e heterogêneo, podendo ser o aproveitamento de nutrientes pelas plantas, afetado por diversas reações de ordem químicas, físicas e microbiológicas (Prado et al., 2016). Contudo, o manejo da adubação deve ser favorável à absorção e diminuição da fixação pelo solo, a fim de aumentar o aproveitamento de P pelas plantas (Novais & Smyth, 1999).

Para entender melhor a dinâmica do P e sua disponibilidade para as plantas são utilizadas técnicas de fracionamento químico do P no solo, a fim de conhecer quais as frações de P estão disponíveis para as plantas, não só em solução, mas também, tamponando o nutriente em solução, considerando também, as frações de P ligado a compostos orgânicos e o P microbiano, que conforme Moreira & Siqueira (2006), podem ciclar até 50 kg ha⁻¹ de P_2O_5 . Dentre as metodologias de fracionamento químico de P no solo, a metodologia mais utilizada é a de Hedley et al., (1982). Vários estudos com essa técnica têm auxiliado no entendimento da dinâmica do P em solos tropicais (Ball-Coelho et al., 1993; Beck & Sanchez, 1994; Schmidt et al., 1996; Araújo & Salcedo, 1997; Novais & Smyth, 1999; Rheinheimer et al., 2000; Rheinheimer &

Anghinoni, 2001; Tokura et al., 2002; Andrade, 2005; Santos, 2005 e Souza, 2005; Rodrigues, 2006; Gatiboni et al., 2013).

Diante do exposto, a presente tese tem como hipótese que a aplicação de P na linha e com fontes de alta solubilidade, em especial as que apresentam Ca e S na composição, apresentaram maior eficiência agrônômica com consequente produção maior e efeito residual para safras subsequentes. E que, os estudos com o fracionamento químico possam identificar quais as frações estão sendo influenciadas pelas fontes e formas de aplicação e com o auxílio dessa técnica, identificar qual fonte poderá trazer maior eficiência relacionado não só ao aumento de produção, mas também em redução de perdas de P no solo. Levando em consideração que as fontes de P são finitas e que possuem pouco tempo, por volta de 40 a 60 anos (Fixen, 2014), a busca de fontes de maior eficiência técnica, pode nortear não só o manejo dentro das propriedades como, também, políticas públicas voltadas para manutenção do fornecimento de fontes de P para a agricultura brasileira, que é uma das maiores do mundo (Withers et al., 2018). A manutenção da agricultura brasileira competitiva e com altos níveis de produtividade, não só com o uso de tecnologias, mas também com políticas públicas é considerada de grande importância para a segurança alimentar no Brasil e no Mundo.

2 OBJETIVOS

2.1. Geral

- Avaliar diferentes fertilizantes fosfatados minerais e formas de aplicação sobre a produtividade da soja e frações de P no solo.

2.2. Específicos

- Mensurar o crescimento e a produção da cultura da soja em função dos fertilizantes fosfatados e modo de aplicação, a lanço e na linha de plantio;

- Mesurar os teores de fósforo no solo em função dos fertilizantes fosfatados e modo de aplicação e

- Mesurar as frações de fósforo no solo em função dos fertilizantes fosfatados e modo de aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A.T. Dinâmica do fósforo em solos de várzea cultivados com feijoeiro sob influência da calagem e adubação orgânica. Lavras, UFLA, 2005. 117p. (Tese de Doutorado).

ARAÚJO, M.S.B. & SALCEDO, I.H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na região Nordeste. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.643-650, 1997.

BALL-COELHO, B.; SALCEDO, I.H.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Short and long term phosphorus dynamic in a fertilized under sugarcane. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.57, n.4, p.1027-1034, July/Aug. 1993.

BECK, M.A. & SANCHEZ, P.A. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Tropic Paleudult. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.58, n.5, p.1424-1431, Sept./Oct. 1994.

DECHEN A. R.; NACHTIGALL G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS RF. Viçosa: SBCS/UFV. 2007.

FIXEN, P.E. World fertilizer nutrient reserves. IN: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R.. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e práticas de suporte, v1. Piracicaba: IPNI, 2014. p.93-114.

FIXEN, P.E. World fertilizer nutrient reserves. IN: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R.. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e práticas de suporte, v1. Piracicaba: IPNI, 2014. p.93-114.

GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D. dos S.; KAMINSKI, J. Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: uso e limitações. In: ARAÚJO, A.P.; ALVES, B.J.R.. Tópicos em Ciência do Solo, v.8. Viçosa/MG: SBCS. p.141-188. 2013.

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 Science Society of American Journal*, Madison, v.46, n.5, p.970-976, Sep./Oct 1982.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais. In: YAMADA, T. & ABDALLA, S.R.S. (Eds.). Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba, POTAFOS, 2004. p. 665-682.

MATOS, M. A.; SALVI, J. V.; MILAN, M. Pontualidade na operação de semeadura e a antecipação da adubação e suas influências na receita líquida da cultura da soja. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 493-501, 2006.

MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O.. Microbiologia e bioquímica do solo. 2ed. Lavras: Editora UFLA, 729p. 2006.

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

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

NUNES, R.S. Distribuição do fósforo no solo sob dois sistemas de cultivo e diferentes manejos da adubação fosfatada. 2010. 88p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010.

PRADO, R.M.; SANTOS, L.C.N.; MODA, L.R.; SILVA JÚNIOR, G.B.S. Avaliação do Estado Nutricional de Cultivos: Avanços e Desafios. In: FLORES, R.A.; CUNHA, P.P. da. (Eds.). Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no cerrado. Goiânia, GO: I SNPC; Goiânia, UFG, 2016. p.49-84.

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

RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. Distribuição de P inorgânico em sistemas de manejo de solos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.36, n.1, p.150-160, jan. 2001.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v24, n.2, p.345-354, abr./jun. 2000.

RODRIGUES, C.R. Frações de fósforo e produção da soja e do feijoeiro em sucessão a gramíneas adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados. Lavras/MG: UFLA. 113p. 2006.

SANTOS, D.R. dos; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. Ciência Rural, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SANTOS, J.Z.L. Frações de fósforo em solo da região do cerrado, adubados com fosfato em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. Lavras, UFLA, 2005. 65p. (Dissertação de Mestrado).

SCHMIDT, J.P.; BUOL, S.W.; KAMPRATH, E.J. Soil phosphorus dynamics during seventeen years of continuous cultivations; fractionation analyses. Soil Science Society of American Journal, v.60, p.1168-1172, 1996.

SEGATELLI, C. R. Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura da Euleunicecoracana. 2004. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 283-315.

SOUZA, R.F. de. Dinâmica de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica, cultivados com feijoeiro. Lavras, UFLA, 2005. 141p. (Tese de Doutorado).

TOKURA, A.M.; FURTINI NETO, A.E.; CURTI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C.H.; ALOVISI, A.A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.10, p.1467-1476, out. 2002.

WITHERS, P.J.A.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; CARVALHO, T.S. de; GUILHERME, L.R.G.; BENITES, V. de M.; GATIBONI, L.C.; SOUSA, D.M.G. de; NUNES, R. de S.; ROSOLEM, C.A.; ANDREOTE, F.D.; OLIVEIRA Jr., A.; COUTINHO, E.L.M.; PAVINATO, P.S.. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. Scientific Reports. Volume 8, Article number: 2537(2018).

WITHERS, P.J.A.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; CARVALHO, T.S. de; GUILHERME, L.R.G.; BENITES, V. de M.; GATIBONI, L.C.; SOUSA, D.M.G. de; NUNES, R. de S.; ROSOLEM, C.A.; ANDREOTE, F.D.; OLIVEIRA Jr., A.; COUTINHO, E.L.M.; PAVINATO, P.S.. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. Scientific Reports. Volume 8, Article number: 2537(2018).

YAMADA, T.; ABDALLA e S. R. S. Fósforo na Agricultura Brasileira. Piracicaba: Potafos, 2004.

3. CAPÍTULO I

PRODUTIVIDADE DE SOJA E FÓSFORO RESIDUAL EM SOLOS EM FUNÇÃO DE FONTES E FORMAS DE APLICAÇÃO

RESUMO - Objetivou-se avaliar a eficiência de fertilizantes fosfatados minerais e formas de aplicação sob o crescimento e produtividade da soja e na disponibilidade de P em duas safras consecutivas. Foram desenvolvidos dois experimentos em dois tipos de solo e em duas safras consecutivas, em delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial $4 \times 2 + 1$ sendo, quatro fontes de fósforo (Fosfato Reativo Bayóvar, Monoamônio Fosfato, Superfosfato Simples e o Superfosfato Triplo) e duas formas de aplicação, lanço e linha, mais um tratamento adicional sem adubação fosfatada, com quatro blocos. Com exceção do tratamento Controle, todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de P_2O_5 , sendo aplicados 100 e 140 Kg de P_2O_5 na primeira e segunda safra respectivamente. Foi avaliado o número de vagens, peso de mil grãos, produtividade e teores residuais de P no solo após as safras. Com os resultados obtidos observou-se que a aplicação de P foi eficiente quando aplicado na linha no primeiro ano independente da fonte, e com a aplicação do ST a lanço no segundo ano. No LVd, a aplicação do MAP na linha foi mais eficiente no primeiro ano e no segundo a aplicação do SS e ST na linha.

Palavras-chave: adubação fosfatada, teores de fósforo, fósforo no solo

3. CHAPTER I

SOYBEAN PRODUCTIVITY AND SOLIS RESIDUAL PHOSPHORUS IN FUNCTION OF SOURCES AND APPLICATION FORMS

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the efficiency of mineral phosphate fertilizers and application forms in soybean growth and yield and P availability in two consecutive harvests. Two experiments were carried out on two soil types and two consecutive crops, in a randomized block design in a 4 x 2 + 1 factorial scheme, with four phosphorus source (Bayóvar Reactive Phosphate, Monoammonium Phosphate, Single Superphosphate and Triple Superphosphate) and two applications forms (haul and line), plus an additional treatment without phosphate fertilization, with four blocks. With the exception of control treatment, all treatments received the same amount of P₂O₅, applying 100 and 140 kg of P₂O₅ in the first and second crops respectively. The number of pods, thousand grain weight, yield and soil residual P contents after the harvests were evaluated. With the results it was observed that P application was efficient when applied in line in the first year independent of the source, and with the ST application in the second year. In the LVd, the MAP application in line was more efficient in the first year and in the second the SS and ST application in line.

Key words: phosphate fertilization, phosphorus content, soil phosphorus

3.1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é o nutriente que mais limita a produção vegetal em solos tropicais e subtropicais (Raij, 1991; Novais & Smyth, 1999). Solos altamente intemperizados, pela grande quantidade de sítios de adsorção se tornam um forte dreno para o ânion fosfato, competindo com a planta pelo nutriente (Novais & Smyth, 1999). O P adicionado via fertilizante transforma-se inicialmente em P lábil, mas com o tempo esse nutriente sofre interações com o solo e passa para as formas não lábeis, tornando-se indisponível para as plantas.

A planta de soja (*Glycine Max L. Merril*), atualmente, é a mais cultivadas no mundo, principalmente em áreas sob o bioma Cerrado, em regiões tropicais, como o Brasil. Ela é cultivada praticamente em quase todo o Brasil, atingindo elevados índices no aspecto produtividade (Segatelli, 2004). Devido às características dos solos brasileiros apresentarem baixos teores de P, associado muitas vezes ao elevado grau de intemperismo desses solos (Yamada & Abdalla, 2004), o que os configura como forte dreno desse nutriente (Novais & Smyth, 1999; Novais et al. 2007), há uma preocupação com a adubação fosfatada e com bom uso desses fertilizantes, visto que a fertilização fosfatada para produção de grãos, é uma prática essencial aos cultivos em escala comercial e que o P é um recurso natural não renovável e algumas reservas já começam a se esgotar Dechen e Nachtigall (2007), Fixen (2014), Withers et al. (2018).

Muitos componentes de rendimento podem ser influenciados, pelos teores de P no solo ou responder linearmente a adição desse elemento por fontes fosfatadas. O número de vagens, número de sementes, peso de mil grãos e o rendimento de sementes por planta são influenciados pela absorção e acúmulo de P na parte aérea (Soares, 2013). Além disso, a eficiência agrônômica dos fertilizantes fosfatados pode ser afetada pelas fontes de fósforo, propriedades do solo, modo de aplicação e espécie vegetal (Rodrigues et al., 2009; Ramos et al., 2009; Frandoloso et al., 2010; Ramos et al., 2010; Rodrigues et al., 2010; Barbosa et al., 2017). As fontes de P diferem quanto ao efeito residual, e as respostas as formas de aplicação são influenciadas por fenômenos de redistribuição de fósforo no perfil ao longo do tempo (Costa et al., 2010).

As fontes mais utilizadas atualmente são: Superfosfato Simples (SS), Superfosfato Triplo (ST), Monoamônico Fosfato (MAP) e Fosfatos Naturais Reativos (FR). Esses produtos podem ser classificados quanto às solubilidades em água, citrato neutro de amônio (CNA) e ácido cítrico (AC), analisados conformes a legislação

brasileira (Souza e Lobato, 2004). As fontes de maior reatividade apresentam em geral, alta eficiência agrônômica (Santos et al., 2008), sendo os fosfatos de menor reatividade como os fosfatos naturais reativos uma alternativa a essas fontes de maior solubilidade. Apesar da menor disponibilidade imediata de P para as plantas, dos fosfatos naturais tem menor custo, além do que em solos com forte dreno fator dreno sua utilização é mais conveniente desde que essa menor reatividade não interfira no processo de difusão que garante P para as plantas (Horowitz & Meurer, 2004; Novais & Smyth, 1999). A eficiência da adubação com fontes de P pode ser influenciada também pelo modo de aplicação, sendo realizada na linha de plantio ou a lanço em área total.

A aplicação dos fertilizantes é comumente realizada em duas formas diferentes, a adubação a lanço e a adubação na linha de semeadura. A adubação a lanço consiste na aplicação parcial ou total dos fertilizantes na quantidade requerida, em uma cultura, na área total que será utilizada para o cultivo da cultura, acelerando o processo de semeadura, essa aplicação promove um sistema radicular mais volumoso, além disso, apresenta um custo operacional e total inferior, e conseqüentemente, aumento na receita líquida do produtor (Matos; Salvi; Milan, 2006). Esse método de adubação, tem-se mostrado eficiente em sistemas de plantio direto, em que os teores de P estão em faixas adequadas no solo, proporcionando a manutenção desse nutriente (Nunes, 2010). Já a adubação em linha consiste na distribuição do fertilizante ao mesmo tempo que a semente, direcionado à linha de semeadura, e aplicado ligeiramente ao lado e abaixo da semente. Esse modo de aplicação é recomendado para casos em que as doses de P_2O_5 , seja inferior a 100kg/ha. Porém aplicação de elevada quantidade de fertilizante implica em maior número de abastecimento da semeadura/adubadora, influenciado diretamente em sua capacidade operacional, aumentando consideravelmente o tempo de plantio, sendo esta uma das maiores desvantagens ao produtor.

Diante do exposto o presente trabalho objetivou avaliar a eficiência de fertilizantes minerais fosfatados e formas de aplicação sob o crescimento e produtividade da soja e na disponibilidade de P em duas safras consecutivas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram desenvolvidos dois experimentos, em campo, em dois tipos de solo no município de Rio Verde - GO, sendo um experimento instalado na Fazenda Florestal IV da COMIGO, localizada, em área classificada como Neossolo Quartzarênico Órtico típico

(RQo) (Embrapa, 2013) e outro experimento na Fazenda no Campus do IF Goiano, Rio Verde-GO, em um Latossolo Vermelho Nitossólico distrófico (Embrapa, 2013). O clima da região é classificado como Tropical Úmido (Aw), com inverno seco e verão chuvoso (Koppen, 1931). As condições climáticas durante a condução do experimento estão representadas na Figura 1.

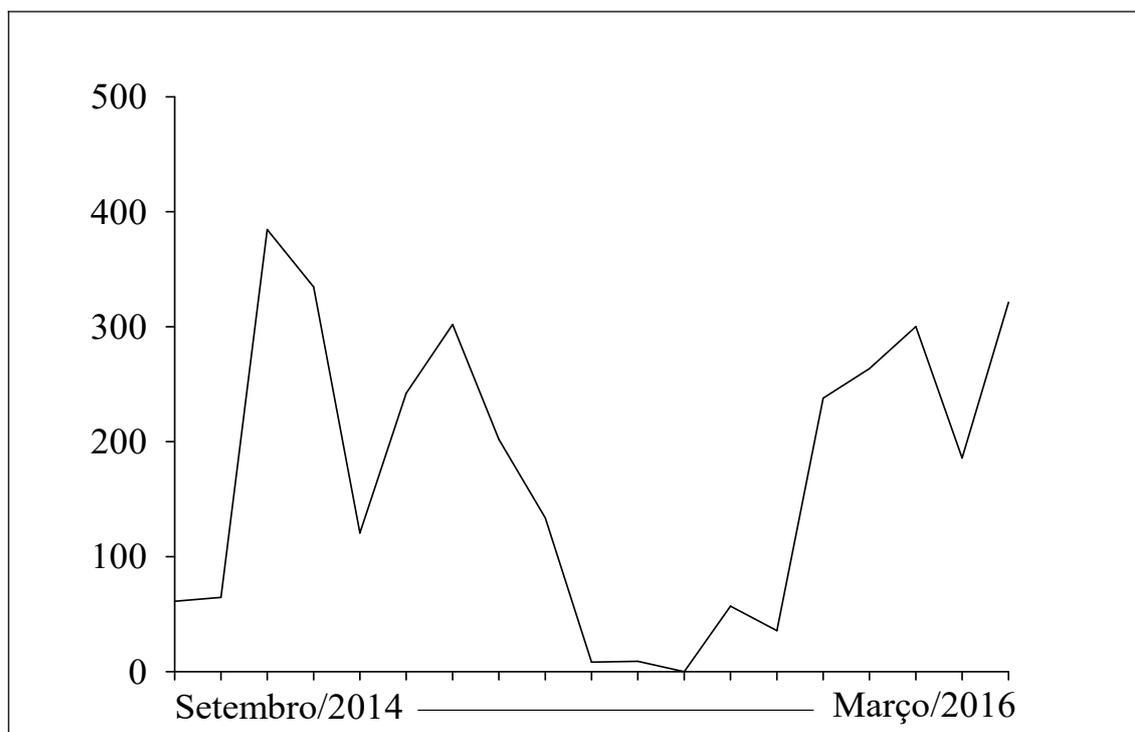


Figura 1 Dados de precipitação mensal (mm) nas áreas de realização dos experimentos de setembro de 2014 a março de 2016 (Fonte: Inmet, 2018).

Antes da semeadura as duas áreas estavam sob cobertura de pastagem sem a criação de gado, e foi feita a dessecação da área, o controle fitossanitário de acordo com a necessidade da cultura. Também foi realizada amostragem e análise textural e química dos solos antes da implantação dos experimentos (Raij et al., 2001 e Embrapa, 2009) (Tabela 1). Baseado nos dados obtidos na Tabela 1 foi realizada a correção da acidez quando necessário. Também foi realizada gradagem nos solos antes da instalação dos experimentos.

Os experimentos foram conduzidos por duas safras consecutivas, sendo a primeira safra em 2014/2015 e a segunda safra em 2015/2016. Para instalação dos experimentos foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso em esquema fatorial 4 x 2 + 1 sendo, quatro fontes de fósforo (Fosfato Reativo Bayóvar – 29% de P₂O₅ total (FR); Monoamônio Fosfato 52% de P₂O₅ (MAP); Superfosfato

Simples – 18% P₂O₅ (SS) e o Superfosfato Triplo 42% P₂O₅ (ST)) e duas formas de aplicação (a lanço em área total e na linha de semeadura, logo após o plantio), mais um tratamento adicional sem adubação fosfatada, com quatro blocos. Com exceção do tratamento adicional (Controle), todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de P₂O₅, sendo aplicados 100 e 140 Kg.ha⁻¹ de P₂O₅ na primeira e segunda safra, respectivamente.

As parcelas experimentais continham 10 linhas com quatro metros de comprimento, com espaçamento de meio metro entre as linhas.

Os experimentos foram realizados no período de safra, em que foi cultivada a cultura da soja nas duas safras. As sementes de soja semeadas foram das variedades Monsoy 7110 RR2^R IPRO, e Anta IPRO I na primeira e segunda safra respectivamente.

Como fonte de potássio, foi aplicado em cobertura 100 kg. ha⁻¹ de KCl 15 dias após a emergência. O manejo de pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado seguindo as recomendações técnicas de manejo.

A colheita foi realizada manualmente, arrancando todas as plantas presente em 1 metro de cada uma das três linhas centrais da parcela (3 metros por parcela). Foram contados o número de plantas por metro e o número de vagens por planta. Posteriormente, essas plantas passaram pelo processo de trilha em trilhadora mecânica e com umidade de 13%, foi avaliado o peso total de grãos para estimar a produtividade e o peso de mil grãos.

Após a colheita da soja, nas duas safras, realizou-se a amostragem do solo nas profundidades 0 a 0,05 m e 0,05 a 0,1 m, perfazendo uma coluna de solo desde a linha de plantio até a entrelinha da soja, num total de seis pontos por parcela. As amostras foram secas ao ar e tamisadas em peneiras de 2 mm e destinadas a análise química de P com o extrator Mehlich I (Embrapa, 2009). No intervalo das safras, o solo foi cultivado com braquiária como planta de cobertura.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott Knott, com nível de significância de 5% de probabilidade com auxílio do software R (R Development Core Team, 2014). Utilizou-se o programa Sisvar 16 (Ferreira, 2011) para realizar os contrastes ortogonais entre os tratamentos e o tratamento adicional.

Tabela 1 Caracterização química e textural dos solos nas áreas experimentais.

Solo	Latossolo Vermelho Nitossólico distrófico	Neossolo Quartzarênico órtico típico
Prof.	0-10	0-10
pH (CaCl ₂)	5,9	5,9
Ca (cmol _c /dm ³)	5,01	2,0
Mg (cmol _c /dm ³)	2,92	0,6
Al (cmol _c /dm ³)	0,02	0,0
H+Al (cmol _c /dm ³)	3,27	1,2
K (cmol _c /dm ³)	0,52	0,1
P (MI) (mg/dm ³)	5,81	11,7
S (mg/dm ³)	10,88	14,3
M.O. (g/dm ³)	51,90	13,2
Areia (%)	36,73	82,7
Argila (%)	55,64	11,2
Silte (%)	7,63	6,1

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Desempenho da cultura da soja

Sobre Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo) na primeira safra (2014/2015), para o número de vagens por planta só houve efeito da fonte de P (Figura 2 A). Na mesma safra, para o peso de 1000 grãos não houve influência para as fontes de P independente da fonte utilizada e da forma de aplicação, obtendo valor médio de 180,56g (Figura 2 C). A produtividade da soja foi maior com a aplicação na linha, independente da fonte de fósforo (P) (Figura 2 E). O aumento do número de vagens com a aplicação do SS não foi suficiente para diferir a produção da soja adubada com essa fonte em relação às demais estudadas.

Na segunda safra (2015/2016), não houve variação do número de vagens por planta em função das fontes de P, com o valor médio de 24 (Figura 2 B). O peso de 1000 grãos variou com os tratamentos (Figura 2 D). Não houve diferença entre as fontes aplicadas a lanço, e na linha o MAP e o SFT obtiveram maiores incrementos (Figura 2 D). Somente a aplicação do FR e do ST a lanço e do SS na linha diferiram do controle com valores inferiores (Figura 2 D). A produtividade da soja na linha não diferiu entre as fontes de P (Figura 2 F). Quando aplicado a lanço, as maiores produtividades foram obtidas com a adubação com o SS e o ST (Figura 2 F). Somente com o ST houve

diferença da forma de aplicação com o maior valor obtido com a adubação a lanço (Figura 2 F).

No Latossolo Vermelho Distrófico nitossólico (LVd), na primeira safra, 2014/2015, os maiores valores de número de vagens foram obtidos com a aplicação do MAP e SS na linha, diferenciando também do controle (Figura 3 A). O peso de 1000 grãos, como tende a ser inverso ao número de vagens em função do fator dreno de fotoassimilados, os maiores valores foram obtidos com a aplicação do FR e do SS, também em linha, todavia, sem diferir do controle (Figura 3 C). A produtividade de grãos na primeira safra não teve interação entre as fontes e formas de aplicação (Figura 3 E). A forma de aplicação, da adubação na linha e a fonte fosfatada MAP, proporcionaram a maior produtividade de grãos (Figura 3 E). Com os resultados, observa-se que a componente da produção que mais influenciou na produtividade de grãos da soja foi o número de vagens.

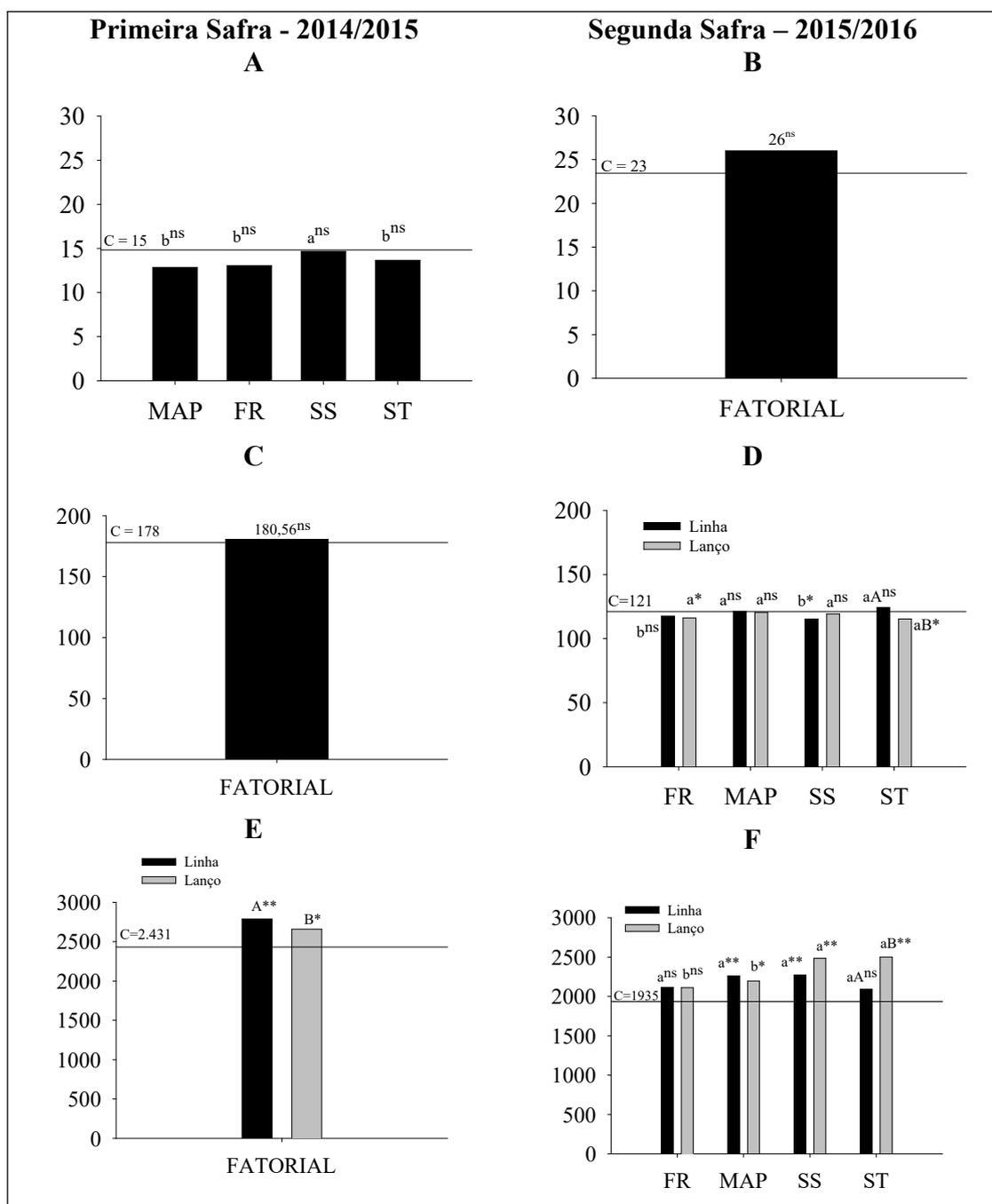


Figura 2 Crescimento e Produtividade da soja cv. MS7110 IPRO II (safra 2014/2015) e Anta IPRO I (safra 2015/2016): número de vagens por planta (A) na safra 2014/2015, peso de mil grãos na safra 2015/2016 (B) e a produtividade nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (C e D, respectivamente), em função das diferentes fontes de fósforo e formas de aplicação em Neossolo Quartzarênico Ortico tipo (RQo) no município de Rio Verde, GO. A linha contínua nos gráficos corresponde ao tratamento adicional, que é o controle sem adubação fosfatada. Letras minúsculas diferem os tratamentos das fontes de fósforo dentro de cada forma de aplicação e maiúsculas diferem os tratamentos de forma de aplicação dentro de cada fonte de fósforo pelo teste de Scoot Knoot (5% de probabilidade). **, * e ^{ns} Difere o tratamento controle dos demais tratamentos do fatorial a 1 e 5% de probabilidade (Teste de F) e não difere, respectivamente.

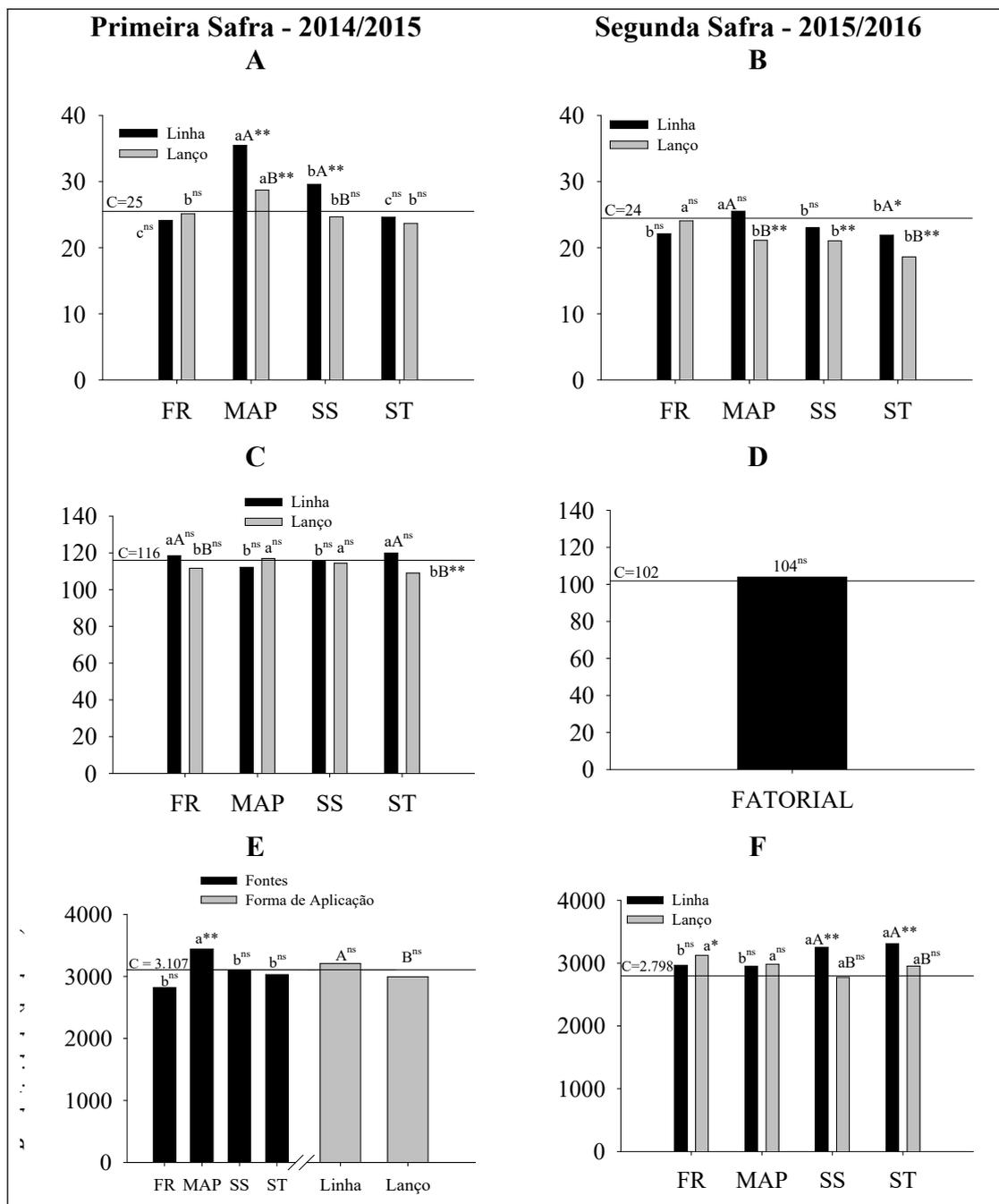


Figura 3 Crescimento e Produtividade da soja cv. MS7110 IPRO II (safra 2014/2015) e Anta IPRO I (safra 2015/2016): número de vagens por planta (A) na safra 2014/2015, peso de mil grãos na safra 2015/2016 (B) e a produtividade nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (C e D, respectivamente), em função das diferentes fontes de fósforo e formas de aplicação em Latossolo Vermelho Nitossólico distrófico no município de Rio Verde, GO. A linha contínua nos gráficos corresponde ao tratamento adicional, que é o controle sem adubação fosfatada. Letras minúsculas diferem os tratamentos das fontes de fósforo dentro de cada forma de aplicação e maiúsculas diferem os tratamentos de forma de aplicação dentro de cada fonte de fósforo pelo teste de Scott Knoop (5% de probabilidade). **, * e ns Difere o tratamento controle dos demais tratamentos do fatorial a 1 e 5% de probabilidade (Teste de F) e não difere, respectivamente.

Na segunda safra e sobre o LVd houve maior número de vagens com a aplicação do MAP na linha, não diferindo do controle (Figura 3 B). O peso de 1000 grãos não variou entre as fontes de P e dessas com o controle, obtendo valores médios de 104 e 102 g, respectivamente (Figura 3 D). Todavia, a produtividade de grãos não refletiu o número de vagens, pois com a aplicação do SS e do ST na linha foram os que obtiveram os maiores valores (figura 3 F).

3.3.2 Teores de fósforo em solo arenoso e argiloso em diferentes profundidades

Analisando os teores de P no RQo após o cultivo da primeira safra (2014/2015) observou-se que na profundidade de 0 a 0,05 m, quando os tratamentos foram aplicados na linha, o FR proporcionou os maiores teores de P (Figura 4 A). Para a aplicação a lanço, maiores teores de P foram observados no tratamento com FR, MAP e SS (Figura 4 A). Todavia, os fertilizantes MAP e SS apresentaram maiores teores residuais de P, após o cultivo, quando aplicados a lanço.

Na profundidade de 0,05 a 0,1 m, o comportamento dos tratamentos e formas de aplicação foi o mesmo que na primeira profundidade, apresentando apenas, em geral, menores teores de P (Figura 4 C).

Observa-se que em geral após a primeira safra no RQo, nas duas profundidades, quando houve diferenças estatísticas entre os modos de aplicação, os maiores teores de P no solo, após o cultivo da soja, foram encontrados quando os fertilizantes foram aplicados a lanço (Figura 4 A e C). Esse resultado mostra que para a primeira safra, a aplicação na linha proporcionou maior absorção de P pelas plantas, restando assim menores teores de P no solo após o cultivo, justificando as maiores produtividades nos tratamentos aplicados na linha (Figuras 2 E). O maior residual de P aplicado a lanço pode ter contribuído para a maior produção com as fontes aplicadas dessa forma na segunda safra (Figuras 2 F).

Na figura 4, observa-se que a aplicação dos fertilizantes lanço promoveu maiores teores de P residual no solo, somente nos tratamentos com MAP e SS em ambas as profundidades avaliadas após a primeira safra (Figuras 4 A e C). Após a segunda safra, o mesmo resultado foi obtido somente com a aplicação do MAP (Figuras 4 B e D).

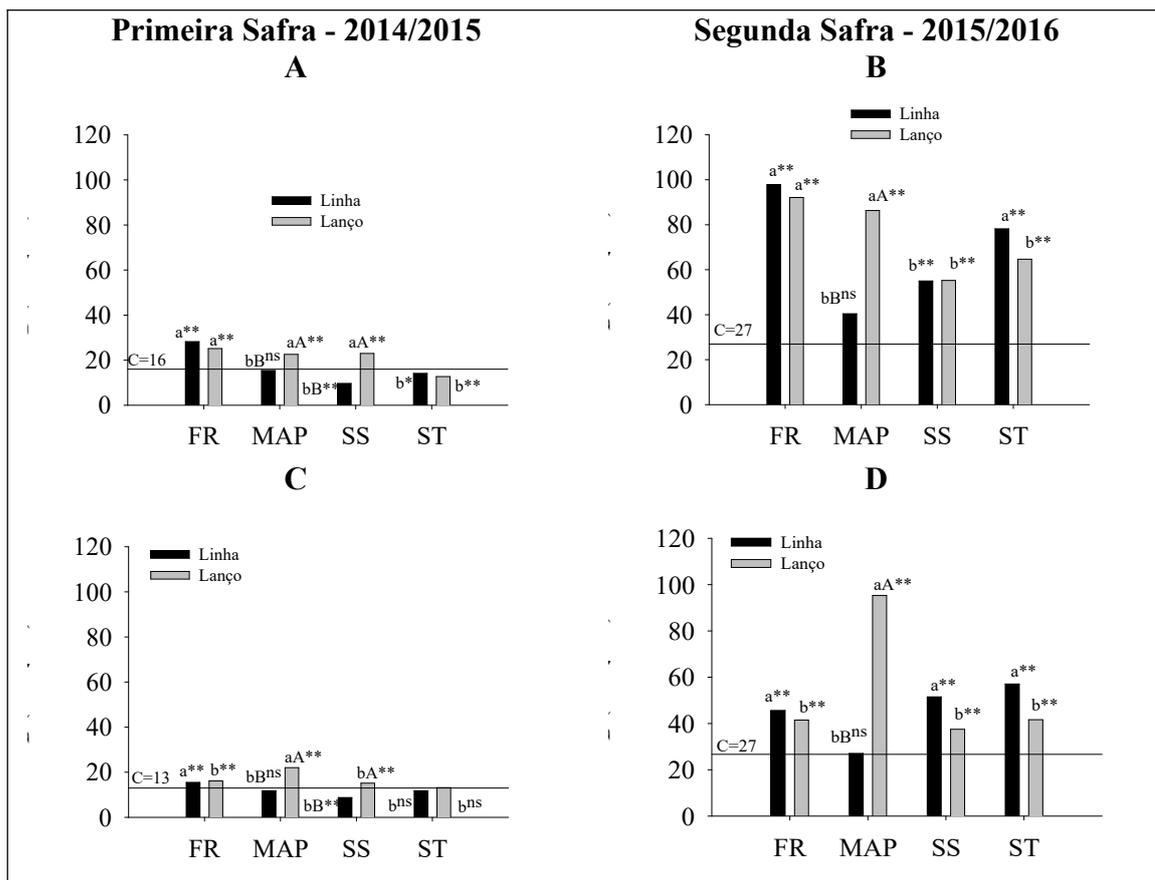


Figura 4 Teores de P no solo (Mehlich I) nas profundidades de 0 a 0,05 m (A e B), 0,05 a 0,10 m (C e D), após os cultivos em função das diferentes fontes de fósforo e formas de aplicação em Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) tipo no município de Rio Verde, GO. A linha contínua nos gráficos corresponde ao tratamento adicional, que é o controle sem adubação fosfatada. Letras minúsculas diferem os tratamentos das fontes de fósforo dentro de cada forma de aplicação e maiúsculas diferem os tratamentos de forma de aplicação dentro de cada fonte de fósforo pelo teste de Scoot Knoot (5% de probabilidade). **, * e ^{ns} Difere o tratamento controle dos demais tratamentos do fatorial a 1 e 5% de probabilidade (Teste de F) e não difere, respectivamente.

Após a segunda safra, na profundidade de 0,0 a 0,05 m, quando os tratamentos foram aplicados a lanço, os tratamentos com FR e MAP proporcionaram os maiores teores de P no solo (Figura 4 B). Tal resultado se correlaciona com o resultado da produtividade dessa safra, em que esses tratamentos proporcionaram menores produtividades (Figura 2 F), deixando maior quantidade de P residual no solo (Figura 4 B).

Nessa mesma safra e profundidade, quando os tratamentos foram aplicados na linha, os maiores teores residuais de P no solo foram encontrados nos tratamentos com FR e ST (Figura 4 B). Apesar dos tratamentos com MAP e SS apresentarem teores

iguais de P no solo, o tratamento com SS apresentou maiores teores que o tratamento controle, e o MAP foi significativamente igual (Figura 4 B).

Na segunda safra, os tratamentos com MAP, SS e ST obtiveram a mesma produtividade (Figura 2 F), porém, os tratamentos com SS e ST apresentaram residual de P iguais ou superiores ao MAP nas duas profundidades (Figura 4 B e D), mostrando maior eficiência desses fertilizantes por deixarem maior residual de P no solo para as safras seguintes. O FR, apesar de proporcionar altos teores residuais de P no solo (Figura 4 B), proporcionou a menor produtividade (Figura 2 F), não sendo, portanto, uma fonte viável em proporcionar altas produtividades nos dois primeiros anos de cultivo. Isso porque o extrator utilizado para determinar o P disponível foi o duplo ácido diluído Mehlich I, que pode superestimar o P quando aplicado fertilizantes não acidulados como os fosfatos reativos.

Portanto, o SS e o ST foram mais eficientes em aumentar o residual de P quando aplicado na linha e o ST a produtividade quando aplicado a lanço, sendo assim os melhores fertilizantes para solos arenosos na segunda safra.

A principal diferença entre as duas safras no RQo é que houve maior produtividade com a adubação fosfatada na linha, na primeira safra e a lanço com a aplicação do SS e do ST na segunda safra.

O teor de P no início do experimento, antes da safra 2014/2015, era de 8,55 mg dm⁻³ de P (Tabela 1) classificado como abaixo do adequado conforme Souza e Lobato (2004). Segundo os mesmos autores, a aplicação de P a lanço só é viável tecnicamente quando os teores desse nutriente no solo estiverem em níveis adequados. Assim, para a primeira safra, os resultados apresentados confirmam que quando os níveis de P no solo estão abaixo do adequado a forma de aplicação mais eficiente é na linha. Na safra 2014/2015, também houve 24 dias de veranico e, com o baixo teor de água no solo há redução da disponibilidade de P para as plantas, principalmente em um RQo, e a água se infiltra e percola em profundidade com mais facilidade e tem maior perdas por evaporação.

Já na safra 2015/2016, não ocorreu períodos de veranicos e com isso, possivelmente, houve maior disponibilidade de P no solo para as plantas, podendo ser justificado possivelmente por maior crescimento de raízes. Com o maior crescimento de raízes, há maior contato dessa com a superfície do solo, favorecendo a aplicação dos fertilizantes a lanço nesse solo.

Sobre o Latossolo Vermelho Distrófico nitossólico (LVd) na primeira safra (2014/2015), para o teor de P na profundidade de 0,0 a 0,05 m não houve efeito de interação entre fontes de P e formas de aplicação, entretanto, a aplicação na linha proporcionou maiores teores de P no solo, após o cultivo da soja, independente do tratamento (Figura 5A).

Os menores teores de P no solo encontrados quando os tratamentos foram aplicados a lanço são justificados pela maior superfície de contato do fertilizante com o solo e proporcionando mais reações de fixação desse nutriente no solo, visto que se trata de um solo com alto teor de argila (Tabela 1) e conseqüentemente alta capacidade de adsorção de P, resultando inclusive em menores produtividades com essa forma de aplicação (Figura 3 E). No LVd estudado, a capacidade máxima de adsorção de fósforo é de 5 mg g^{-1} , e equivale a 10 Mg ha^{-1} de P em solo com densidade igual a 1 e considerando a camada arável de 0 a 0,2 m de profundidade.

Nessa profundidade, o FR apresentou maiores teores de P no solo sendo inclusive o único que diferiu da testemunha (Figura 5A), provavelmente por se tratar de uma fonte de menor solubilidade não tenha sido disponibilizado para absorção pela cultura já na primeira safra, proporcionando assim baixa produtividade (Figura 3 E), e restando com isso maiores teores no solo após o cultivo dessa safra.

Na profundidade de 0,05 a 0,10 m, quando aplicado os fertilizantes na linha, os maiores teores de P no solo foram observados nos tratamentos com MAP e SS (Figura 5C). Na aplicação a lanço, os teores de P no solo foram superiores com o uso de FR e SS (Figura 5C). Nessa profundidade, a fonte de menor solubilidade (FR) aplicado a lanço, apresentou maiores teores de P no solo, resultado inverso ao obtido com a fonte de maior solubilidade (MAP) que apresentou maiores teores quando aplicado na linha (Figura 5C). Em solos argilosos quando aplicados os fertilizantes a lanço, a maior superfície de contato do fertilizante com o solo parece proporcionar benefício para fosfatos reativos, e prejuízo para fosfatos de maior solubilidade, sendo ainda mais expressivo com o tempo de contato fertilizante com o solo. Segundo Novais & Smyth (1999), quanto mais reativo o fertilizante fosfatado, mais prejudicial será o tempo de contato desse fertilizante com o solo sobre sua disponibilidade. Os demais tratamentos, com solubilidade alta, nessa safra, não diferiram quanto a forma de aplicação (Figura 5 C).

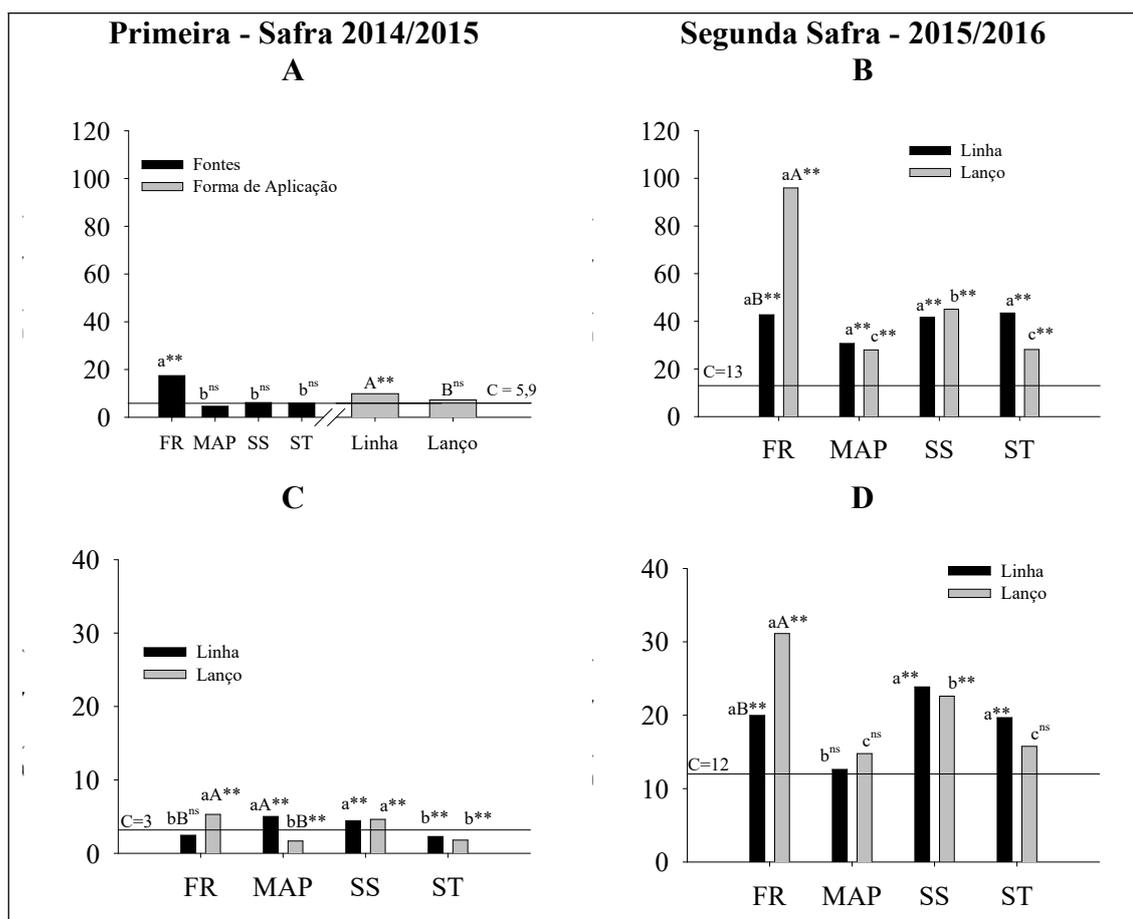


Figura 5 Teores de P no solo (Mehlich I) nas profundidades de 0 a 0,05 m (A e B), 0,05 a 0,10 m (C e D), após os cultivos em função das diferentes fontes de fósforo e formas de aplicação em Latossolo Vermelho Nitossólico distrófico no município de Rio Verde, GO. A linha contínua nos gráficos corresponde ao tratamento adicional, que é o controle sem adubação fosfatada. Letras minúsculas diferem os tratamentos das fontes de fósforo dentro de cada forma de aplicação e maiúsculas diferem os tratamentos de forma de aplicação dentro de cada fonte de fósforo pelo teste de Scoot Knoop (5% de probabilidade). **, * e ^{ns} Difere o tratamento controle dos demais tratamentos do fatorial a 1 e 5% de probabilidade (Teste de F) e não difere, respectivamente.

Na safra (2015/2016), os teores de P no solo na profundidade de 0,0 a 0,05 m, foram superiores nos tratamentos em relação à testemunha, porém não diferiram entre si quando aplicados na linha (Figura 5B). Com a aplicação a lanço, o FR, assim como na primeira safra, apresentou os maiores teores de P no solo, ficando o SS com valor intermediário, e os menores valores foram observados com o uso de MAP e ST (Figura 5 B). Nessa profundidade, o FR foi o único tratamento que diferiu quanto a forma de aplicação, apresentando maiores valores quando aplicado a lanço, provavelmente pela maior solubilização desse fertilizante com essa forma de aplicação, conforme discutido

anteriormente. E essa maior solubilidade pode ser atribuída ao maior contato do fertilizante com as partículas do solo, principalmente em função do fator dreno Ca.

Na profundidade de 0,05 a 0,1 m, o FR e o SS aplicados a lanço continuaram sendo os tratamentos com maiores teores de P no solo (Figura 5 D), possivelmente pelo efeito residual do primeiro cultivo, todavia o FR nessa safra apresentou valores superiores ao SS pelo mesmo motivo aqui já discutido (Figura 5 D). Com a aplicação na linha, o MAP apresentou os menores teores de P no solo após o cultivo da soja, não diferindo inclusive da testemunha (Figura 5 D).

Observa-se que o MAP, apesar de promover as maiores produtividades, na primeira safra, principalmente quando aplicado na linha (Figura 3 E), não parece ter contribuído com efeito residual de P no solo, apresentando em geral menores teores após o cultivo nas duas safras (Figura 5) e conseqüentemente produtividade inferior aos tratamentos com SS e ST aplicados na linha (Figura 3 F).

Observa-se, portanto, que o FR promoveu altos teores de P no solo após o cultivo da soja, apresentando grande potencial em deixar residual de P para as próximas safras, tendo inclusive sua produtividade, quando aplicado a lanço, aumentada na segunda safra, igualando aos demais tratamentos nessa forma de aplicação (Figura 3 F). Esse efeito pode ser potencializado com o passar dos anos e aplicações sucessivas desse fertilizante, nessa forma de aplicação, porém, quando aplicado na linha, esse efeito ainda não pode ser observado na segunda safra (Figura 3 F).

Portanto, apesar de ser excelente em agregar residual de P ao solo, o FR nas duas primeiras safras, independente da forma de aplicação não apresentou produtividade superior aos demais tratamentos (Figura 3 E e F), podendo se tornar um ponto negativo para esse fertilizante.

Quando aplicados na linha, os tratamentos com SS, ST e MAP apresentaram teores de P no solo iguais na profundidade de 0,0 a 0,05, após o cultivo da soja nas duas safras (Figura 5 A e B). Na segunda safra, com essa forma de aplicação, apesar de proporcionar maiores produtividades (Figura 3 F), os tratamentos com SS e ST também proporcionaram maiores teores de P residual que o MAP na profundidade de 0,05 a 0,1 m (Figura 5 D). Este resultado é interessante, pois o residual de P no solo auxilia na produtividade das safras seguintes. Possivelmente, esse efeito residual continuará beneficiando a produtividade da soja com esses tratamentos nas safras seguintes.

Entretanto, para solos argilosos e aplicações de fertilizante na linha, quando se pensa tanto em altas produtividades a partir da segunda safra quanto em efeito residual

de P no solo para os próximos cultivos, os fertilizantes SS e ST parecem ser os mais indicados.

Já para aplicações a lanço nesse tipo de solo, o mesmo resultado foi observado com o FR, que proporcionou maiores teores de P residual no solo (Figura 5) e aumento da produtividade na segunda safra (Figura 3 F) que deve se estender provavelmente para as safras seguintes. Todavia, apesar de ocorrido aumento da produtividade na segunda safra, o FR mesmo aplicado a lanço, ainda não foi superior aos demais tratamentos (Figura 3 F).

Os tratamentos com SS e ST, portanto, parecem ser os melhores para ambos os solos, sendo, porém, indicados a lanço para solos arenosos e na linha para solos argilosos.

Em geral sobre o RQo, na primeira safra a aplicação na linha proporcionou maior produtividade (Figura 2 C). Esse resultado ocorreu independente da complexidade da reação do fertilizante e da influência das propriedades do solo na solubilidade dos fertilizantes. Mesmo porque a influência do RQo na solubilidade de fertilizantes é inferior se comparado com solos mais argilosos, em função do baixo fator dreno de Ca e P. O melhor resultado de fertilizantes aplicados em linha pode ser atribuído ao teor de P inicial estar abaixo do nível adequado. Conforme Souza & Lobato (2004), para solos com < 15% de argila, o teor adequado de P pelo extrator Mehlich I é > 18,1 mg dm⁻³. Antes da instalação do experimento, o valor médio de P disponível, Mehlich I, na profundidade de 0 a 0,20 m foi de 8,55 mg dm⁻³, valor esse abaixo do classificado como adequado conforme Souza e Lobato (2004). Conforme os mesmos autores, quando os teores de P no solo estão abaixo do adequado é recomendada a adubação de correção a lanço e adubação de manutenção na linha. Todavia, essa não é uma prática usual pelos produtores de grãos no sudoeste Goiano devido ao alto custo da adubação de correção, fazendo assim, somente a adubação de manutenção, e a lanço em função de rapidez da operação quando comparado com o custo operacional, tempo e financeiro, para aplicar o fertilizante em linha. A realidade da adubação fosfatada no cerrado Goiano é a aplicação a lanço em pré-semeadura da dose recomendada para instalação da cultura variando de 60 a 100 kg⁻¹ ha de P₂O₅. Os resultados sobre as condições do presente trabalho permite inferir que a aplicação na linha foi mais eficiente que a aplicação a lanço (Figura 2 B) e sob RQo com teor de P, Mehlich I, abaixo do adequado (Tabela 1), confirmando o manejo recomendado para adubação fosfatada em solos sob o cerrado (Souza e Lobato, 2004). Na segunda safra, as

aplicações do ST seguido do SS aplicados a lanço proporcionaram a maior produtividade da soja. Para o segundo ano, os teores de P no solo já estavam em níveis classificados como adequados ($> 18,1 \text{ mg dm}^{-3}$) (Figuras 4 A e C), conforme Souza & Lobato (2004). Em função disso, explica-se a maior eficiência das fontes, ST e SS principalmente, aplicados à lanço. Esse resultado pode ser explicado, também, pela baixa capacidade de adsorção de fósforo no RQo, com base na interpretação indiretamente pelo baixo teor de argila (Souza & Lobato, 2004) (Tabela 1). A aplicação a lanço dessas fontes melhora a distribuição de fósforo horizontalmente, e favorece melhor distribuição do sistema radicular (Marchner, 1995), o que em solos arenosos, aumenta a eficiência de absorção não só do P, mas também como dos demais nutrientes.

Em geral, pode-se afirmar que para o LVd a aplicação na linha, do MAP na primeira safra, e do SS e ST na segunda safra proporcionaram a maior produtividade de grãos (Figuras 4 E e F). Antes da primeira safra, os teores de P disponível no solo foram de $5,81 \text{ mg dm}^{-3}$. Conforme Souza & Lobato (2004), esse teor de P, em solo com 55,65% de argila (Tabela 1), é classificado como médio. Sob essa condição, é recomendada a adubação corretiva a lanço, para posterior adubação de manutenção na linha com 60 a 100 kg.ha^{-1} de P_2O_5 , conforme a expectativa de produção (Souza e Lobato, 2004). Conforme já discutido anteriormente para o RQo, quando os teores de P no solo estão abaixo do nível adequado e não for fazer correção, a recomendação é a aplicação do fertilizante na linha, corroborando com os resultados obtidos no presente trabalho. Após a primeira safra, os teores de P disponível no LVd não atingiram o nível adequado, e com isso, justifica-se a manutenção da resposta à adubação fosfatada na segunda safra ser com a aplicação na linha, só que com o ST e o SS.

É importante ressaltar a redução dos valores de P da camada de 0 a 0,05 para a camada de 0,05 a 0,1 m de profundidade. Na agricultura moderna, com a necessidade da construção do perfil de fertilidade, maior será a variabilidade vertical do solo, principalmente em função do não revolvimento e aplicação superficial de corretivos e principalmente de fertilizantes fosfatados. É necessário criar tabelas para interpretar o quanto os teores nas diferentes camadas contribuem com a definição da produtividade das culturas. Conforme Figura 6, sobre o RQo há redução significativa dos teores de P residual com o aumento da produtividade, e que a maior correlação foi obtida com os teores na profundidade de 0 a 0,05 m. Então, pode-se afirmar que há maior contribuição do P na camada de 0 a 0,05 m.

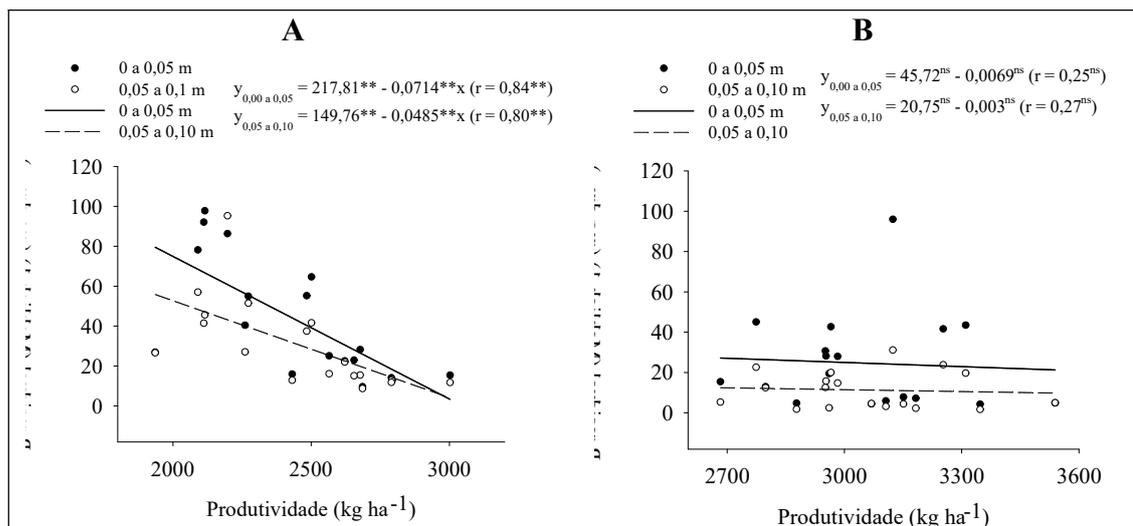


Figura 6 Correlação entre o P residual (Mehlich I) e a produtividade de soja em duas safras consecutivas nas profundidades de 0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m em um Neossolo Quartzarenico Órtico típico (RQo) e um Latossolo Vermelho distrófico nitossólico (LVd).

Sobre o LVd, já não houve correlação entre a depleção de P disponível (Mehlich 1) após o cultivo com a produtividade da soja (Figura 6 B). Com esse resultado, pode-se afirmar que o P Mehlich 1 pode não representar o P totalmente disponível. Nesse resultado pode ser explicado pela complexidade da composição mineralógica do solo e de suas interações de superfície com o ânion fosfato. Permite, também, inferir que outras frações de P, que não só a disponível, podem estar contribuindo com o P que é absorvido pelas plantas. Com isso, há a necessidade de entender o comportamento das frações e sua capacidade de tamponar o P em solução e interagir esse conhecimento com o manejo de sistemas de produção e das diferentes fontes de P. Com isso, buscar maior eficiência dos fertilizantes fosfatados, aumentando a vida útil da matéria-prima produtora de fertilizante fosfatado e contribuindo decisivamente para a segurança alimentar do Brasil e do mundo.

3.4 CONCLUSÃO

Sobre o RQo, a aplicação de P foi eficiente quando aplicado na linha no primeiro, ano independente da fonte, e com a aplicação do ST a lanço no segundo ano. No LVd, a aplicação do MAP na linha foi mais eficiente no primeiro ano e no segundo a aplicação do SS e ST na linha.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, KÁSSIA DE PAULA ; RODRIGUES, CARLOS RIBEIRO; TRINDADE, POLYANNA RIBEIRO ; COUTO, RAPHAELL LOPES DO ; SILVA, ROSANA SOUZA ; VANIN, ÁLISSON ; MENEZES, CARLOS CÉSAR EVANGELISTA DE ; ABREU, TÂMARA PONTES ; NASCIMENTO JÚNIOR, LUCAS FREITAS DO ; CHAGAS, MARCOS GUSTAVO KEMMERICH ; RODRIGUES, Tatiana Michlovská ; CAVALCANTE, THOMAS JEFFERSON . Residue of Phosphorus Sources Broadcast and Applied on Rows in Forages during Off-Season Crops. *Journal of Agricultural Science*, v. 9, p. 45-45, 2017.

COSTA, S.E.V.G.A.; SOUZA, E.D. de; ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C.; VIEIRA, F.C.B.; MARTINS, A.P.; FERREIRA, E.V.O.; Patterns in phosphorus and corn root distribution and yield in long-term tillage systems with fertilizer application. *Soil and Tillage Research*, v. 109, n. 1, p. 41-49, 2010.

DECHEN A. R.; NACHTIGALL G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS RF. Viçosa: SBCS/UFV. 2007.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, Embrapa Solos, 2013. 353p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FIXEN, P.E. World fertilizer nutrient reserves. IN: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R.. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e práticas de suporte, v1. Piracicaba: IPNI, 2014. p.93-114.

FRANDOLOSO, J.F.; LANA, M.C.; FONTANIVA, S.; CZYCZA, R.V. Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. *Revista Ceres*, v. 57, n. 5, p. 686-694, 2010.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais. In: YAMADA, T. & ABDALLA, S.R.S. (Eds.). Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba, POTAFOS, 2004. p. 665-682.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Mapas de precipitação. Disponível em . Acesso em 01 Mai 2018.

KÖPPEN, W. Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press, 1995.889 p.

MATOS, M. A.; SALVI, J. V.; MILAN, M. Pontualidade na operação de semeadura e a antecipação da adubação e suas influências na receita líquida da cultura da soja. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 493-501, 2006.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa:UFV, 1999.399p.

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

NUNES, R.S. Distribuição do fósforo no solo sob dois sistemas de cultivo e diferentes manejos da adubação fosfatada. 2010. 88p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010.

R CORE TEAM.R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, [2014].

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

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 284p.

RAMOS, S. J.; FAQUIN,; Valdemar; RODRIGUES, C. R.; SILVA, C. A.. Efeito residual das aplicações de fontes de fósforo em gramíneas forrageiras sobre o cultivo sucessivo da soja em vasos. Bragantia (São Paulo, SP. Impresso), v. 69, p. 149-155, 2010.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, Valdemar ; RODRIGUES, C. R.; SILVA, C. A. ; BOLDRIN, P. F.. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso), v. 33, p. 335-343, 2009.

RODRIGUES, C. R.; FAQUIN, Valdemar; ÁVILA, Fabrício William de; RODRIGUES, Tatiana Michlovská; BALIZE, D. P. ; OLIVEIRA, E. A. B. Crescimento e acúmulo de fósforo pela soja cultivada em sucessão a diferentes gramíneas forrageiras adubadas com super fosfato triplo e fosfato reativo de arad. Ciência e Agrotecnologia (UFLA), v. 33, p. 1486-1494, 2009.

RODRIGUES, C. R.; RAMOS, S. J.; FAQUIN, Valdemar; SILVA, C. A.; ÁVILA, Fabrício William de. Utilização de fósforo e produção do feijoeiro: influência de gramíneas forrageiras e fontes de fósforo. Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso), v. 34, p. 89-96, 2010.

SANTOS, D.R. dos; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. Ciência Rural, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SEGATELLI, C. R. Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura da Euleunicecoracana. 2004. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOARES, M.M. Nodulação, nutrição, componentes de rendimento e qualidade de sementes de soja em função do recobrimento de sementes e parcelamento da adubação fosfatada. 2013. 98p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG, 2013.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 283-315.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 283-315.

WITHERS, P.J.A.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; CARVALHO, T.S. de; GUILHERME, L.R.G.; BENITES, V. de M.; GATIBONI, L.C.; SOUSA, D.M.G. de; NUNES, R. de S.; ROSOLEM, C.A.; ANDREOTE, F.D.; OLIVEIRA Jr., A.; COUTINHO, E.L.M.; PAVINATO, P.S.. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. Scientific Reports. Volume 8, Article number: 2537(2018).

YAMADA, T.; ABDALLA e S. R. S. Fósforo na Agricultura Brasileira. Piracicaba: Potafos, 2004.

4 CAPÍTULO II

FRAÇÕES DE FÓSFORO EM SOLOS EM FUNÇÃO DE FORMAS DE APLICAÇÃO E FONTES FOSFATADAS

RESUMO: Objetivou-se avaliar a alteração das frações de fósforo do solo após o cultivo da soja adubada, com diferentes fertilizantes fosfatados minerais aplicados a lanço e na linha em solos de diferentes texturas. Foram desenvolvidos dois experimentos em dois tipos de solo e em duas safras consecutivas, em delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial $4 \times 2 + 1$ sendo, quatro fontes de fósforo (Fosfato Reativo Bayóvar, Monoamônio Fosfato, Superfosfato Simples e o Superfosfato Triplo) e duas formas de aplicação, lanço e linha, mais um tratamento adicional sem adubação fosfatada, com quatro blocos. Com exceção do tratamento Controle, todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de P_2O_5 , sendo aplicados 100 e 140 Kg de P_2O_5 na primeira e segunda safra respectivamente. Após a colheita da soja, nas duas safras, realizou-se a amostragem do solo na profundidade de 0 a 0,1 m, e a análise de fracionamento sequencial das frações de P segundo método Hedley et al. (1982) modificado por Chen et al., (2000). Foi realizada a análise de componentes principais. Através do critério de Kaiser foram selecionados seis componentes principais e estimadas as correlações entre as variáveis avaliadas e as componentes principais para ambos os solos. Com os resultados obtidos pode concluir as fontes e aplicações alteraram as frações de P no solo, de forma distinta no LVd e no RQo. No RQo, as frações de P mais lábeis correlacionaram com a produtividade e foram tamponadas pelas frações menos lábeis e pelo aumento do P microbiano e das frações orgânicas. No LVd, as frações inorgânicas de média a baixa labilidade se correlacionaram com as frações lábeis, que tamponam o P disponível para as plantas, e apresentaram baixa influência sobre as frações orgânicas de P.

Palavras-chave: fracionamento químico, fósforo no solo, fertilizantes fosfatados

CHAPTER II

SOILS PHOSPHORUS FRACTIONS IN FUNCTION OF APPLICATION METHODS AND PHOSPHATE SOURCES

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the alteration of soil phosphorus fractions after fertilized soybean cultivation, with different mineral phosphate fertilizers applied in haul and in line in soils of different textures. Two experiments were carried out on two soil types and two consecutive crops, in a randomized block design in a $4 \times 2 + 1$ factorial scheme, with four phosphorus sources (Bayóvar Reactive Phosphate, Monoammonium Phosphate, Single Superphosphate and Triple Superphosphate) and two applications forms (haul and line) plus an additional treatment without phosphate fertilization, with four blocks. With the exception of the Control treatment, all treatments received the same amount of P_2O_5 , applying 100 and 140 kg of P_2O_5 in the first and second crops respectively. After the soybean harvesting, in the two harvests, soil sampling was performed at 0 to 0.1 m depth, and then the sequential fractionation analysis of the P fractions according to the method of Hedley et al. (1982) modified by Chen et al., (2000). Principal component analysis was performed. Through the Kaiser criteria, six main components were selected and the correlations between the evaluated variables and the main components for both soils were estimated. With the results it was concluded that the P sources and applications changed the P fractions in soil, differently in the LVd and RQo. In RQo, the most labile P fractions correlated with productivity and were buffered by the less labile fractions and by the increase of microbial P and organic fractions. In the LVd, the inorganic fractions of medium to low lability correlated with the labile fractions, which buffer the P available for plants, and showed low influence on the P organic fractions.

Key words: chemical fractionation, soil phosphorus, phosphate fertilizers

4.1 INTRODUÇÃO

A dinâmica do fósforo no solo está associada além das fontes e formas de aplicação, aos fatores ambientais e as propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo. Assim, em solos altamente intemperizados, como os Latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente (Santos et al., 2008).

O P inorgânico do solo se encontra, em sua maior parte, na forma não lábil, representado por compostos insolúveis estáveis que podem se transformar em formas lábeis muito lentamente. Fatores como a acidez, o teor de argila, e principalmente, a presença de óxidos de Fe e Al na fração argila, quanto maiores mais intensificam o processo de fixação de P nos solos dos trópicos (Malavolta, 1981; Lopes, 1983; Raij, 1991; Novais & Smyth, 1999). O P, além disso, pode passar a fazer parte de compostos orgânicos podendo representar de 20 a 25% do P total em solos minerais (Moreira & Siqueira, 2002) e acrescentar fosfatos inorgânicos ao sistema com sua mineralização (Muniz, 1995).

Em solos com baixa ou nenhuma adição de fertilizantes fosfatados, formas orgânicas de P são as principais responsáveis pelo fornecimento deste nutriente às plantas (Gatiboni, 2007). Solos pouco intemperizados ou com ocorrência de fertilização grande parte do P disponível para a planta é tamponado por frações inorgânicas lábeis, enquanto em solos altamente intemperizados ou solos não fertilizados, a disponibilidade de P depende muito de formas inorgânicas e orgânicas de labilidade intermediária (Tiessen et al., 1984 e Beck & Sanches, 1994).

A determinação da relação entre as frações orgânicas e inorgânicas de P, restantes após o cultivo da soja, pode fornecer subsídios para o entendimento das respostas da cultura à adubação fosfatada e da dinâmica do P no solo (Santos et al 2008).

Para entender melhor a dinâmica do P e sua disponibilidade para as plantas são utilizadas técnicas de fracionamento químico do P no solo, para entender quais frações estão disponíveis para as plantas, não só em solução, mas também, tamponando o nutriente em solução. E considerando, principalmente, as frações de P ligado aos compostos orgânicos e o P microbiano, que conforme Moreira & Siqueira (2006), podem ciclar até 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Dentre as metodologias de fracionamento químico de P no solo, a metodologia mais utilizada é a de Hedley et al., (1982). Vários estudos

com essa técnica têm auxiliado no entendimento da dinâmica do P em solos tropicais (Ball-Coelho et al., 1993; Beck & Sanchez, 1994; Schmidt et al., 1996; Araújo & Salcedo, 1997; Novais & Smyth, 1999; Rheinheimer et al., 2000; Rheinheimer & Anghinoni, 2001; Tokura et al., 2002; Andrade, 2005; Santos, 2005 e Souza, 2005; Rodrigues, 2006; Gatiboni et al., 2013).

A metodologia do fracionamento sequencial do P no solo proposta por Hedley et al (1982) vem sendo utilizado para avaliar diferentes manejos da adubação fosfatada, sobre as frações de P do solo, bem como a disponibilidade de P para as culturas, em condições de solos tropicais e subtropicais (Andrade, 2005; Santos, 2005; Souza 2005). Com a metodologia de Hedley et al. (1982) modificado por Chen et al., (2000), são determinados: O P-lábil, que compreende o P em solução extraído por NH_4Cl (P- NH_4Cl), o P-disponível extraído pelo NaHCO_3 (Pi-bic, Po-bic e Pm-bic), o P adsorvido à superfície dos coloides, formas pouco lábeis que compreende o P ligados a Fe e Al extraído com NaOH 0,1 e 0,5 Mol L^{-1} (Pi-hid 0,1, Po-hid 0,1, Pi-hid 0,5 e Po-hid 0,5), o P ligado a compostos húmicos e, formas não lábeis caracterizadas pelo P ligado ao Ca, considerado insolúvel, extraído com HCl (P-HCl), além das formas mais estáveis de Po e Pi compreendidas pelo P-residual extraído por digestão (P-Res).

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a alteração das frações de fósforo do solo após o cultivo da soja adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e na linha em solos de diferentes texturas.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram desenvolvidos dois experimentos, em campo, em dois tipos de solo no município de Rio Verde - GO, sendo um experimento instalado na Fazenda Florestal IV da COMIGO, localizada, em área classificada como Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo) (Embrapa, 2013) e outro experimento na Fazenda no Campus do IF Goiano, Rio Verde-GO, em um Latossolo Vermelho Nitossólico distrófico (Embrapa, 2013). O clima da região é classificada como Tropical Úmido (Aw), com inverno seco e verão chuvoso (Koppen, 1931). As condições climáticas durante a condução do experimento estão representadas na Figura 1.

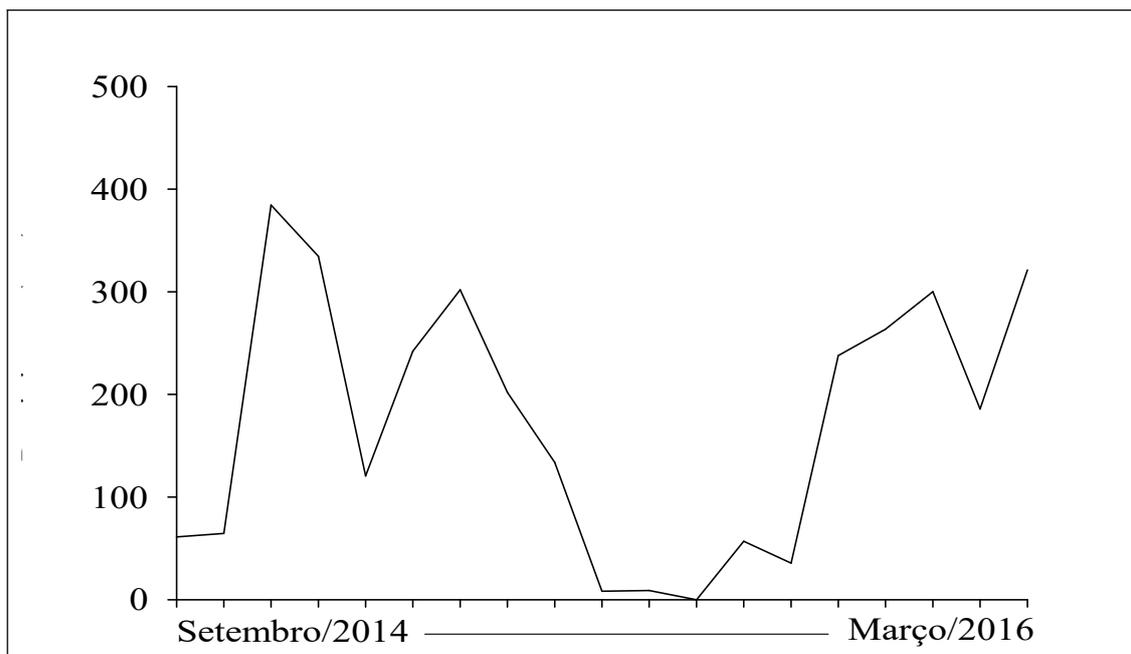


Figura 1 Dados de precipitação mensal (mm) nas áreas de realização dos experimentos de setembro de 2014 a março de 2016 (Fonte: Inmet, 2018).

Antes da semeadura as duas áreas estavam sob cobertura de pastagem sem a criação de gado, e foi feita a dessecação da área e o controle fitossanitário de acordo com a necessidade da cultura. Também foi realizada amostragem e análise textural e química dos solos antes da implantação dos experimentos (Tabela 1). Baseado nos dados obtidos na Tabela 1 foi realizada a correção da acidez quando necessário. Também foi realizada gradagem nos solos antes da instalação dos experimentos.

Tabela 1 Caracterização química e textural dos solos nas áreas experimentais.

Solo	Latossolo Vermelho Nitossólico distrófico	Neossolo Quartzarênico ortico típico
Prof.	0-10	0-10
pH (CaCl ₂)	5,9	5,9
Ca (cmol _c /dm ³)	5,01	2,0
Mg (cmol _c /dm ³)	2,92	0,6
Al (cmol _c /dm ³)	0,02	0,0
H+Al (cmol _c /dm ³)	3,27	1,2
K (cmol _c /dm ³)	0,52	0,1
P (MI) (mg/dm ³)	5,81	11,7
S (mg/dm ³)	10,88	14,3
M.O. (g/dm ³)	51,90	13,2
Areia (%)	36,73	82,7
Argila (%)	55,64	11,2
Silte (%)	7,63	6,1

Os experimentos foram conduzidos por duas safras consecutivas, sendo a primeira safra em 2014/2015 e a segunda safra em 2015/2016. No intervalo das safras o solo foi cultivado com braquiária como planta de cobertura. Para instalação dos experimentos foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso em esquema fatorial $4 \times 2 + 1$ sendo, quatro fontes de fósforo (Fosfato Reativo Bayóvar – 29% de P_2O_5 total (FR); Monoamônio Fosfato 52% de P_2O_5 (MAP); Superfosfato Simples – 18% P_2O_5 (SS) e o Superfosfato Triplo 42% P_2O_5 (ST)) e duas formas de aplicação (a lanço em área total e na linha de semeadura, logo após o plantio), mais um tratamento adicional sem adubação fosfatada, com quatro blocos. Com exceção do tratamento adicional (Controle), todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de P_2O_5 , sendo aplicados 100 e 140 $Kg.ha^{-1}$ de P_2O_5 na primeira e segunda safra, respectivamente.

As parcelas experimentais continham 10 linhas com quatro metros de comprimento, com espaçamento de meio metro entre as linhas.

Os experimentos foram realizados no período de safra, em que foi cultivada a cultura da soja nas duas safras. As sementes de soja semeadas foram das variedades Monsoy 7110 RR2^R IPRO, e Anta IPRO I na primeira e segunda safra respectivamente.

Como fonte de potássio, foi aplicado em cobertura 100 $kg. ha^{-1}$ de KCl 15 dias após a emergência. O manejo de pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado seguindo as recomendações técnicas de manejo.

A colheita foi realizada manualmente, arrancando todas as plantas presente em 1 metro de cada uma das três linhas centrais da parcela (3 metros por parcela). Posteriormente essas plantas passaram pelo processo de trilha em trilhadora mecânica e com umidade de 13%, foi avaliado o peso total de grãos para estimar a produtividade.

Após a colheita da soja, nas duas safras, realizou-se a amostragem do solo na profundidade de 0 a 0,1 m, perfazendo uma coluna de solo desde a linha de plantio até a entre linha da soja, num total de seis pontos por parcela. As amostras foram secas ao ar e tamisadas em peneiras de 2 mm e destinadas a análise de fracionamento sequencial das frações de P segundo método Hedley et al. (1982) modificado por Chen et al., (2000), e com adaptações feitas conforme metodologia relatada a seguir.

P-solução – P-NH₄Cl₂.

Nessa etapa são realizadas duas alíquotas de cada amostra.

Extração:

- Pesar duas alíquotas de 0,5 g de solo (adaptado para 2,5 gramas de solo) e acondicionar em tubos falcon de 50 mL;
- Adicionar 30 mL de NH_4Cl (1 mol L^{-1}) em cada tubo já contendo o solo e acondicionar os tubos na horizontal em uma caixa;
- Agitar por 16 horas;
- Centrifugar a 3000 rpm por 20 minutos (adaptado para 5000 rpm por 5 minutos);
- Coletar o sobrenadante para a determinação e guardar o solo para a extração da próxima fração;
- Realizar a determinação pelo método de Murphy & Riley (1962).

P disponível (P- NaHCO_3)

O P extraído pelo NaHCO_3 é P disponível. A fração inorgânica é o P retido nos coloides do solo e em equilíbrio com o P em solução. A fração orgânica é o P ligado aos compostos orgânicos de baixa recalcitrância, como os de baixo peso molecular. E a fração de P microbiano que é determinado em um dos francos de duplicata com a adição do NaHCO_3 e de CHCl_3 .

Extração:

- Em uma das duplicatas adicionar 30 mL de NaHCO_3 ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$);
 - Na outra alíquota, adicionar os mesmos 30 mL de NaHCO_3 ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$) mais 1 mL CHCl_3 (Extrato B);
 - As duas alíquotas devem ser agitadas por 16 horas;
 - Centrifugar a 3000 rpm por 20 minutos (adaptado para 5000 rpm por 5 minutos) e separar o sobrenadante do solo;
 - Adicionar, aos tubos de centrífuga com as amostras de solo, mais 30 mL de NaCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Centrifugar novamente em 3000 rpm por 10 minutos (Extrato B). Juntar os dois extratos (A e B), totalizando o volume final de 60 mL. (Adaptado para não execução desta etapa);
 - Coletar o sobrenadante para a determinação e guardar o solo para a extração da próxima fração.
 - No final terá extratos: Extrato A) NaHCO_3 e Extrato B) $\text{NaHCO}_3 + \text{CHCl}_3$
- Extração da Fração Total (P-microbiano + P-inorgânico + P-orgânico) - Extrato B;
- Retirar 5 mL do extrato B ($\text{NaHCO}_3 + \text{CHCl}_3$);
 - Adicionar 0,5 g de persulfato de amônio;
 - Adicionar 1,5 mL H_2SO_4 $1,8 \text{ molc L}^{-1}$ (lentamente para não transbordar);

- Tampar os vidros com papel alumínio e identificar com etiqueta escrita a lápis na tampa de alumínio, pois a caneta de retroprojeter no vidro ou tampa de alumínio sai na autoclavagem;

- Autoclavar por 1 hora a temperatura de 120°C (acompanhar de perto a subida da temperatura);

- Após autoclavar e esfriar o extrato adicionar 20 mL com água destilada;

- Proceder a determinação do P pelo método de Murphy & Riley (1962);

- O P microbiano é obtido pela diferença entre o P Total com clorofórmio (Extrato B) e o P Total sem clorofórmio. (Extrato A).

Extração P Total (P-inorgânico + P-orgânico):

- Retirar 5 mL do extrato A (NaHCO₃);

- Adicionar 0,5 g de persulfato de amônio;

- Adicionar 1,5 mL H₂SO₄ 1,8 molc L⁻¹ (lentamente para não transbordar);

- Tampar os vidros com papel alumínio e identificar com etiqueta escrita a lápis na tampa de alumínio, pois a caneta de retroprojeter no vidro ou tampa de alumínio sai na autoclavagem;

- Autoclavar por 1 hora a temperatura de 120°C (acompanhar de perto a subida da temperatura);

- Após autoclavar e esfriar o extrato adicionar 20 mL com água destilada;

- Proceder a determinação do P pelo método de Murphy & Riley (1962).

Extração do P-inorgânico:

- Retirar 10 mL do extrato A (NaHCO₃);

- Adicionar 3,5 mL de H₂SO₄ 1,8 molc L⁻¹;

- Colocar em geladeira por 2 horas;

- Centrifugar por 5 minutos a 5000 rpm;

- Colocar em vidros identificados e eliminar o precipitado;

- Adicionar 6,5 mL de H₂SO₄ 1,8 molc L⁻¹;

- Proceder a determinação do P pelo método de Murphy & Riley (1962).

OBS: Após a leitura do P, descartar as alíquotas que não foram adicionadas o clorofórmio e proceder as demais frações de P somente com as alíquotas com a adição do NaHCO₃ + CHCl₃.

O P orgânico é obtido pela diferença entre o P-total e o P-inorgânico.

P adsorvido

É o P extraído com NaOH 0,1 mol L⁻¹.

Extração:

- Adicionar 30 mL de NaOH (0,1 mol L⁻¹);
- Agitar por 16 horas;
- Centrifugar a 3000 rpm por 20 minutos (adaptado para 5000 rpm por 5 minutos)

e separar o sobrenadante do solo;

-Adicionar, aos tubos de centrífuga com as amostras de solo, mais 30 mL de NaCl 0,5 mol L⁻¹. Centrifugar novamente em 3000 rpm por 10 minutos (Extrato B). Juntar os dois extratos (A e B), totalizando um volume final de 60 mL. (Adaptado para não execução desta etapa).

-Adaptação: Quando a centrifugação não for eficiente em separar o solo do sobrenadante, adicionar uma gota de H₂SO₄ concentrado em todas as amostras na hora da centrifugação;

- Coletar o sobrenadante para a determinação e guardar o solo para a extração da próxima fração.

Extração P Total (P-inorgânico + P-orgânico):

- Retirar 5 mL do extrato;
- Adicionar 0,5 g de persulfato de amônio;
- Adicionar 1,5 mL H₂SO₄ 1,8 molc L⁻¹ (lentamente para não transbordar);
- Tampar os vidros com papel alumínio e identificar com etiqueta escrita a lápis na tampa de alumínio, pois a caneta de retroprojeter no vidro ou tampa de alumínio sai na autoclavagem;

- Autoclavar por 1 hora a temperatura de 120°C (acompanhar de perto a subida da temperatura);

- Após autoclavar e esfriar o extrato adicionar 20 mL com água destilada;
- Proceder a determinação do P pelo método de Murphy & Riley (1962).

Extração do P-inorgânico:

- Retirar 10 mL do extrato;
- Adicionar 3,5 mL de H₂SO₄ 1,8 molc L⁻¹;
- Colocar em geladeira por 2 horas;
- Centrifugar por 5 minutos a 5000 rpm;
- Colocar em vidros identificados e eliminar o precipitado;
- Adicionar 6,5 mL de H₂SO₄ 1,8 molc L⁻¹;

- Proceder a determinação do P pelo método de Murphy & Riley (1962).

O P orgânico é obtido pela diferença entre o P-total e o P-inorgânico.

P ligado a Fe e Al

É o P extraído com NaOH 0,5 mol L⁻¹.

Extração:

- Adicionar 30 mL de NaOH (0,5 mol L⁻¹);
- Agitar por 16 horas;
- Centrifugar a 3000 rpm por 20 minutos (adaptado para 5000 rpm por 5 minutos)

e separar o sobrenadante do solo;

-Adicionar, aos tubos de centrífuga com as amostras de solo, mais 30 mL de NaCl 0,5 mol L⁻¹. Centrifugar novamente em 3000 rpm por 10 minutos (Extrato B). Juntar os dois extratos (A e B), totalizando um volume final de 60 mL. (Adaptado para não execução desta etapa).

-Adaptação: Quando a centrifugação não for eficiente em separar o solo do sobrenadante, adicionar uma gota de H₂SO₄ concentrado em todas as amostras na hora da centrifugação.

- Coletar o sobrenadante para a determinação e guardar o solo para a extração da próxima fração.

Extração P Total (P-inorgânico + P-orgânico):

- Retirar 5 mL do extrato;
- Adicionar 0,5 g de persulfato de amônio;
- Adicionar 1,5 mL H₂SO₄ 1,8 molc L⁻¹ (lentamente para não transbordar);
- Tampar os vidros com papel alumínio e identificar com etiqueta escrita a lápis na tampa de alumínio, pois a caneta de retroprojeter no vidro ou tampa de alumínio sai na autoclavagem;

- Autoclavar por 1 hora a temperatura de 120°C (acompanhar de perto a subida da temperatura);

- Após autoclavar e esfriar o extrato adicionar 20 mL com água destilada;
- Proceder a determinação do P pelo método de Murphy & Riley (1962).

Extração do P-inorgânico:

- Retirar 10 mL do extrato A (NaHCO₃);
- Adicionar 3,5 mL de H₂SO₄ 1,8 molc L⁻¹;
- Colocar em geladeira por 2 horas;
- Centrifugar por 5 minutos a 5000 rpm;

- Colocar em vidros identificados e eliminar o precipitado;
- Adicionar 6,5 mL de H_2SO_4 1,8 mol L^{-1} ;
- Proceder a determinação do P pelo método de Murphy & Riley (1962).
- O P orgânico é obtido pela diferença entre o P-total e o P-inorgânico.

P ligado a Ca

É o P extraído com HCl 1 mol L^{-1} .

Extração:

- Adicionar 30 mL de HCl (1 mol L^{-1});
- Agitar por 16 horas;
- Centrifugar a 3000 rpm por 20 minutos (adaptado para 5000 rpm por 5 minutos)

e separar o sobrenadante do solo;

- Adicionar, aos tubos de centrífuga com as amostras de solo, mais 30 mL de NaCl 0,5 mol L^{-1} . Centrifugar novamente em 3000 rpm por 10 minutos (Extrato B). Juntar os dois extratos (A e B), totalizando um volume final de 60 mL. (Adaptado para não execução desta etapa);

- Coletar o sobrenadante para a determinação e guardar o solo para a extração da próxima fração;

- Proceder a determinação do P pelo método de Murphy & Riley (1962).

P-residual

- Após seca as amostras de solo – ao ar livre por +/- uma semana;
- Pesar 0,5 g em tubos de digestão;
- Adicionar:
 - * 1 mL de MgCl_2 saturado;
 - * 2 mL de H_2O_2 puro e
 - * 2 mL de H_2SO_4 1:1 (v/v).

- Digerir em bloco digestor a 200°C – elevar a temperatura lentamente, protegendo sempre com funil de refluxo.

OBS – colocar até 50°C e deixar ferver, retirar os tubos e deixar esfriar, após recolocar os tubos no bloco digestor e subir lentamente a temperatura até 200°C . Assim, não haverá perigo de ferver novamente.

- A digestão estará pronta quando o solo estiver totalmente seco (começa a subir uma fumaça branca);

- Deixar esfriar e completar o volume com água destilada para 50 mL;
- Proceder a determinação do P pelo método de Murphy & Riley (1962).

Determinação Murphy & Riley (1962)

(a) **Preparo dos padrões e confecção da curva**- preparar solução estoque (SE) de P com 50 mg L⁻¹ de P (50 mL de solução 1000 mg/L por 1L de água destilada) a partir de solução de 1000 mg L⁻¹ de P (4,39 g/L de KH₂PO₄);

- Fazer 100 mL de solução de trabalho (ST) com 5 mg L⁻¹ de P (10 mL/100mL):

* pipetar 10 mL da SE de 50 mg L⁻¹ de P e completar para 100 mL em balão volumétrico; - Transferir uma alíquota da ST (Tabela 2) que contenha 2 a 40 µg de P em balão volumétrico de 50 mL;

- Acrescentar cerca de 25 mL de água destilada;

- Neutralizar a acidez com NaOH 10 mol L⁻¹ (adaptado para 1,0 mol L⁻¹) – a neutralização é feita gota a gota do NaOH 10 mol L⁻¹ (adaptado para 1,0 mol L⁻¹) na presença de 2 gotas de p-nitrofenol (1%) na solução. A neutralização ocorre quando há mudança de cor do extrato, que geralmente é do transparente para o amarelo;

- Adicionar 8 mL de solução sulfomolibdica;

- Completar para 50 mL com água destilada e agitar manualmente;

- Ler a absorvância, em comprimento de onda de 880 nm após 30 minutos.

Tabela 2 – Preparo da curva de fósforo para análise de fracionamento sequencial

mL da ST por 50mL	mg L ⁻¹ de P*	Absorvância
0	0	0
0,5	0,05	0,045
1,0	0,1	0,064
2,0	0,2	0,198
4,0	0,4	0,239
8,0	0,8	0,545
12,0	1,2	0,806
16,0	1,6	1,044

Exemplo Cálculo concentração de P:

O Volume final = 50 mL;

O Volume inicial = 0,5 mL;

A Diluição = 50 mL/0,5 mL = 100 vezes;

A Concentração final = Conc.inicial (5 mg L⁻¹ de P)/diluição (100x) = 0,05 mg L⁻¹ de P.

Solução Sulfomolibídica

Solução A

- Dissolver 15,35 g de molibdato de amônio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ em 200 mL de água destilada;

- Dissolver 0,3511 g de tartarato duplo de antimônio e potássio $\text{K}(\text{SbO}_2)\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ em 100 mL de água destilada;

- Colocar 300 mL de água destilada em becker de 1000 mL e adicionar lentamente 178 mL de H_2SO_4 concentrado;

- Após esfriar completamente a diluição do H_2SO_4 , adicionar as soluções de molibdato de amônio e tartarato de antimônio e potássio. Misturar bem e completar o volume para 1000 mL.;

Solução B

- Dissolver 13,56 g de ácido ascórbico $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ em 1000 mL de Solução A, ou 6,78 g de ácido ascórbico em 500 mL de Solução A. OBS – esta solução deve ser preparada no momento do uso.

(b) preparo e leitura das amostras

- Pegar XX mL de alíquota dos extratos de solo. – o volume da alíquota vai depender: do tipo de solo, dos teores de P no solo, e demais variáveis que possam interferir nas frações de P no solo. Esse volume pode variar de 1 a 30 mL.

- Neutralizar a acidez com NaOH 10 mol L^{-1} (adaptado para 1,0 mol L^{-1}). A neutralização é feita gota a gota do NaOH 10 mol L^{-1} (adaptado para 1,0 mol L^{-1}) na presença de 2 gotas de p-nitrofenol (1%) na solução. A neutralização ocorre quando há mudança de cor do extrato, que geralmente é do transparente para o amarelo.

- Adicionar 8 mL da solução B (Sulfomolibídica) e

- Completar o volume para 50 mL com água destilada e realizar a leitura em espectrofotômetro com comprimento de onda de 880 nm, após 30 minutos.

(c) cálculo

Proceder os cálculos de acordo com a diluição realizada em cada fração

Com esses dados, frações de P no solo, foi realizada a análise de componentes principais. Através do critério de Kaiser foram selecionados seis componentes principais (Figura 2) para o RQo e para o LVd que explicam 94,34 e 95,34% das variações que ocorreram nos resultados, respectivamente. Em seguida, foram estimadas as correlações entre as variáveis avaliadas e as componentes principais 1 (CP 1) a 6 (CP 6) para ambos os solos. As variáveis que não obtiveram correlação significativa (pelo

teste de t de student) com pelo menos uma das componentes principais, foram retiradas para refazer a análise de agrupamento dos tratamentos. As análises foram realizadas no programa R (Team R Core, 2017) utilizando o pacote FactoMineR (Lê, et al., 2008).

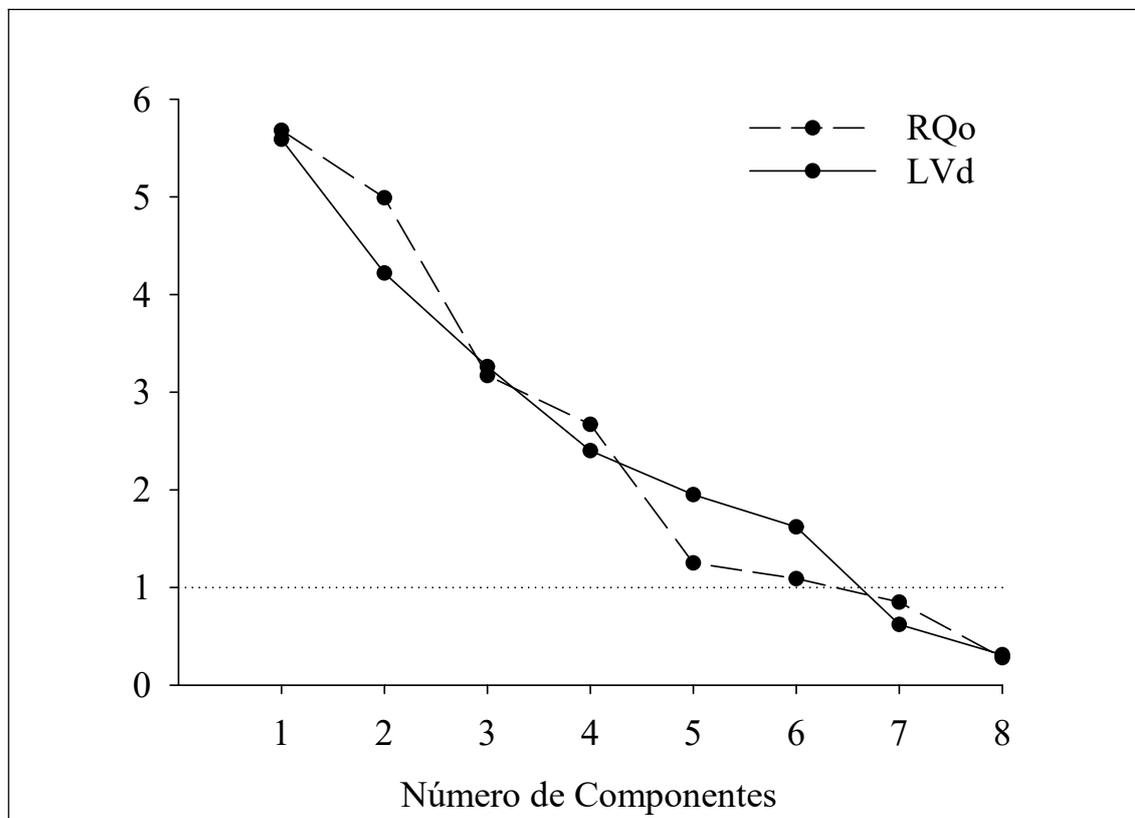


Figura 2 Seleção das componentes principais pelo critério de Kaiser.

Em seguida, após a classificação das áreas em clusters, esses foram submetidos à análise de variância e teste de média (Scott Knoot, 5% de prob.), apenas para as frações de P utilizadas para a classificação dos clusters, e correlações das frações entre si e com a produtividade da soja com auxílio do programa R (Team R Core, 2014).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na significância dos coeficientes de correlação entre as componentes principais 1 a 6 (CP 1 a CP 6) e as variáveis avaliadas (Tabela 2), observa-se que para o RQo as frações de P microbiano (Pm-bic) após primeira e segunda safras e Po-hid 0,1; Pi-hid 0,5, Po-hid 0,5 e P-residual após a segunda safra não contribuem para explicar o agrupamento dos dados. Quando realizado o agrupamento dos tratamentos com ausência dessas variáveis há formação de três clusters no RQo (Figura 3).

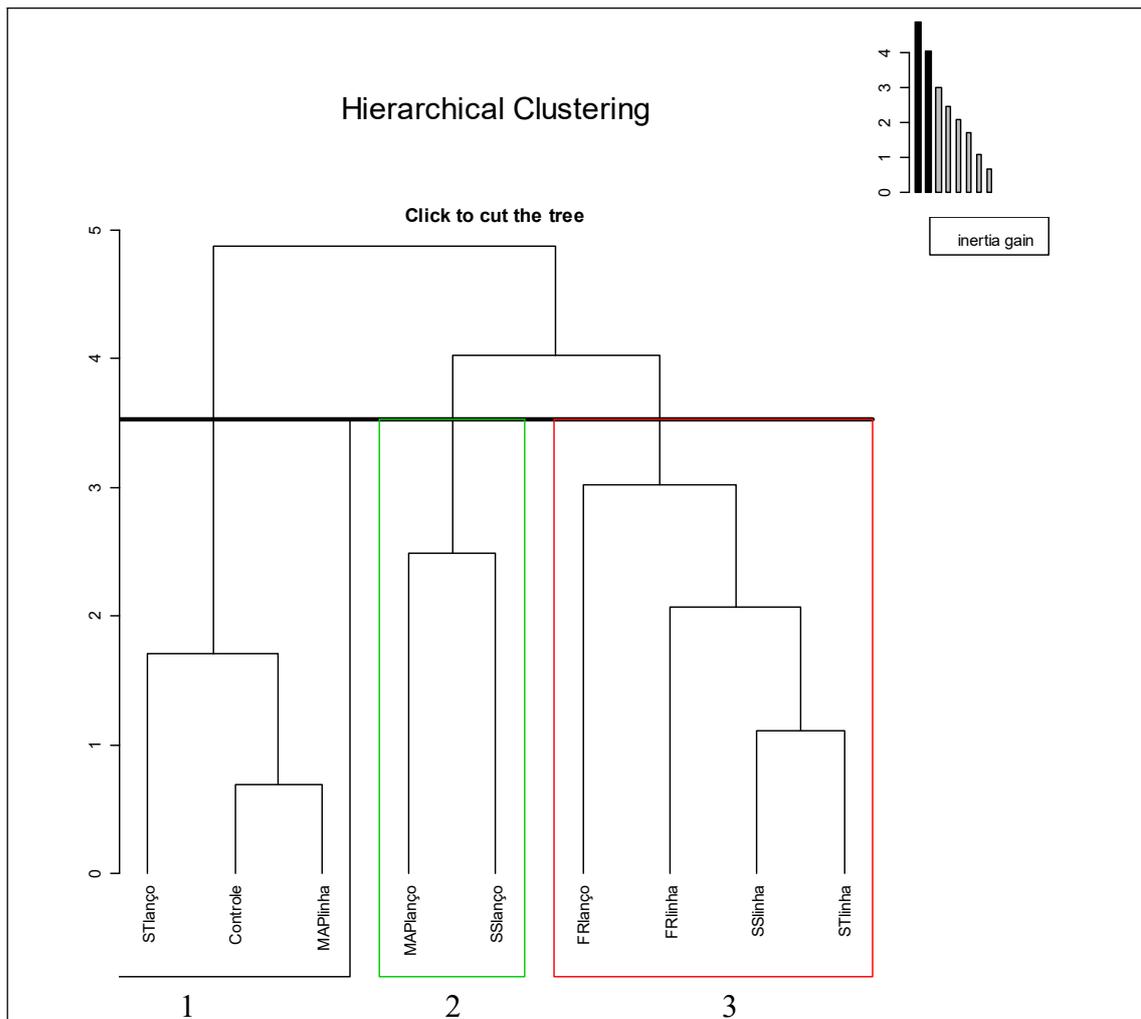


Figura 3 Análise de *cluster* para agrupamento dos tratamentos com aplicação das fontes monoamônio fosfato (MAP), superfosfato simples (SS), superfosfato triplo (ST) e fosfato reativo de bayovar (FR) a lanço e na linha de plantio sobre Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo).

Tabela 3 Coeficiente de correlação entre as componentes principais 1 a 6 (CP 1 a CP 6) e as variáveis avaliadas.

Variável	Saфра	RQo						LVd					
		CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6
<i>P-NH4Cl</i>	1 ^a	0,48 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	0,76*	-0,05 ^{ns}	0,28 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,68*
<i>Pi-bic</i>		0,80**	-0,35 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,13 ^{ns}
<i>Po-bic</i>		0,33 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,77*	0,33 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,23 ^{ns}
<i>Pm-bic</i>		0,28 ^{ns}	0,57 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,12 ^{ns}	-0,37 ^{ns}	0,70*	0,45 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,20 ^{ns}
<i>Pi-hid 0,1</i>		0,74*	-0,34 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,80**	-0,32 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
<i>Po-hid 0,1</i>		-0,04 ^{ns}	0,74*	0,24 ^{ns}	-0,50 ^{ns}	0,23 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,37 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,37 ^{ns}	-0,62 ^{ns}	-0,38 ^{ns}
<i>Pi-hid 0,5</i>		0,40 ^{ns}	0,72*	0,08 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,51 ^{ns}	-0,48 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	0,06 ^{ns}
<i>Po-hid 0,5</i>		-0,16 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,77*	0,04 ^{ns}	-0,46 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,80**	-0,24 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,06 ^{ns}
<i>P-HCl</i>		0,37 ^{ns}	0,90**	0,09 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	0,72*	-0,28 ^{ns}	0,32 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,43 ^{ns}
<i>P-residual</i>		-0,48 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,69*	0,70*	0,24 ^{ns}	0,39 ^{ns}	-0,37 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,44 ^{ns}
<i>P-NH4Cl</i>	2 ^a	0,80**	-0,44 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	0,76*	0,16 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-0,30 ^{ns}
<i>Pi-bic</i>		0,70*	-0,58 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	0,17 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,62 ^{ns}	-0,66 ^{ns}	0,23 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,11 ^{ns}
<i>Po-bic</i>		0,42 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	0,83**	-0,12 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,40 ^{ns}	0,23 ^{ns}	-0,83**	-0,02 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,26 ^{ns}
<i>Pm-bic</i>		0,64 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,66 ^{ns}	-0,60 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	0,34 ^{ns}
<i>Pi-hid 0,1</i>		0,71*	-0,45 ^{ns}	-0,48 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,37 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,48 ^{ns}
<i>Po-hid 0,1</i>		-0,10 ^{ns}	-0,60 ^{ns}	-0,46 ^{ns}	-0,42 ^{ns}	0,24 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,73 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,06 ^{ns}
<i>Pi-hid 0,5</i>		0,50 ^{ns}	0,64 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-0,78*	-0,43 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,18 ^{ns}
<i>Po-hid 0,5</i>		-0,66 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,26 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,40 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,50 ^{ns}	-0,70*	-0,19 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,33 ^{ns}	-0,13 ^{ns}
<i>P-HCl</i>		0,76*	-0,05 ^{ns}	-0,51 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,84**	0,01 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,44 ^{ns}	-0,12 ^{ns}
<i>P-residual</i>		0,15 ^{ns}	0,65 ^{ns}	-0,52 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,71*	0,17 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,49 ^{ns}	-0,10 ^{ns}

**,* e ^{ns} Significativo a 1 e 5% e não significativo, respectivamente pelo teste de t (student).

Para o experimento realizado sobre o Latossolo Vermelho distrófico nitossólico (LVd) com base na significância da correlação entre as CP 1 a 6 e as variáveis, verifica que as frações de P Pi-bic, Po-bic, Po-hid 0,1, Pi-hid 0,5 após primeira safra e Pi-bic, Pm-bic, Pi-hid 0,1 e P-HCl após a segunda safra não contribuem para o agrupamento dos tratamentos que explicam 95,34% dos resultados obtidos. Quando realizado o agrupamento dos tratamentos com ausência dessas variáveis há formação de 3 clusters no LVd (Figura 4).

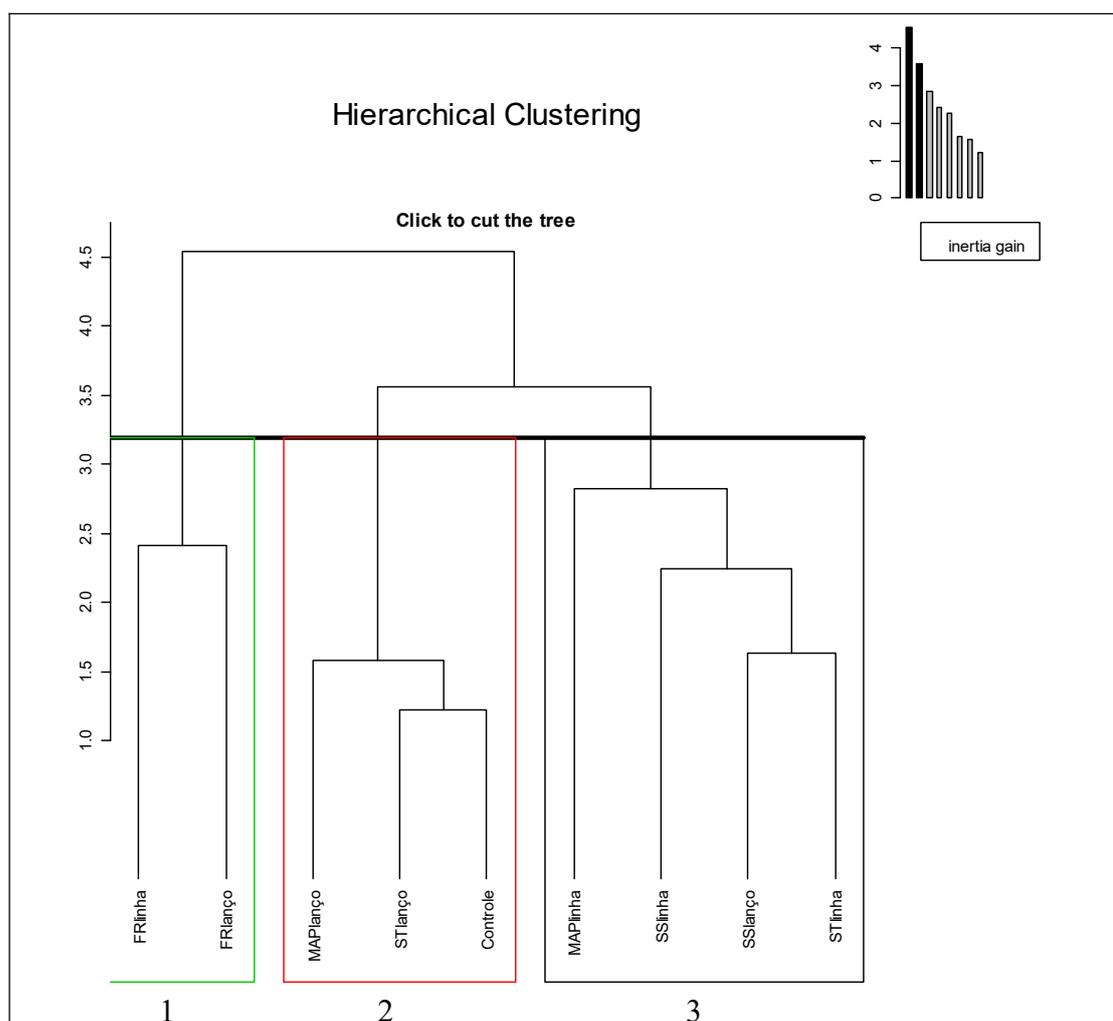


Figura 4 Análise de *cluster* para agrupamento dos tratamentos com aplicação das fontes monoamônio fosfato (MAP), superfosfato simples (SS), superfosfato triplo (ST) e fosfato reativo de bayovar (FR) a lanço e na linha de plantio sobre Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd).

Na tabela 4 estão os clusters agrupados de 1 a 3 e os respectivos tratamentos que os compõem no RQo e no LVd.

Tabela 4 Clusters 1 a 3 agrupados no experimento realizado sobre o Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo) e o Latossolo Vermelho distrófico nitossólico (LVd) e nos seus respectivos tratamentos componentes com aplicação das fontes monoamônio fosfato (MAP), superfosfato simples (SS), superfosfato triplo (ST) e fosfato reativo de bayovar (FR) a lanço e na linha

Clusters	Solos	
	RQo	LVd
1	ST lanço Controle MAP linha	FR lanço FR linha
2	MAP lanço SS lanço	MAP lanço ST lanço Controle
3	FR lanço FR linha SS linha ST linha	MAP linha SS linha SS lanço ST linha

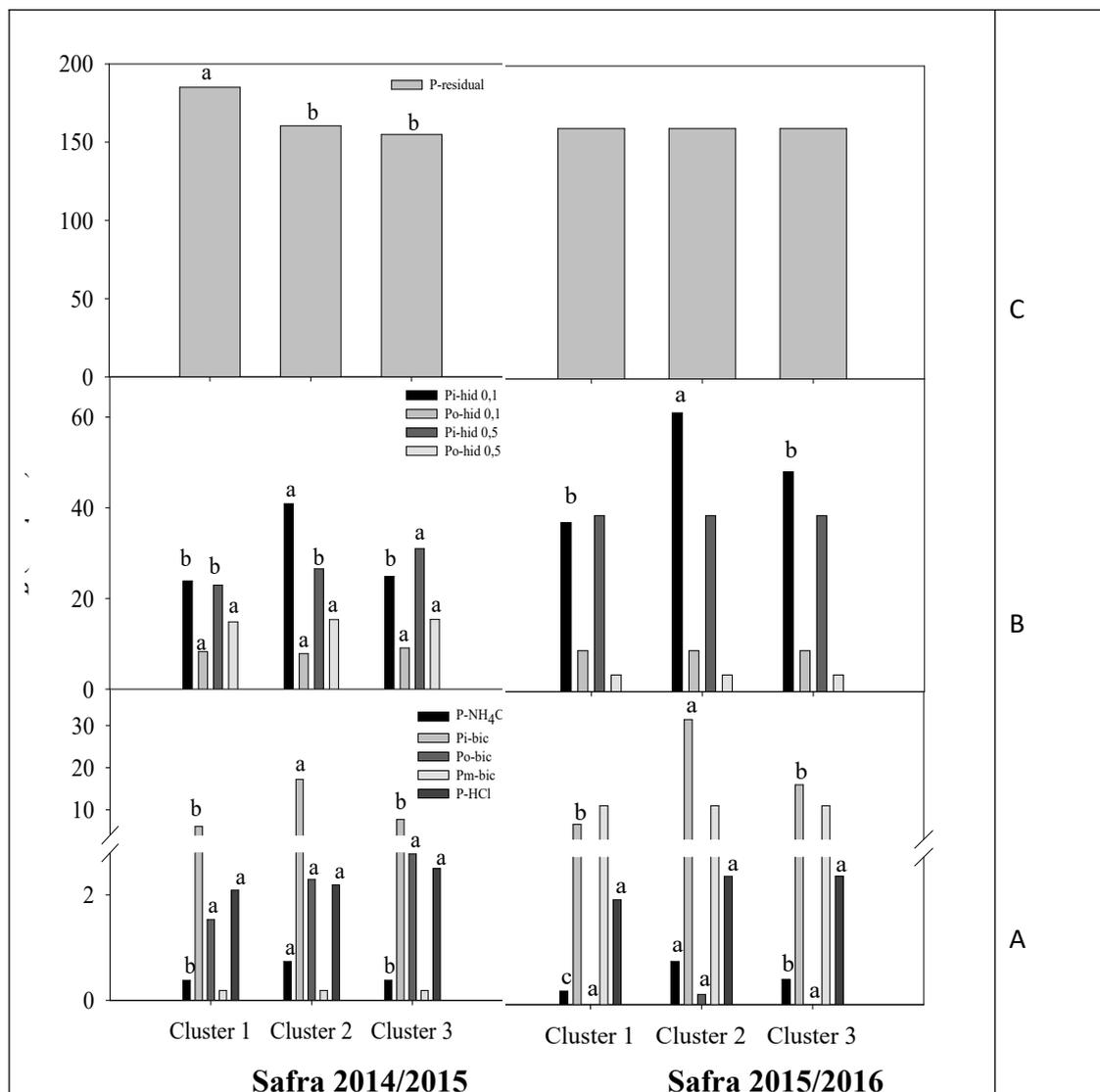


Figura 5 Frações de P em um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo) após cultivo de soja safras (2014/2015) (A) e (2015/2016) (B) em função dos tratamentos de adubação com monoamônio fosfato (MAP), superfosfato simples (SS), superfosfato triplo (ST) e fosfato reativo de bayovar (FR) a lanço e na linha agrupadas em *clusters*.

A fração P inorgânico (Pi) compreende a somatória das formas de P-NH₄Cl; Pi-bic; Pi-hid 0,1; Pi-hid 0,5; e P-HCl. Dentre essas, o Pi-bic tem capacidade de tamponamento similar ao P absorvido pelas plantas, podendo ser considerados formas lábeis de P (Gatiboni, 2007), e são altamente influenciadas pelas adubações fosfatadas. Todavia, as demais frações inorgânicas de P sofre influência quando a balanço negativo de P no solo, atuando todas como tampão do P disponível para as plantas, ou como dreno de P quando o balanço é positivo. E a intensidade dreno ou fonte de P vai dessas frações depende do tipo de perturbação que foi realizado ao solo e de características intrínsecas à mineralogia do solo, sendo solos menos intemperizados mais fonte de P e

mais intemperizados mais dreno de P. Como as frações de P, no presente estudo, foram determinadas após o cultivo das forrageiras, os teores avaliados referem ao efeito residual.

Analisando as frações de maior labilidade, P-NH₄Cl e Pi-bic, no RQo, observou que o Cluster 2 (MAP lanço e SS lanço) proporcionou os maiores teores após as duas safras (Figura 5 A).

Após a segunda safra, o Cluster 1 (ST lanço, Controle e MAP linha) apresentou os menores teores de P-NH₄Cl (Figura 5 A). Apesar de se tratar de uma fração de P prontamente disponível para as plantas, essa fração não se correlaciona com a produção (Tabela 5), provavelmente, por estar sendo tamponada por frações de P de menor labilidade, como por exemplo o Pi-hid 0,1, que apresentou alta correlação com essa fração e com a produção (Tabela 5) e que também apresentou os maiores teores nesse cluster (Figura 5 B).

Nas duas safras, a fração Po-bic não diferiu entre os Clusters (Figura 5 A), mas apresentou correlação positiva com a produção (Tabela 5), mostrando que há equilíbrio entre essas frações orgânicas de P no solo, com a produção da cultura. Já as frações de Pm-bic e P-HCl apesar de também não diferirem entre os Clusters (Figura 5 A), e se mostrarem em equilíbrio com a produção, essa correlação foi negativa (Tabela 5), obtendo, portanto, menores teores remanescentes dessas frações quanto maior a produção obtida. Observa assim, grande relevância dessas frações orgânicas (Po-bic e Pm-bic) e inorgânica (P-HCl), pois estão tamponando frações de maior labilidade e assim proporcionando aumento na produção.

Observa-se, portanto, equilíbrio entre essas três formas de P no solo. A correlação negativa entre o Po-bic com o Pm-bic e P-HCl (Tabela 5), sugere que o Pm-bic e P-HCl estão reduzindo seus teores conforme tamponam o Po-bic, que por sua vez está tamponando frações mais lábeis como P-NH₄Cl e Pi-bic responsáveis por fornecer P prontamente disponível para as plantas. A correlação positiva do Pm-bic e P-HCl com a produção (Tabela 5) se dá, portanto, devido ao aumento de Po-bic promovido por essas duas frações que conseqüentemente promoveram aumento da produção por tamponar frações de P disponível para as plantas.

O Pi-hid, representa formas de P do solo consideradas de baixa disponibilidade para as plantas e estão associadas às formas de P amorfos e cristalinos de Fe e Al (Cross & Schlesinger, 1995).

A fração Pi-hid 0,1, assim como ocorrido com as frações de maior labilidade (P-NH₄Cl e Pi-bic), apresentou maiores teores no Cluster 2, após as duas safras (Figura 5 B), indicando que os tratamentos do cluster 2 apresenta equilíbrio entre frações de média e baixa labilidade em ambas as safras, corroborando assim com (Gatiboni et al., 2007) que observou atuação do Pi-hid 0,1 como fonte de P na reposição desse nutriente na solução do solo, quando absorvido pela planta.

Quando usado o mesmo extrator em uma concentração mais forte, Pi-hid 0,5, o Cluster 3 (FR lanço, FR linha, SS linha e ST linha) apresentou maiores teores no solo após a primeira safra (Figura 5 B), mostrando influência do FR sobre essa fração de menor labilidade que se correlaciona positivamente com o Pi-hid 0,1 e negativamente com a produção (Tabela 5). Os tratamentos do Cluster 3, portanto foram responsáveis por aumentar os teores de uma fração de baixa labilidade, Pi-hid 0,5 (Figura 5 B).

Na primeira safra, no RQo, os teores dessas frações menos lábeis sofreram influência do fertilizante e modo de aplicação de forma diferenciada. Analisando os tratamentos do Cluster 3 observa-se que, fertilizantes de baixa solubilidade como o FR, independente da forma de aplicação, e fertilizantes de maior solubilidade (SS e ST) aplicados na linha, proporcionaram maiores teores de Pi-hid 0,5 (Figura 5 B).

Fertilizantes de alta solubilidade como o MAP na linha e o ST a lanço, podem prontamente disponibilizar o ânion fosfato no solo e apresentar perdas por sorção, e proporcionar incremento no P-residual conforme observado na Figura 5 C, assim como a não adição de P ao solo (Controle) também resultou em maior capacidade desse solo em reter o nutriente na forma de P-res após o cultivo da soja. Tais tratamentos compõem o cluster 1 (Figura 5 C).

Na primeira safra, portanto, os tratamentos do cluster 2, apresentaram maiores teores de P, desde frações altamente lábeis e prontamente disponíveis para a planta (NH₄Cl e Pi-bic), até frações de média e baixa labilidade (Pi-hid 0,1 e Pi-hid 0,5) (Figura 5 B), mostrando que esses tratamentos disponibilizaram P no solo de forma rápida, a qual foi superior à capacidade de absorção pelas plantas, proporcionando assim maior capacidade do solo em reter o P em formas menos lábeis, dessa forma esse cluster se mostrou pouco eficiente para uso na primeira safra, visto que também são tratamentos que proporcionaram baixas produtividades nessa safra (Figura 2 E, Cap. 1).

Nessa mesma safra, nos tratamentos dos cluster 1 e 3, ocorreu efeito inverso, apresentando menores teores de frações de alta (NH₄Cl e Pi-bic) e média labilidade (Pi-hid 0,1) (Figura 5 B), sugerindo que esses clusters disponibilizaram P de forma mais

lenta, acompanhando melhor a necessidade da planta. Nota-se que todos os tratamentos aplicados na linha estão agrupados nesses dois clusters (Tabela 4), mostrando que a aplicação na linha para este tipo de solo em primeira safra, parece ser o mais recomendado. Tal fato é justificado quando se observa a produção dessa safra (Figura 2 E, Cap. 1), em que a aplicação na linha obteve as maiores produtividades, independente da fonte.

Nota-se, porém, que nessa safra, o cluster 3, que contém maior parte dos fertilizantes aplicados na linha, apesar de ter sido eficiente em aumentar a produção, teve também os maiores teores de Pi-hid 0,5 (baixa labilidade) após o cultivo da soja. Gatibni et al. (2007) analisando os efeitos do Pi-hid 0,5 sobre frações de alta labilidade, observou baixa participação dessa fração quando a disponibilidade das formas mais lábeis era maior. Os tratamentos do Cluster 3, portanto, devido aos altos teores remanescentes dessa fração após o primeiro cultivo (Figura 5 B), não foram eficientes em aumentar a produtividade na safra seguinte, visto que na segunda safra a maior produção foi obtida com o SS e ST a lanço (Figura 2 F, Cap. 1), ambos inexistentes nesse cluster, não sendo portanto, esse cluster o mais indicado para esse tipo de solo, principalmente na segunda safra em que proporcionou menor produção.

As perdas para a fração Pi-hid 0,5 (baixa labilidade), que apresenta baixa correlação com o P-NH₄Cl, pode ser manejada com plantas de cobertura, que não teve após a 1ª safra, que possivelmente voltaria ao sistema produtivo em frações orgânicas, como demonstrado por Rodrigues (2006) que após o cultivo de várias gramíneas forrageiras houve aumento das frações orgânicas de P no solo, com destaque para a cultura do milheto, sendo essa portanto uma alternativa para melhorar a eficiência do cluster 3 na segunda safra.

Conforme já relatado que há equilíbrio entre Po-bic, Pm-bic e P-HCl. A correlação positiva do Pm-bic e P-HCl com a produção (Tabela 5) se dá, portanto, devido ao aumento de Po-bic promovido por essas duas frações que conseqüentemente promoveram aumento da produção por tamponar frações de P disponível para as plantas. No presente trabalho, o P microbiano (Pm-bic) apresenta alta correlação com o P-HCl, que representa em sua maioria o P ligado ao Ca, ou seja, altas concentrações de P ligado a Ca favorece o aumento da atividade microbiana no solo. Esse efeito pode levar à solubilização de P ligado a Ca. E que, por sua vez, o P ligado a Ca (P-HCl) correlaciona-se, ou seja, tampona, as frações de P inorgânico lábeis (P-NH₄Cl) e Pi-bic. Portanto, é importante a adoção de sistemas de cultivo com manutenção de plantas no

solo o ano todo, pois é a manutenção da vida no solo, que mantém a atividade microbiana.

Os menores teores de P-NH₄CL no cluster 1, após a segunda safra, pode ser atribuída a maior retenção de P-res desse cluster após a primeira safra (Figura 5 C). Todavia, apesar do ST estar presente nesse cluster, o efeito de sua aplicação a lanço na segunda safra, foi diferenciado, proporcionando maior absorção pelas plantas, surtindo em incremento de produção nessa segunda safra (Figura 2 F, Cap. 1).

O impedimento do uso do ST na agricultura na região do cerrado brasileira é relativo ao maior custo efetivo por unidade de P₂O₅, quando comparado com o SS e o MAP. Essa diferença de custo, deve ser avaliada em maior tempo e experimentos como o presente, pois com a maior produtividade com o uso dessa fonte, pode ocorrer aumento do benefício, tendendo ao equilíbrio em relação às demais fontes. Todavia, levando em consideração o exaurimento das minas de P no Brasil e no mundo, as menores perdas com o uso do ST, pode proporcionar aumento da vida útil das minas de P. E assim, impedir o aumento do custo do fertilizante em função da maior demanda em relação à oferta, e conseqüentemente evitando aumento do custo de produção de alimentos. Para concretizar isso há a necessidade de desenvolver políticas públicas para favorecer a fabricação e uso de fontes de P de maior sustentabilidade financeira, ambiental e social.

Tabela 5 Coeficiente de correlação entre as médias de duas safras (2014/2015 e 2015/2016) da produtividade da soja (Prod.), P Mehlich 1 nas profundidades de 0 a 0,05 (P1) e 0,05 a 0,10 m (P2) e as frações de P em Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo).

	<i>Prod.</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P-NH₄Cl</i>	<i>Pi-bic</i>	<i>Po-bic</i>	<i>Pm-bic</i>	<i>Pi-hid 0,1</i>	<i>Po-hid 0,1</i>	<i>Pi-hid 0,5</i>	<i>Po-hid 0,5</i>	<i>P-HCl</i>
<i>P 1</i>	-0,71**											
<i>P 2</i>	-0,64**	0,84**										
<i>P-NH₄Cl</i>	-0,41 ^{ns}	0,66**	0,84**									
<i>Pi-bic</i>	-0,39 ^{ns}	0,69**	0,88**	0,94**								
<i>Po-bic</i>	0,56*	-0,52*	-0,53*	-0,27 ^{ns}	-0,33 ^{ns}							
<i>Pm-bic</i>	-0,75**	0,87**	0,69**	0,52*	0,56*	-0,63**						
<i>Pi-hid 0,1</i>	-0,52*	0,84**	0,93**	0,89**	0,96**	-0,45 ^{ns}	0,69**					
<i>Po-hid 0,1</i>	-0,62**	0,47*	0,55*	0,48*	0,49*	-0,16 ^{ns}	0,51*	0,53*				
<i>Pi-hid 0,5</i>	-0,56*	0,86**	0,53*	0,37 ^{ns}	0,42 ^{ns}	-0,44 ^{ns}	0,77**	0,58*	0,30 ^{ns}			
<i>Po-hid 0,5</i>	0,60**	-0,86**	-0,79**	-0,53*	-0,65**	0,47*	-0,86**	-0,75**	-0,43 ^{ns}	-0,66**		
<i>P-HCl</i>	-0,76**	0,90**	0,87**	0,66**	0,71**	-0,57*	0,91**	0,81**	0,67**	0,74**	-0,88**	
<i>P-Res</i>	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,18 ^{ns}

**,* e ^{ns}Significativo a 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F a 5% de probabilidade.

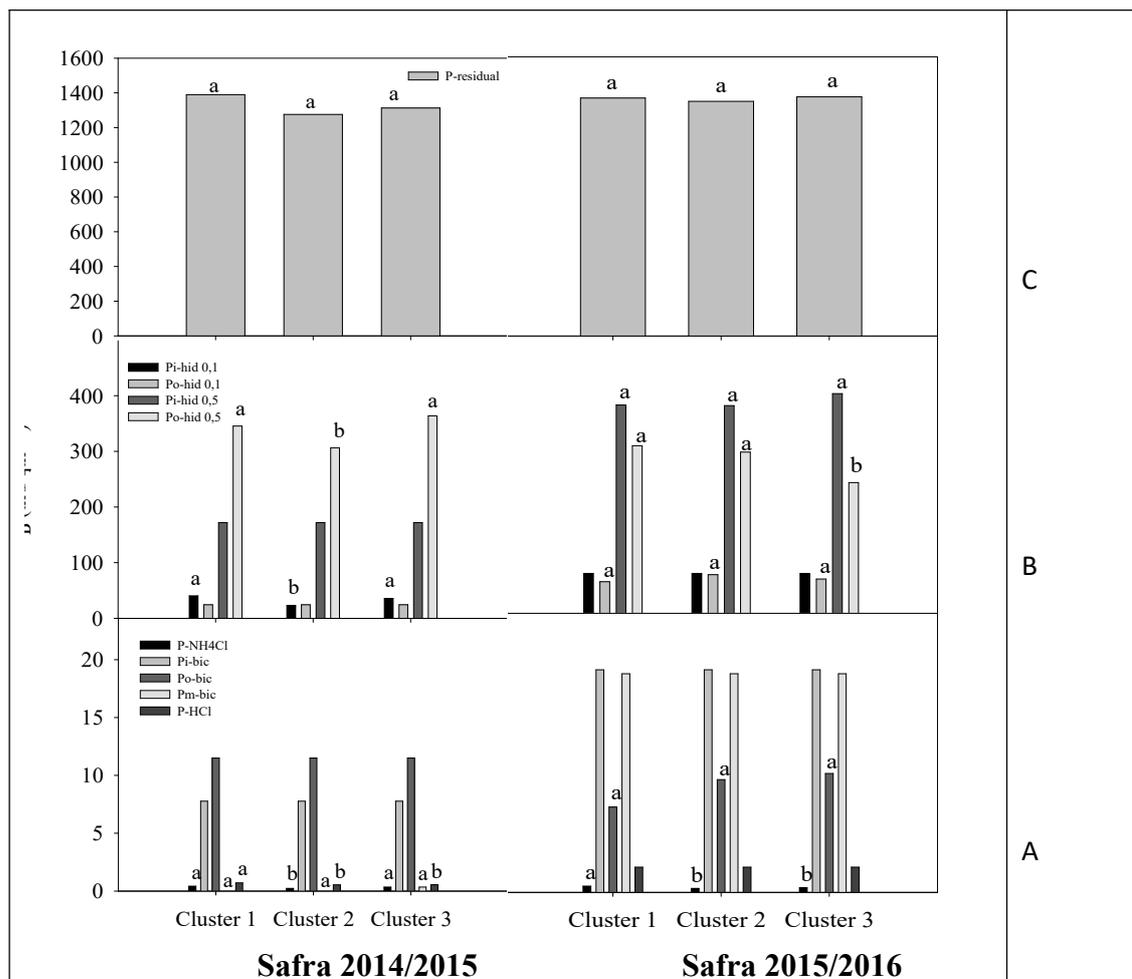


Figura 6 Frações de P em um Latossolos Vermelho distrófico nitossólico (LVd) após cultivo de soja safras (2014/2015) e (2015/2016) em função dos tratamentos de adubação com monoamônio fosfato (MAP), superfosfato simples (SS), superfosfato triplo (ST) e fosfato reativo de bayovar (FR) a lanço e na linha agrupadas em *clusters*.

Analisando a fração de maior labilidade, P-NH₄Cl, no LVd, observa que após o cultivo da primeira safra, maiores teores foram observados nos clusters 1 (FR lanço e FR linha) e 3 (MAP linha, SS linha, SS lanço, ST linha), clusters estes que contém todos os tratamentos aplicados na linha (Tabela 4). Após a segunda safra, o cluster 1 apresentou maiores teores dessa fração (Figura 6 A). O FR, portanto, independente da forma de aplicação, proporcionou maiores teores dessa fração após o cultivo da segunda safra. Todavia, o P-NH₄Cl, não se correlacionou com a produção, mas correlacionou positivamente com outras frações (Pi-bic e P-HCl), sugerindo que estas frações estão tamponando frações de maior labilidade. A maior solubilização de P ligado a Ca. (P-HCl) nesse tipo de solo, tampona, as frações de P inorgânico lábeis (P-NH₄Cl e Pi-bic), justificando a alta correlação entre elas (Tabela 6).

O Pi-bic, Po-bic e Pm-bic, nesse tipo de solo, em nenhuma das safras diferiu entre os clusters (Figura 6 A) e, não se correlacionou com a produção, mostrando assim, que as frações de P prontamente disponível para a planta (P-bic e P-NH₄Cl), são de fato tamponadas por frações menos lábeis, e que esse tamponamento está mais relacionado com a interação dessas frações, de média a baixa labilidade, com o solo do que com o fertilizante e forma de aplicação.

Todavia, o Pi-bic se correlacionou com todas as frações de P no solo, com exceção do P-Res, (Tabela 6), sendo, provavelmente, tamponado por todas essas frações.

Observa-se que em geral os teores da fração de Po-bic diminuíram da primeira para a segunda safra (Figura 6 A), principalmente no cluster 1, composto apenas pelo FR (Tabela 4), corroborando que essa fração de P orgânico, assim como no RQo, também está tamponando as frações inorgânicas lábeis no Latossolo.

Porém, como no LVd, a fração Po-bic não se correlacionou com nenhuma outra fração de P no solo (Tabela 6), observa-se essa fração é muito mais influenciada pelo tipo de solo do que pela fonte e forma de adubação fosfatada. No RQo a matéria orgânica, presente em menor quantidade (Tabela 1) é alterada com mais rapidez que no LVd em função da menor proteção físico química em solos arenosos (Moreira & Siqueira, 2006). Assim, os teores de Po-bic no LVd foram muito superiores aos do RQo, nas duas safras, mostrando maior capacidade desse solo em não degradar a matéria orgânica. Portanto, o tamponamento no LVd pode ser maior por causa dos maiores teores de Po-bic nesse solo.

O Pm-bic, por sua vez, correlacionou-se com todas as frações orgânicas e inorgânicas de P-hid 0,1 e P-hid 0,5 e, com o P-HCl (Tabela 6), mostrando influência dessas frações sobre a microbiota do solo.

A fração de P-HCl, é designado a capacidade de dessorção de formas inorgânicas de P associadas ao Ca (Cross & Schlesinger, 1995).

Os teores de P-HCl, não diferiu entre os clusters após a segunda safra, porém, após a primeira safra, mostrou-se superior no cluster 1 (Figura 6 A), observando assim que o FR independente da forma de aplicação, proporcionou maiores teores de P-HCl no solo após o cultivo da primeira safra e que esse efeito foi amenizado no fim da safra seguinte pela solubilização do P-HCl que tamponou o P-NH₄Cl na segunda safra, promovendo maiores teores dessa fração ao fim dessa safra (Figura 6 A). Entretanto, mesmo o cluster 1 e 3 apresentando os maiores teores de P-NH₄Cl ao final da primeira safra (Figura 6 A), a readubação do solo com FR, independente da forma de aplicação

(cluster 1), na segunda safra não proporcionou maiores produtividades, indicando assim que mesmo no Lvd (solo altamente reativo), a dissolução desse fertilizante é lenta e não acompanha a necessidade da cultura da soja, ou seja, esse cluster acaba promovendo altos teores de P disponível (P-NH₄Cl) após o fechamento do ciclo da soja, quando a planta já não necessita mais do nutriente, proporcionando assim baixas produtividade (Figura 3E, cap 1) e altos teores remanescentes dessa fração após o cultivo da soja (Figura 6 A).

A fração de Pi-hid 0,1 após a primeira safra, apresentou menores teores no cluster 2, que se trata de fontes mais solúveis e aplicadas a lanço, além do tratamento controle, sem aplicação de P. Portanto, para o primeiro ano de cultivo, em um solo com alto poder tampão de P, a forma de aplicação a lanço parece não ser a melhor alternativa quando se trata de fontes de P de maior solubilidade, devido a ocorrência de maior fixação de P no solo, e redução dos teores da fração de Pi-hid 0,1. Observa-se que essa fração de P merece certa relevância pois se correlaciona bem com o Pi-bic e com a produção (Tabela 6), sendo responsável, portanto pelo tamponamento de frações de maior labilidade e por aumentos na produtividade.

O menor efeito de fontes mais solúveis aplicadas a lanço, em solo com alto poder tampão, parece não se estender para as safras seguintes, quando o solo já apresenta maiores teores de P, visto que, após a segunda safra, os teores de Pi-hid 0,1 não diferiram entre os clusters (Figura 6 B).

A fração P residual (P-Res), é constituída pelo P que não foi extraído pelos demais extratores e é composta por formas de Pi e de Po recalcitrantes (Gatiboni 2007).

O P-Res, nas duas safras, não apresentou diferença entre os clusters, ou seja, não houve diferença entre fonte, forma de aplicação e testemunha, sendo inclusive muito parecidos nas duas safras (Figura 6 C). Os teores de P-Res foram muito maiores que os teores das demais frações de P (Figura 6 A, B e C), indicando que se trata de um solo altamente sortivo, e que grande parte do P do solo encontra-se em formas de alta energia de ligação com os colóides do solo, dados estes observados também por Gatinoni (2007), Rheinheimer (2000) e Conte (2001). Também foi observado que os teores dessa fração são muito maiores no LVd do que no RQo, independente da safra e do tratamento (Figura 5 C e Figura 6 C). Tudo isso mostra que os teores P-Res, portanto, estão muito mais relacionados com o tipo e características do solo, do que com o fertilizante fosfatado e/ou sua forma de aplicação.

Tabela 6 Coeficiente de correlação entre a produtividade da soja (Prod.) , P Mehlich 1 nas profundidades de 0 a 0,05 (P1) e 0,05 a 0,10 (P2) m e as frações de P em Latossolo Vermelho distrófico nitossólico (LVd).

	<i>Prod.</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P-NH₄Cl</i>	<i>Pi-bic</i>	<i>Po-bic</i>	<i>Pm-bic</i>	<i>Pi-hid 0,1</i>	<i>Po-hid 0,1</i>	<i>Pi-hid 0,5</i>	<i>Po-hid 0,5</i>	<i>P-HCl</i>
<i>P 1</i>	-0,06 ^{ns}											
<i>P 2</i>	-0,07 ^{ns}	0,92 ^{**}										
<i>P-NH₄Cl</i>	0,01 ^{ns}	0,82 ^{**}	0,64 ^{**}									
<i>Pi-bic</i>	-0,06 ^{ns}	0,70 ^{**}	0,82 ^{**}	0,48 [*]								
<i>Po-bic</i>	-0,04 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,07 ^{ns}							
<i>Pm-bic</i>	-0,13 ^{ns}	0,77 ^{**}	0,90 ^{**}	0,43 ^{ns}	0,72 ^{**}	-0,44 ^{ns}						
<i>Pi-hid 0,1</i>	-0,37 ^{ns}	0,47 [*]	0,65 ^{**}	0,21 ^{ns}	0,72 ^{**}	-0,14 ^{ns}	0,61 ^{**}					
<i>Po-hid 0,1</i>	-0,37 ^{ns}	0,57 [*]	0,76 ^{**}	0,25 ^{ns}	0,75 ^{**}	-0,38 ^{ns}	0,83 ^{**}	0,76 ^{**}				
<i>Pi-hid 0,5</i>	0,00 ^{ns}	0,74 ^{**}	0,89 ^{**}	0,45 ^{ns}	0,87 ^{**}	-0,26 ^{ns}	0,89 ^{**}	0,54 [*]	0,80 ^{**}			
<i>Po-hid 0,5</i>	0,20 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	-0,51 [*]	0,07 ^{ns}	-0,67 ^{**}	0,21 ^{ns}	-0,55 ^{**}	-0,64 ^{**}	-0,70 ^{**}	-0,62 ^{**}		
<i>P-HCl</i>	-0,08 ^{ns}	0,92 ^{**}	0,93 ^{**}	0,68 ^{**}	0,69 ^{**}	-0,36 ^{ns}	0,86 ^{**}	0,40 ^{ns}	0,70 ^{**}	0,86 ^{**}	-0,43 ^{ns}	
<i>P-Res</i>	-0,09 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,46 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,47 [*]	0,43 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	0,43 ^{ns}

^{**}, ^{*} e ^{ns} Significativo a 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F a 5% de probabilidade

Ao analisar a Tabela 6, observa-se que não há correlação, da produtividade da soja com nenhuma das frações de P. O maior coeficiente de correlação observado, mas não significativo, foi com o Pi-hid 0,1 e Po-hid 0,1 (Tabela 6), esse é um indicativo de que mais de uma fração de P, principalmente orgânica, foi responsável pelo fornecimento do P para as plantas. Essa afirmativa é reforçada pelo fato das frações mais lábeis de P (Pi-bic) apresentarem alta correlação com as frações menos lábeis como Pi-hid 0,1 e P-HCl (Tabela 6), ou seja, as frações mais lábeis são tamponadas pelas menos lábeis que possuem contribuição muito mais efetiva em suprir P para as plantas, quando comparada com frações menos lábeis no RQo. Isso ocorre porque no LVd o P interage com a superfície dos coloides por diversas formas e em quantidades maiores, vide maiores valores de P nas diferentes frações no LVd em relação ao RQo.

Comparando os dois tipos de solo (Figura 5 C e Figura 6 C), observa-se que em geral maiores teores de Pi-bic foram encontrados no RQo, o que é esperado devido ao maior poder de adsorção dos solos argilosos como é o caso do LVd. O RQo também, apresentou teores de P-HCl, maiores que o Latossolo, mostrando que no Latossolo ocorre, portanto, maior dissolução dessa fração de P ligado a Ca.

No LVd, porém, observa-se maiores teores de P orgânico (Po-bic, Po-hid 0,1 e Po-hid 0,5) (Figura 5 C e Figura 6 C), que pode ser explicada pela maior resiliência dos solos mais argilosos, em função da proteção físico-química que os fortes agregados desses solos conferem à matéria orgânica (Moreira & Siqueira, 2006), conferindo assim maior contribuição do P orgânico no LVd.

Os teores de P-hid, independente do tratamento e forma de aplicação, são extremamente superiores no LVd (Figura 5 C e Figura 6 C), pelos maiores teores de óxidos de Fe e Al, apresentando alta capacidade de imobilização de P. Muitos trabalhos mostram que a fração P-hid atua como dreno do P do solo, principalmente em solos com elevados teores de Fe e Al (Rheinheimer et al., 2000; Rheinheimer & Anghinoni, 2001; Conte et al., 2003;; Santos 2005; Souza, 2005; Andrade, 2005).

Nos dois solos, o P-Residual não apresentou diferença entre os clusters (Figuras 5 C e Figura 6 C), todavia, foram extremamente maiores no LVd mostrando ser essa fração muito influenciada pelo tipo de solo e pouco pelo fertilizante e/ou forma de aplicação utilizada devido a características do solo, conforme já discutido. A diferença entre a dinâmica das frações de P no LVd e RQo, pode também, ser observada através de esquema demonstrativo detalhado nas Figuras 7 e Figura 8.

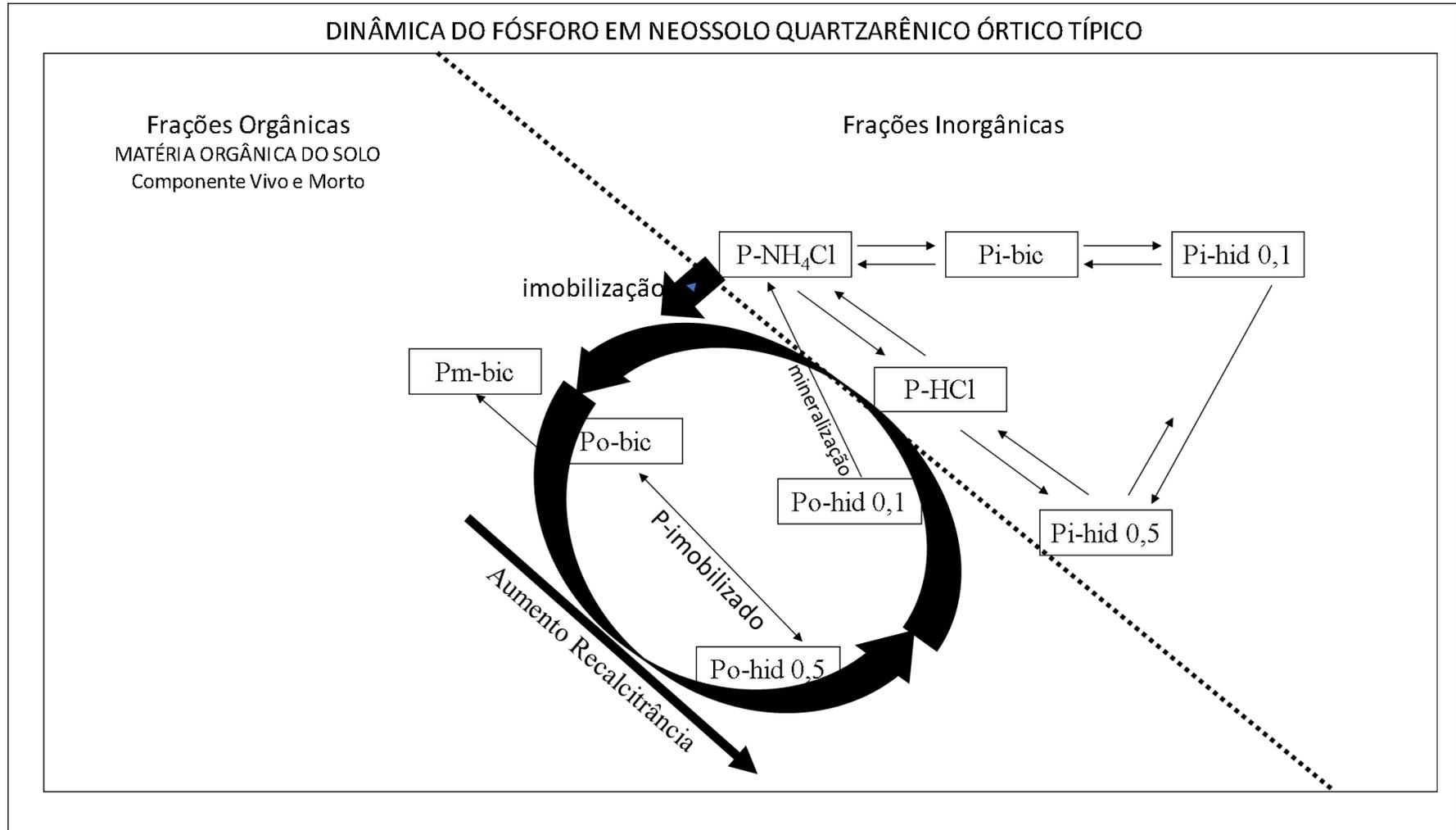


Figura 7 Esquema demonstrativo da dinâmica de fósforo entre as diferentes frações de P em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico.

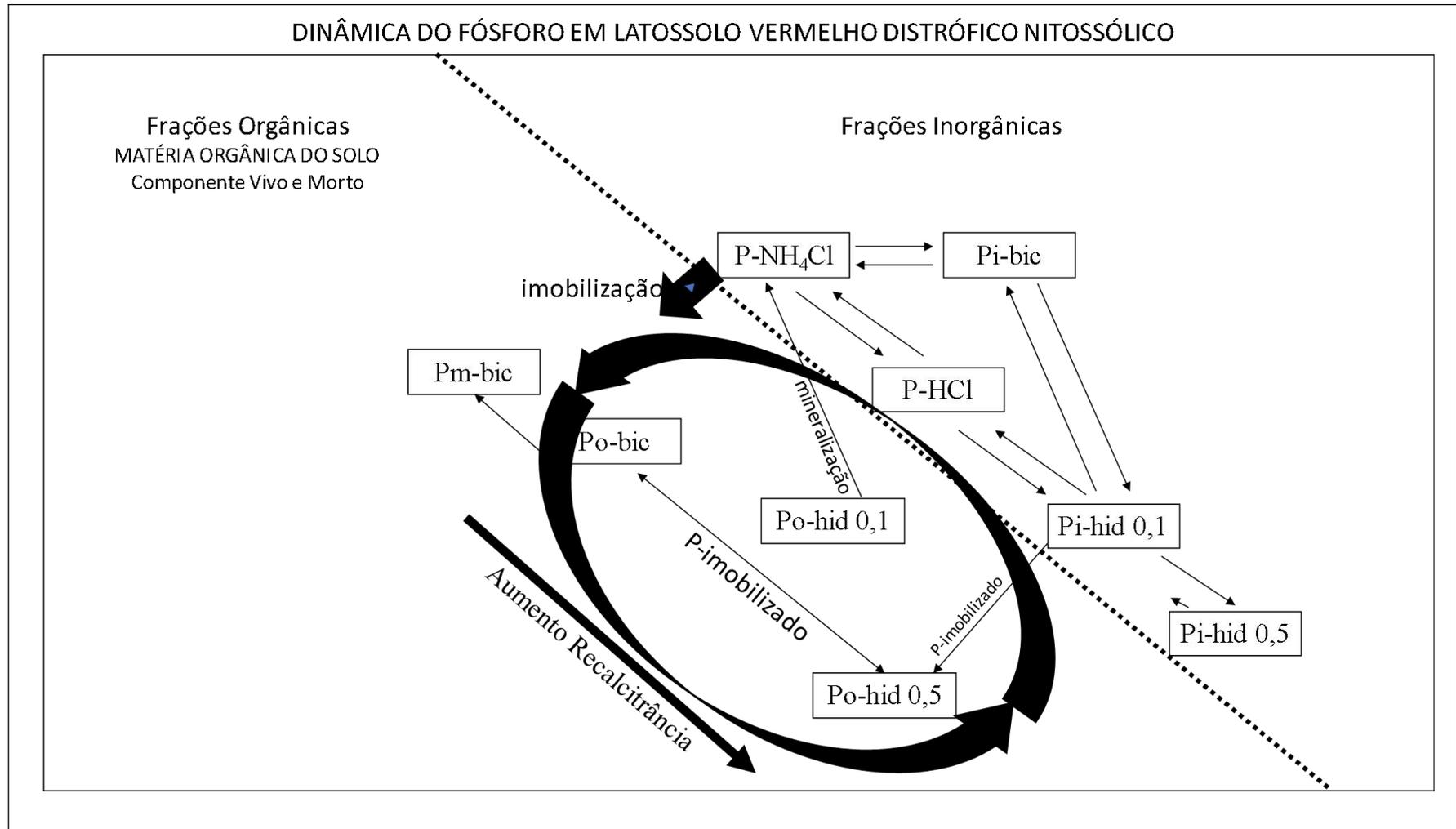


Figura 8 Esquema demonstrativo da dinâmica de fósforo entre as diferentes frações de P em um Latossolo Vermelho distrófico nitossólico (LVd)

4.4 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos pode-se concluir que as fontes e aplicações alteraram as frações de P no solo, de forma distinta no LVd e no RQo. No RQo as frações de P mais lábeis correlacionaram com a produtividade e foram tamponadas pelas frações menos lábeis e pelo aumento do P microbiano e das frações orgânicas. No LVd, as frações inorgânicas de média a baixa labilidade se correlacionaram com as frações lábeis, que tamponam o P disponível para as plantas, e apresentaram baixa influência sobre as frações orgânicas de P.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A.T. Dinâmica do fósforo em solos de várzea cultivados com feijoeiro sob influência da calagem e adubação orgânica. Lavras, UFLA, 2005. 117p. (Tese de Doutorado).

ARAÚJO, M.S.B. & SALCEDO, I.H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na região Nordeste. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.643-650, 1997.

BALL-COELHO, B.; SALCEDO, I.H.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Short and long term phosphorus dynamic in a fertilized under sugarcane. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.57, n.4, p.1027-1034, July/Aug. 1993.

BECK, M.A. & SANCHEZ, P.A. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Tropic Paleudult. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.58, n.5, p.1424-1431, Sept./Oct. 1994.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.893-9000, 2003.

CONTE, E. Atividade de fosfatase ácida e formas de acumulação de fosfato em solo no sistema plantio direto. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 65p. (Tese de Mestrado)

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, Embrapa Solos, 2013. 353p.

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

GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D. dos S.; KAMINSKI, J. Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: uso e limitações. In: ARAÚJO, A.P.; ALVES, B.J.R.. *Tópicos em Ciência do Solo*, v.8. Viçosa/MG: SBCS. p.141-188. 2013.

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 Science Society of American Journal*, Madison, v.46, n.5, p.970-976, Sep./Oct 1982.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Mapas de precipitação. Disponível em . Acesso em 01 Mai 2018.

KÖPPEN, W. *Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science*. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388p.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactorMiner: Na R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*. V.25, n.1, 2008.

LOPES, A.S. Solos sob “Cerrado”: características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFOS, 1983. 162p.

MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola: adubos e adubação*. 3.ed.. São Paulo: CERES, 1981, 596p.

MOREIRA, F.M. de S. & SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626p.

MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O.. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2ed. Lavras: Editora UFLA, 729p. 2006.

MUNIZ, A.S. Efeito da reação do solo na disponibilidade de fósforo em Latossolo Roxo, avaliada por extratores químicos e por plantas de arroz e milho, ESALQ, 1995. 146p Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

MURPHY, J.& RILEY, J.P. A modified single solution methods for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, Amsterdam, v.27, p.31-36, 1962.

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

R CORE TEAM.R: *A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, [2014].

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

RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. Distribuição de P inorgânico em sistemas de manejo de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, n.1, p.150-160, jan. 2001.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v24, n.2, p.345-354, abr./jun. 2000.

RODRIGUES, C.R. Frações de fósforo e produção da soja e do feijoeiro em sucessão a gramíneas adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados. Lavras/MG: UFLA. 113p. 2006.

SANTOS, D.R. dos; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SANTOS, J.Z.L. Frações de fósforo em solo da região do cerrado, adubados com fosfato em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. Lavras, UFLA, 2005. 65p. (Dissertação de Mestrado).

SCHMIDT, J.P.; BUOL, S.W.; KAMPRATH, E.J. Soil phosphorus dynamics during seventeen years of continuous cultivations; fractionation analyses. *Soil Science Society of American Journal*, v.60, p.1168-1172, 1996.

SOUZA, R.F. de. Dinâmica de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica, cultivados com feijoeiro. Lavras, UFLA, 2005. 141p. (Tese de Doutorado).

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

TOKURA, A.M.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C.H.; ALOVISI, A.A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.10, p.1467-1476, out. 2002.

4.6 CONCLUSÃO GERAL

Com os resultados obtidos pode se concluir a eficiência das fontes e formas de aplicação está relacionada aos teores de P disponível no solo, sendo diferente entre as safras e os tipos de solos. As fontes e formas de aplicação alteraram as frações de P no solo, de forma distinta no LVd e no RQo. No RQo as frações de P mais lábeis correlacionaram com a produtividade e foram tamponadas pelas frações menos lábeis e pelo aumento do P microbiano e das frações orgânicas. No LVd, a frações inorgânicas de média a baixa labilidade se correlacionaram com as frações lábeis, que tamponam o P disponível para as plantas, e apresentaram baixa influência sobre as frações orgânicas de P.