



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO EM AGRONOMIA**

**ALEXANDRE PAIÃO LEITE DA SILVA**

**FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM PASTAGEM SOLTEIRA E CONSORCIADA  
ADUBADA COM FONTES DE FÓSFORO**

Presidente Prudente - SP  
2018



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO EM AGRONOMIA**

**ALEXANDRE PAIÃO LEITE DA SILVA**

**FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM PASTAGEM SOLTEIRA E CONSORCIADA  
ADUBADA COM FONTES DE FÓSFORO**

Dissertação apresentada Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.  
- Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Sérgio Tiritan

Presidente Prudente - SP  
2018

633.2  
S586f

Silva, Alexandre Paião Leite da.  
Fracionamento de fósforo em pastagem solteira e  
consoiciada adubada com fontes de fósforo / Alexandre  
Paião Leite da Silva. – Presidente Prudente, 2018.  
63f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) -  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente  
Prudente, SP, 2018.

Bibliografia.

Orientador: Carlos Sérgio Tiritan

1. sistema de forragem. 2. leguminosas. 3.  
mombaça. I. Título.

Catologação na fonte: Michele Mogni – CRB 8\6204

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM PASTAGEM SOLTEIRA E CONSORCIADA ADUBADA COM FONTES DE FÓSFORO"

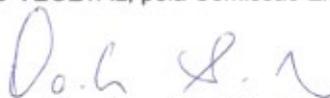
AUTOR(A): ALEXANDRE PAIÃO LEITE DA SILVA

ORIENTADOR(A): CARLOS SÉRGIO TIRITAN

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Sérgio Tiritan



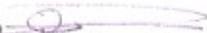
UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Dr. Diego Henrique Santos



CODASP - Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo / Presidente Prudente(SP)

Profa. Dra. Patrícia Reiners Carvalho



UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Data da realização: Presidente Prudente, 07 de dezembro de 2018.

## **DEDICATÓRIA**

A minha mãe Divina Braz Paião, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço, que fez o impossível para que eu estava a realizar esse sonho de ser engenheiro agrônomo.

Minha irmã, Tios (as) e primos (as) e minha namorada, que nos momentos em que estava ausente me dedicando aos estudos, sempre entenderam que estava correndo atrás do meu futuro. O futuro é feito a partir da constante dedicação no presente!

## AGRADECIMENTOS

A todas os amigos que fiz durante o meu mestrado e que tornaram possível a realização e o sucesso de mais essa fase em minha vida.

À minha mãe e minha irmã, que sempre estiveram presentes, sem tal apoio esse sonho não seria realidade, pelo companheirismo e zelo em todas as horas.

À toda minha família, meus avós, minhas tias e tios e meus primos, sem a torcida de vocês não existiria essa vitória.

O meu orientador, Carlos Sérgio Tiritan, por todo o suporte, pela orientação inestimável, amizade, confiança, incentivo pela confiança e pela conduta exemplar, pelo convívio, pelo apoio, pela compreensão e pela amizade que possibilitaram a realização deste trabalho

Aos meus amigos do GPAGRO, Amarildo Francisquini, Tiago Aranda Catuchi, Vinicius José Souza Peres, Luanda Torquato Feba, William Takata, Frank Kuwahara, Wellington Xavier Guerra, pelo companheirismo e por tornarem meu trabalho uma diversão.

Ao amigos e funcionários da Laboratório de solos e tecido vegetal da UNOESTE Vinicius, Gabriel, Viviane, Lu, Rodrigo Solda, Edson, Rosa, Juliene, que nunca negaram esforços, sem o apoio de vocês seria impossível finalizar meu trabalho.

A todos os professores e funcionários da UNOESTE, pelo apoio e ensino de qualidade.

Aos alunos de graduação, Douglas Celestino, Carol Honorato, Heloisa Junqueira, Jorge Sebastião, Jean Gaúcho, Cleyton Molina, pela dedicação e vontade de aprender.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço a **Fundação Agrisus**, pelos recursos concedidos para a realização deste projeto.

Ao grande amigo **Elton Anderson Aranda**, que não se encontra mais entre nós por toda dedicação e empenho para com este trabalho.

*“Cada dia dedicado àquilo que te faz bem e a buscar o que melhor há em você, faz com que qualquer ganho não seja nada, perto da felicidade que te proporciona. Busque a cada dia, mais a felicidade.” (Alexandre Paião)*

*“O único lugar aonde o sucesso vem antes do Trabalho é no dicionário.” (Albert Einstein)*

## RESUMO

### Fracionamento de fósforo em pastagem solteira e consorciada adubada com fontes de fósforo

O fósforo é nutriente indispensável para todo o ciclo da planta, fazendo parte da fotossíntese, respiração e principalmente da formação de raízes. Porém, às vezes, está indisponível para absorção da planta. O trabalho teve o objetivo de avaliar a reatividade e disponibilidade das formas de fósforo no solo, a curto e médio prazo, em cultivo de pastagem de capim mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) em consórcio com leguminosas. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, em Presidente Bernardes-SP. No delineamento experimental foram utilizados blocos casualizados, em esquema fatorial 4x3 em parcela subdividida, com quatro repetições. As parcelas são: mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) solteira com ausência da adubação nitrogenada de cobertura; mombaça solteira com adubação nitrogenada de cobertura (150 kg ha<sup>-1</sup> de N por ano); mombaça consorciado com *Macrotyloma axillare* cv.; Java e mombaça consorciado com feijão guandú anão (*Cajanus cajan*). As subparcelas são compostas de ausência de P, aplicação de P com fonte solúvel (superfosfato triplo) e aplicação de P com fonte natural reativa (Bayóvar). O solo foi amostrado anualmente, nas profundidades de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm para o fracionamento do P, que consiste na determinação sequencial de acordo com método proposto por HEDLEY. Após a análise do fracionamento houve interação dos Sistemas de Forragem e as fontes de P com os teores dos extratores  $Pi_{Hid\ 0,1}$ ,  $Pi_{HCl}$  e  $Pi_{Hid\ 0,5}$ . Para o  $Pi_{Hid\ 0,1}$  e  $Pi_{HCl}$ , por se tratarem de extratores moderadamente lábeis, é importante mantê-los em nível elevado no solo, podendo então atuarem como repositores de P. A presença ou não de uma fonte de P está diretamente ligada a presença do N, devido sua interação dentro do solo, demonstrando uma movimentação do P dentro do seu aproveitamento e sua redistribuição. Já para o  $Pi_{Hid\ 0,5}$  por ser extrator não-lábil, sua redução em uma camada mais profunda do solo, no primeiro ano, sugere que o P possa ter sido transformado em formas mais lábeis. Fica evidenciado que em solos arenosos o uso de fontes de P juntamente ao seu consórcio com leguminosa forrageira ou adubação nitrogenada geram uma redistribuição de P menos lábeis para mais lábeis no perfil do solo.

**Palavras-chave:** sistema de forragem; leguminosas; mombaça.

## ABSTRACT

### Phosphorus fractioning in single and consortia fertilized pasture with phosphorus sources

Phosphorus is an indispensable nutrient for the entire plant cycle, being part of photosynthesis, respiration and, especially, of root formation. However, it is sometimes unavailable for plant absorption. The objective of this work was to evaluate the reactivity and availability of soil phosphorus forms, in the short and medium term, in a pasture of mombaça grass (*Panicum maximum* Jacq.) in a consortium with legumes. The experiment was conducted at the Experimental Farm of Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, in Presidente Bernardes-SP. In the experimental design, randomized blocks were used, in a 4x3 factorial scheme in subdivided plot, with four replications. The plots are: mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) single with absence of nitrogen fertilization coverage; single mombaça with nitrogen fertilization coverage (150 kg ha<sup>-1</sup> of N per year); mombaça consorciado with *Macrotyloma axillare* cv. ; Java and mombaça consorciado with dwarf pigeon peas (*Cajanus cajan*). The subplots are composed of absence of P, application of P with soluble source (triple superphosphate) and application of P with natural reactive source (Bayóvar). The soil was sampled annually at depths of 0 - 10 cm and 10 - 20 cm for the fractionation of P, which consists of the sequential determination according to the method proposed by HEDLEY. After the analysis of the fractionation there was interaction of the Forage Systems and the sources of P with the contents of the extractors  $Pi_{Hid\ 0,1}$ ,  $Pi_{HCl}$  and  $Pi_{Hid\ 0,5}$ . For  $Pi_{Hid\ 0,1}$  and  $Pi_{HCl}$ , because they are moderately labile extractors, it is important to keep them at a high level in the soil, and they can act as P repositories. The presence or not of a P source is directly linked the presence of N, due to its interaction within the soil, demonstrating a movement of the P within its utilization and its redistribution. As for  $Pi_{Hid\ 0,5}$  because it is a non-labile extractor, its reduction in a deeper layer of soil in the first year suggests that P may have been transformed into more labile forms. It is evidenced that in sandy soils the use of sources of P together with its consortium with forage legume or nitrogen fertilization generate a redistribution of P less labile to more labile in the soil profile.

**Key-words:** Feed System; legumes; mombaça.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Acumulado de chuva (mm) e média de temperatura (°C) mensal nos anos de 2015, 2016 e 2017.....	26
Figura 2.	Disposição dos tratamentos na área experimental.....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Características químicas do solo nas profundidades de 0 – 20 e 20 – 40 cm, determinadas em dezembro de 2014.....	28
Tabela 2.	Análise de fertilidade do solo na camada de 0 – 10 cm nos sistemas de forragem (SF) e fontes de P. Presidente Bernardes-SP, ano agrícola 2015/16.....	34
Tabela 3.	Desdobramento da interação significativa entre sistema de forragem e fontes de P, da fertilidade do solo na camada de 0 – 10 cm solo. Presidente Bernardes-SP, ano agrícola 2015/16.....	35
Tabela 4.	Análise de fertilidade do solo na camada de 10 – 20 cm nos sistemas de forragem (SF) e fontes de P. Presidente Bernardes-SP, ano agrícola 2015/16.....	37
Tabela 5.	Análise de fertilidade do solo na camada de 0 – 10 cm nos sistemas de forragem (SF) e fontes de P. Presidente Bernardes-SP, ano agrícola 2016/17.....	38
Tabela 6.	Desdobramento da interação significativa entre sistema de forragem e fontes de P, da fertilidade do solo na camada de 0 – 10 cm solo. Presidente Bernardes-SP, ano agrícola 2016/17.....	39
Tabela 7.	Análise de fertilidade do solo na camada de 10 – 20 cm nos sistemas de forragem (SF) e fontes de P. Presidente Bernardes-SP, ano agrícola 2016/17.....	40
Tabela 8.	Teores médios de $P_{resina}$ no solo, extraído com resina ( $P_{resina}$ ), em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.....	41
Tabela 9.	Desdobramento da interação significativa entre o Sistema de Forragem e fontes de P, dos teores médios de $Pi_{resina}$ no solo, extraído com Resina trocadora de ânions; referente a aplicação de P em cobertura, no ano 2015.....	43
Tabela 10.	Teores médios de $Pi_{bic}$ no solo, extraído com $NaHCO_3$ , em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.....	45
Tabela 11.	Teores médios de $Po_{bic}$ no solo, extraído com $NaHCO_3$ , em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.....	43
Tabela 12.	Teores médios de $Pi_{hid\ 0,1}$ no solo, extraído com $NaOH\ 0,1\ mol\ l^{-1}$ , em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.....	50
Tabela 13.	Desdobramento da interação significativa entre o Sistema de Forragem e fontes de P, dos teores médios de $Pi_{hid\ 0,1}$ no solo, extraído com $NaOH\ 0,1\ mol\ l^{-1}$ ; referente a aplicação de P em	

	cobertura, no ano 2015.....	45
Tabela 14.	Teores médios de $P_{o_{hid\ 0,1}}$ no solo, extraído com NaOH 0,1 mol L <sup>-1</sup> , em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.....	47
Tabela 15.	Teores médios de $P_{i_{HCl}}$ no solo, extraído com HCl 1,0 mol l <sup>-1</sup> ; em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.....	48
Tabela 16.	Desdobramento da interação significativa entre o Sistema de Foragem e fontes de P, dos teores médios de $P_{i_{HCl}}$ no solo, extraído com HCl 1,0 mol l <sup>-1</sup> ; referente a aplicação de P em cobertura, no ano 2015.....	49
Tabela 17.	Teores médios de $P_{i_{hid\ 0,5}}$ no solo, extraído com NaOH 0,5 mol l <sup>-1</sup> ; em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.....	50
Tabela 18.	Desdobramento da interação significativa entre o Sistema de Foragem e fontes de P, dos teores médios de $P_{i_{hid\ 0,5}}$ no solo, extraído com NaOH 0,5 mol l <sup>-1</sup> ; referente a aplicação de P em cobertura, no ano 2015.....	51
Tabela 19.	Teores médios de $P_{o_{hid\ 0,5}}$ no solo, extraído com NaOH 0,5 mol l <sup>-1</sup> ; em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.....	52
Tabela 20.	Teores médios de $P_{residual}$ no solo; em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.....	54

## **LISTA DE SIGLAS**

SF – Sistema de Forragem

SFT – Super fosfato Triplo

Mombaça com N – Capim Mombaça mais Nitrogênio

Mombaça sem N – Capim Mombaça sem Nitrogênio

Mombaça com G – Capim mombaça mais Feijão Guandú

Mombaça com J – Capim Mombaça mais Java

## **LISTA DE SIMBOLOS**

P – Fósforo

Ca – Cálcio

Fe – Ferro

N - Nitrogênio

Al – Alumínio

S – Enxofre

L – Litros

T – Tonelada

kg – quilograma

VC – Valor cultural

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Específico.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Fertilizantes Fosfatados e Solo.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>P inorgânico .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>P orgânico.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4</b>	<b>Fracionamento do fósforo.....</b>	<b>22</b>
<b>3.5</b>	<b>Consórcio de pastagens com leguminosas.....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1</b>	<b>Características do local.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2</b>	<b>Tratamentos e Delineamento Experimental.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3</b>	<b>Instalação do Experimento.....</b>	<b>28</b>
<b>4.4</b>	<b>Avaliações.....</b>	<b>29</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Mombaça, java e Guandu.....</b>	<b>29</b>
<b>4.5</b>	<b>Fertilidade do solo.....</b>	<b>30</b>
<b>4.5.1</b>	<b>Fracionamento de Fósforo.....</b>	<b>30</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Etapas do fracionamento.....</b>	<b>31</b>
<b>4.6</b>	<b>Análise dos Dados.....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>5.1</b>	<b>Fracionamento e as formas de P do solo.....</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O fósforo é um nutriente indispensável para todo o ciclo da planta, fazendo parte da fotossíntese, respiração e principalmente na formação de raízes. Um fator limitante para a sua disponibilidade no solo são as reações de adsorção em colóides minerais, precipitação ou conversão em formas orgânicas. Assim como o P liberado pelos fertilizantes fosfatados pode apresentar-se no solo em formas de maior ou menor complexidade, ligado, principalmente, a compostos de Fe, Al, Ca e à matéria orgânica do solo (MOS) (RAIJ, 2004).

Além em Latossolos frequentemente encontra-se deficiência de fósforo disponível para as culturas. Esta deficiência é constatada mesmo quando seu teor total é elevado, em consequência da interação desse nutriente com atributos do solo e sua mineralogia (ROLIM NETO et al. 2004; BARBIERI, 2007).

Vários são os atributos do solo que podem influenciar a adsorção de fósforo, destacando-se o tipo e teor de argila dos colóides amorfos e também o teor da matéria orgânica (NOVAIS; SMYTH, 1999). Nas condições de reação ácida à moderadamente ácida, os óxidos de ferro e alumínio apresentam-se preferencialmente com cargas positivas, sendo assim capazes de reter em sua superfície vários tipos de ânions, em especial os íons fosfatos. Nos óxidos e na Caulinita também ocorre adsorção específica de fosfato nos sítios ácidos de Lewis (KAMPRATH, 1977; VOLKSWEISS; RAIJ, 1977).

Para que haja melhor entendimento da disponibilidade de P, vários métodos têm sido desenvolvidos para fracionar suas formas no solo e, com isso, estudar suas transformações. A técnica de fracionamento de P proposta por (HEDLEY; STEWART; CHAWHAN, 1982), que usa, sequencialmente, extratores de menor à maior força de extração de P nos solos, tem sido utilizada em estudos de fracionamento do P.

Considerando a essencialidade do fósforo para o desenvolvimento das plantas, e o fosfato um recurso natural não renovável, deve-se buscar formas de utilizá-lo eficientemente. Uma prática que resulta em aumento na recuperação do P, adicionado ao solo, é a implantação de um sistema de rotação de culturas ou sistemas de consórcios com espécies de alta eficiência em extrair e utilizar o P. Plantas que possuem mecanismos estruturais, bioquímicos e fisiológicos, que

permitam um maior aproveitamento do fósforo do solo podem ser utilizadas para se alcançar uma alta eficiência agronômica da adubação fosfatada (FERNANDES; MURAOKA, 2002; SOUSA; LOBATO; REIN, 2004).

A deficiência de fósforo é um dos fatores limitantes da produção na região tropical (FAGERIA; BALIGAR, 2003; FAGERIA; BALIGAR, 2008). Isso ocorre porque os solos dessa região são pobres em P natural e têm alta capacidade de imobilização de P (FAGERIA; BALIGAR, 2003; FAGERIA; BALIGAR, 2008).

A aplicação de fosfatos reativos têm sido uma boa alternativa para diminuir a fixação de P nos solos e a escolha dessas fontes, geralmente, baseia-se na melhor relação custo/benefício (FREIRE et al., (2005). As fontes de fósforo de baixa solubilidade apresentam menor fixação e maior efeito residual no solo (XIONG et al., 2002). Paralelamente, o consórcio de pastagem com leguminosas forrageiras, pode ser uma estratégia de aumentar a eficiência na disponibilização de P para as gramíneas, por meio da acidificação gradual da rizosfera promovida pela leguminosa, que libera  $H^+$ , o que pode aumentar a solubilização do P da fonte natural reativa e a absorção do mesmo pela forrageira.

## 2 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho foi avaliar a reatividade e disponibilidade das formas de fósforo no solo a curto e médio prazo em cultivo de pastagem de capim mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) em consórcio com leguminosas.

### 2.1 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito do uso de fertilizantes fosfatados com diferentes solubilidades aplicados em pastagem de *Panicum maximum* cv. Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) Solteira e consorciada com feijão guandu (*Cajanus cajan*) ou java (*Macrotyloma axillares*) cv. Java.
- Avaliar a fertilidade do solo e o fracionamento do P (P orgânico e P inorgânico), em áreas que receberam adubação fosfatada em 10 a 22 meses.
- Eficiência do método de extração sequencial do P.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Fertilizantes Fosfatados e Solos

Os fertilizantes fosfatados minerais são obtidos de fontes naturais não renováveis e finito (ZAPATA; ROY, 2004). Considerando-se que o P é um elemento essencial para a produção agrícola, é interessante o desenvolvimento de tecnologias que maximizem a eficiência de utilização deste nutriente, principalmente em solos tropicais.

Os solos tropicais caracterizam-se como fortes drenos de P, nos quais boa parte do P adicionado, via adubação, é retida à fase sólida, com baixa taxa de retorno do nutriente às formas mais lábeis (BEDIN et al. 2003). Portanto, é de grande importância conhecer quais as formas o P no solo. Devido a baixa eficiência, o P orgânico tem maior importância em solos não cultivados e sob florestas, onde a matéria orgânica está mais preservada (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Dessa forma, nos solos cultivados, o P inorgânico torna-se mais importante do que o orgânico, especialmente naqueles com baixos teores de matéria orgânica e que receberam adubações fosfatadas (RANNO; SILVA; MALLMANN, 2007).

Com forme um método bastante empregado por Hedley, Stewart e Chawhan (1982), se baseia na extração sequencial de formas lábeis, pouco lábeis e não-lábeis, por meio da qual as formas inorgânicas e orgânicas são separadas conforme sua disponibilidade às plantas. Por isso, o interesse na utilização deste método para o estudo da dinâmica do P, procedimento desenvolvido em solos das regiões tropicais e subtropicais, especialmente, no uso de fertilizantes e o manejo do solo (SANTOS et al., 2000).

Apesar do P ser o décimo segundo elemento químico mais abundante na crosta terrestre (SCHULZE, 1989), é o segundo elemento que mais limita a produtividade nos solos tropicais (HOLFORD, 1997). Esse comportamento é consequência de sua habilidade em formar compostos de alta energia de ligação com os colóides, conferindo-lhe alta estabilidade na fase sólida.

De acordo com SOUZA JÚNIOR et al. (2012) nos solos mais intemperizados, contendo valores de pH inferior a 6,5 e teores de  $\text{Ca}^{+2}$  mais baixo do

que o recomendado, a maioria do P inorgânico (Pi) ocorreu nas formas complexadas de P ligado à Al (P-Al) e de P ligado à Fe (P-Fe), enquanto nos solos alcalinos menos intemperizados com valores de pH > 7 e com teores elevados de  $\text{Ca}^{+2}$  o Pi ocorreu, principalmente, na forma de P ligado a Ca (P-Ca).

Tem-se evidenciado, também, a existência de diferenças entre os fosfatos naturais importados (fosfatos reativos, de origem sedimentar) e os nacionais (fosfatos de baixa reatividade, de origem ígnea ou metamórfica) quanto ao potencial de suprimento de P. Os fosfatos reativos apresentam resultados promissores para uso direto na adubação em diversas combinações de culturas e sistemas de manejo do solo (KAMINSKI; PERUZZO, 1997; SOUSA; LOBATO, 2003). Assim, a adubação fosfatada na implantação dos capins *Urochloa brizantha* cv. Piatã e (*Panicum maximum* Jacq.) cv. Mombaça estimula o perfilhamento e proporciona incrementos na produtividade de forragem (NERES et al., 2012).

Ao considerar a produção acumulada de vários cultivos após a aplicação de P, verifica-se que o desempenho de alguns fosfatos naturais pode equiparar-se ao das fontes mais solúveis. Isso se explica pelo fato de o P prontamente liberado dos fertilizantes solúveis passar para formas menos disponíveis, enquanto os fosfatos naturais vão sendo solubilizados no decorrer do tempo (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Além das propriedades do solo, a eficiência da adubação fosfatada varia em função do fertilizante, manejo e espécie cultivada (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Os fertilizantes que possuem maior solubilidade compreendem os superfosfatos simples e triplo, fosfatos monoamônico (MAP) e diamônico (DAP), os quais respondem por mais de 90% do P aplicado nas lavouras brasileiras (CAIONE et al., 2011).

Já os fosfatos de baixa reatividade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, fazem com que ocorra uma redução nos processos de fixação e podem favorecer um melhor aproveitamento do nutriente pela planta, com prolongado efeito residual (XIONG et al., 2002; PROCHNOW; FRANCISCO; BRAGA, 2006; CAIONE et al., 2011).

Desta forma, o uso de fosfatos reativos têm sido uma boa alternativa para aumentar a eficiência de uso do P e reduzir custos, já que esses fertilizantes

apresentam menores valores por unidade de P (FREIRE; FONSECA; CANTARUTTI, 2005).

Entretanto, fosfatos naturais reativos, a exemplo do Bayóvar, um fosfato de origem de rochas sedimentares com elevados teores de fósforo e cálcio, com alta solubilidade em ácido cítrico a 2%, alto valor corretivo e granulometria fina, o fosfato Bayóvar fornece elevados teores de fósforo e cálcio, além de contribuir para correção do solo. Estes fosfatos apresentam eficiência agrônômica crescente, após o segundo ano de aplicação do fertilizante, comprovando suas características de disponibilização gradual de P no solo (CAIONE et al., 2013), podendo ao longo de diversos anos de cultivo, ter efeitos similares aos dos fosfatos solúveis (RESENDE et al., 2006).

### 3.2 P inorgânico

O P na solução do solo está presente na forma de íons ortofosfatos ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) derivados do ácido ortofosfórico,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (SANTOS et al., 2002). Isto é, a forma de ocorrência desses íons fosfatos é principalmente 8 (oito) formas, independentes do pH, sendo a forma  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  mais comum em solos ácidos, e o  $\text{HPO}_4^{2-}$  comum em solos alcalinos. O íon  $\text{PO}_4^{3-}$  ocorre em valores extremamente baixos e não é significativo na nutrição das espécies de plantas cultivadas. O íon  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  é a forma mais prontamente absorvida pelas plantas, mas a forma  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  também pode ser requerida por algumas espécies (TROEH; THOMPSON, 2005; SANCHEZ, 2007; SYERS et al., 2008).

O P inorgânico é encontrado predominantemente, ligado aos compostos de Fe e Al em solos ácidos, e Ca em solos calcários (LINDSAY, 1979). O produto final da reação entre hidróxidos de Fe e Al são a strengita ( $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e a variscita ( $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), respectivamente. Já os compostos de Ca com o P são vários, sendo que a sequência desses, do menos ao mais insolúvel, é a seguinte: fosfato dicálcico ( $\text{CaHPO}_4$ ), fosfato tricálcico [ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ], fosfato octocálcico [ $\text{Ca}_8\text{H}(\text{PO}_4)_6$ ], hidroxiapatita [ $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ] e fluorapatita [ $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$ ] (SIQUEIRA et al., 2004).

Nota-se que as formas de P ligados ao Ca, Fe e Al podem existir em estado mais ou menos lábil, sendo que o tempo de formação desses compostos e o

pH do solo são os principais fatores que influenciam na labilidade do P. Logo, o pH em torno de 6,5 é o mais favorável para a disponibilidade de P, sendo esse o valor em que os fosfatos de Fe e Al são tão solúveis quanto os fosfatos de Ca (RAIJ, 1991; TROEH; THOMPSON, 2005).

Dessa forma, a adsorção dos íons fosfatos ocorre inicialmente com a atração eletrostática, seguida de uma adsorção específica ou quimiossorção, principalmente, da borda dos minerais de argila, oxihidróxidos de Fe e Al. O íon fosfato pode ser adsorvido por ligações monodentadas, em que apenas um oxigênio do fosfato é ligado a um metal, ou ligações bidentadas, com a ligação de dois oxigênios com um metal, ou ainda binucleada, com a ligação de dois oxigênios a dois átomos de metal. A estabilidade do fosfato com o metal é crescente entre as ligações monodentadas para as bidentadas e binucleadas (PARFITT, 1978).

Assim, quando o íon fosfato é adsorvido por hidróxidos de Fe e Al há a substituição de dois íons adjacentes da hidroxila, e por isso o fosfato fica fortemente preso nesses metais (TROEH; THOMPSON, 2005). A adsorção do P aos minerais que contém Ca inicia-se com a quimiossorção, seguida pela cristalização, e crescimento do cristal pela formação de novas camadas, caracterizando o envelhecimento dos fosfatos de Ca (PARFITT, 1978).

Logo, o envelhecimento ou oclusão do P adsorvido aos oxihidróxidos de Fe e Al se dá com o passar do tempo, formando compostos binucleados (SANTOS et al., 2008).

### **3.3 P orgânico**

O P orgânico faz parte dos materiais orgânicos ou da matéria orgânica do solo e é liberado após a degradação destes compostos, dessa forma o P orgânico pode ser adquirido por micro-organismos ou por plantas, após reação de hidrólise (SANCHEZ, 2007). Mas também, o P orgânico pode ser estabilizado como parte da matéria orgânica do solo ou por interações do grupo fosfato com minerais do solo (MOUCAWI et al., 1981). A maior parte do P orgânico ocorre na forma de monoésteres, como o inositol (30-50% do P orgânico total), seguido pelos ácidos

nucléicos e nucleotídeos (3-5%), fosfolipídeos e outras formas em pequenas concentrações (SANTOS et al., 2002; SIQUEIRA et al., 2004).

A composição típica do P orgânico retido no solo e do P orgânico livre na solução é bastante diferente, devido à preferência de estabilização das formas em que o P orgânico é encontrado (STEWART; TIESSEN, 1987).

Há alta carga de fosfatos nos inositóis, já que permitem rápida adsorção destes a minerais do solo, além de uma extensiva interação com sesquióxidos, o que protege os inositóis da degradação. Fosfodiésteres, como ácidos nucleicos e fosfolipídeos, possuem menor densidade de cargas e seus grupos fosfatos são considerados protegidos de interações iônicas, o que os torna acessíveis aos micro-organismos e ataques de enzimas, ou seja, isso explica sua menor concentração no solo (TATE, 1984). A presença de  $Fe^{3+}$  pode retardar a degradação de ésteres, mas ao mesmo tempo reduz a estabilidade de P (MOUCAWI et al., 1981). Ainda, ácidos fúlvicos associados com P, constituem uma larga fração de P no solo e são considerados relativamente lábeis, já os ácidos húmicos associados com P são menos afetados em curto prazo (SHARPLEY, 1995).

Portanto, o P orgânico pode ser encontrado em formas lábeis e pouco lábeis no solo. Quando o P orgânico ocorre em macromoléculas, há a necessidade de degradação em moléculas menores, suficientemente pequenas para serem mineralizadas pelos micro-organismos, logo, há forte interação de fosfatos orgânicos com sesquióxidos ou com a matéria orgânica exige a ação de enzimas que atuem diretamente nessas ligações (NATH, 1969).

A reação com enzimas fosfatases é a principal forma de mineralização do P orgânico. Essas enzimas podem ser produzidas por micro-organismos ou plantas em situações de baixa disponibilidade de P inorgânico (SIQUEIRA et al., 2004).

As formas lábeis de P com o processo de intemperização do solo, a participação do P orgânico no total de P do solo tende a aumentar de acordo com o sistema de cultivo, sendo maior nos sistemas que visam a conservação de resíduos vegetais sobre o solo. Dessa forma, a dinâmica do P no solo pode passar a ser governada por processos biológicos (CROSS; SCHLESINGER, 1995; SHARPLEY, 1995; SANTOS et al., 2008).

### 3.4 Fracionamento do fósforo

Por meio de uma extração sequencial é possível fracionar o P inorgânico e orgânico de acordo com a estabilidade química do nutriente P em relação a reagentes específicos (SHARPLEY, 1995).

O método de fracionamento, que contempla as frações orgânicas de fósforo e introduz a ideia de sua labilidade foi proposto por (HEDLEY; STEWART; CHAWHAN, 1982).

Na técnica utilizada para o fracionamento são adicionados a uma mesma amostra de solo, sequencialmente, extratores de menor à maior força de extração, os quais removem P inorgânico (Pi) e orgânico (Po), das formas mais disponíveis às mais estáveis. Os extratores utilizados nas análises são Resina Trocadora de Ânions (Pi<sub>RTA</sub>), NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 8,5 (Pi<sub>bic</sub> e Po<sub>bic</sub>); NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> (Pi<sub>Hid</sub> e Po<sub>Hid</sub>); NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>; HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> (Pi<sub>HCl</sub>) e digestão com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Pi<sub>residual</sub>).

Em decorrência dos solos apresentarem variações na distribuição das formas do P inorgânico (Pi), P orgânico (Po) e nos teores de P-total (Pt), influenciados por diversos fatores, provocando efeitos sobre a disponibilidade, em sua maioria os solos apresentam baixos teores de P. O Pi do solo inclui as frações extraídas com resina (P<sub>resina</sub>) e bicarbonato de sódio (Pi<sub>bic</sub>), sendo essas consideradas frações disponíveis. Hidróxido de sódio, sendo Pi<sub>Hid</sub> - 0,1 mol L<sup>-1</sup>, fração ligada a Fe e Al, estas frações apresentam comportamento sensível ao manejo do solo e suas modificações ocorrem concomitantemente, independentemente de sua labilidade, sendo tamponantes da solução do solo, e a fração Pi<sub>Hid</sub> - 0,5 mol L<sup>-1</sup>, que apesar de ter comportamento similar com a Pi<sub>Hid</sub> - 0,1 mol L<sup>-1</sup>, seus efeitos são observados mais tardiamente devido a sua forte interação com o solo.

A fração extraída com ácido clorídrico (P<sub>HCl</sub>), a qual pode ocorrer associação com os minerais primários, fosfatos de cálcio e também em fertilizantes fosfatados sem solubilização prévia (fosfatos naturais). As frações orgânicas de P incluem o Po<sub>bic</sub>, Po<sub>Hid</sub> (0,1 mol L<sup>-1</sup>) e Po<sub>Hid</sub> (0,5 mol L<sup>-1</sup>).

A fração de P residual engloba as formas inorgânicas e orgânicas mais recalcitrantes, sendo correspondente à cerca de metade do P total recuperado (RANNO; SILVA; MALLMANN, 2007; SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008; GATIBONI, 2003).

Os métodos existentes não são capazes de remover apenas o P lábil do solo, sendo insensíveis as outras formas de P, e o mesmo é válido para a fração moderadamente lábil. O que pode se observar com uma maior exatidão é a determinação de P total do solo, por métodos que destroem completamente a matriz do solo e liberam todas as formas de P.

Dessa forma, a divisão de formas lábeis, moderadamente lábeis, e não lábeis dentro das análises laboratoriais é ilustrativa, servindo apenas para demonstrar que há formas de P com maior ou menor capacidade de suprir o P na solução do solo (SANTOS et al., 2008; GATIBONI et al., 2013). Além disso, o método de fracionamento é bastante dispendioso e não é possível inseri-lo nas análises de rotina (SYERS et al., 2008).

Contudo, sabe-se que as formas de P mais lábeis possuem menor energia de ligação com os componentes do solo, e que as menos lábeis possuem ligações do tipo bidentada ou binucleada. Nesse contexto, as técnicas de fracionamento são bastante válidas no meio científico para compreender a distribuição das formas de P no solo (SHARPLEY, 1995; HINSINGER, 2001).

Assim, o agrupamento das frações de P é de acordo com a sua disponibilidade, ou seja, a fração de P inorgânico extraída com  $\text{NaHCO}_3$  é sempre bastante lábil para as plantas. Já nos solos pouco intemperizados há mais frações moderadamente lábeis que os solos bastante intemperizados, sendo que todas as frações de P orgânico e o P inorgânico extraído com  $\text{NaOH}$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  são consideradas moderadamente lábeis em solo pouco intemperizados, e apenas a fração de P inorgânico extraída com  $\text{NaOH}$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  é considerada moderadamente lábil em solos mais intemperizados (GUO; YOST, 1998).

A fração do P residual é mais dificilmente acessada em solos bastantes intemperizados. As frações de P extraídas com a RTA e  $\text{NaHCO}_3$  possuem estreita relação entre si, e possuem grande correlação com a absorção de P pelas plantas, atuando na reposição de P da solução do solo (GATIBONI et al., 2007).

### 3.5 Consórcio de pastagens com leguminosas

Dentre os mecanismos que aumentam a aquisição de P pelas plantas, destacam-se aqueles que aumentam a extensão de solo explorado; aqueles que envolvem interações ou simbioses com microorganismos; e aqueles que aumentam a solubilidade de fosfatos adsorvidos ou precipitados (DAKORA; PHILLIPS, 2002).

Existe uma grande diferença no potencial produtivo e de absorção de P do solo entre as espécies cultivadas, pois há diferenças nas estratégias desenvolvidas pelas raízes para aumentar a aquisição deste nutriente, e nem todas as espécies possuem as adaptações necessárias (CHIEN; MENON, 1995; DAKORA; PHILLIPS, 2002).

As leguminosas forrageiras podem ser usadas como alternativa na melhoria de pastagens cultivadas nas regiões tropicais. Ressalta-se, entretanto, a necessidade de condução de mais trabalhos avaliando a persistência das leguminosas nas pastagens em consorciação com as gramíneas, pois a compreensão deste mecanismo é um dos pontos mais importantes à manutenção do sistema de produção (CARVALHO; PIRES, 2008).

A principal expectativa no uso de leguminosas em pastagens é a melhoria da produção animal e a redução dos custos de produção, quando comparados a gramíneas submetidas exclusivamente à adubação com nitrogênio mineral (LOPES et al., 2012).

O aumento da concentração de P na rizosfera é resultado de mecanismos de algumas plantas que são capazes de aumentar a disponibilidade de P inorgânico. A deficiência de P no solo induz a síntese de enzimas fosfatases (DUFF et al., 1994), seguido pelo aumento da liberação dessas enzimas junto dos exsudados das raízes (HINSINGER, 2001). A exsudação de ácidos orgânicos atua em papel fundamental na nutrição mineral das plantas (DAKORA; PHILLIPS, 2002), principalmente na disponibilização de P em solos ácidos (NEUMANN; RÖMHELD, 1999; HU et al., 2005). Os ácidos orgânicos são capazes de competir pelos sítios de adsorção dos compostos de Ca, Fe, Mn, e Al presentes no solo, e então reduzir adsorção do P nesses compostos. Os ácidos orgânicos também são capazes de formar complexos com esses metais reduzindo a adsorção de P no solo (JONES, 1998; HU et al., 2005; GUPPY et al., 2005).

Além das raízes sustentarem as plantas, absorvem água e nutrientes, liberam compostos orgânicos e inorgânicos na rizosfera. Esses compostos causam mudanças químicas no ambiente das raízes, alterando a população microbiana e disponibilidade de nutrientes, assim como a simbiose com rizóbios, em que a parte do suprimento de N é oriunda da fixação biológica de N<sub>2</sub>, nota-se maior absorção de cátions que de ânions, com a consequente liberação de H<sup>+</sup> pelas raízes e redução do pH da rizosfera (FAGUEIRA; STONE, 2009).

Assim, a acidificação da rizosfera em leguminosas dependentes do N simbiótico está associada ao maior aproveitamento de fontes de P pouco solúveis e à maior aquisição de Fe e de solos calcários (FAGUEIRA; STONE, 2009)

De acordo com os resultados obtidos por (NERES et al., 2012) observou-se a substituição do N pelo consórcio com feijão-guandú mostrou-se uma alternativa promissora, além da redução de custos com insumos (adubação nitrogenada).

Segundo Azevedo et al. (2007) a cultura do feijão-guandú possui um enorme potencial para exercer múltiplas funções nos sistemas de produção agrícola, além de gerar produtos de elevado valor biológico para melhoria do meio ambiente em geral. Por seu valor nutritivo, ele pode ser utilizado na alimentação humana, como também na alimentação animal. Necessita ser melhor explorada em locais onde seu uso ainda é limitado.

Um estudo de quatro anos realizado por Bonamigo (1999) com feijão-guandú, mostrou uma produção de forragem no verão, de 11 t de matéria seca ha<sup>-1</sup>, com fixação simbiótica de 505 kg de N ha<sup>-1</sup>, já no inverno, a produção de forragem foi de 5 t de matéria seca ha<sup>-1</sup>, sendo equivalente cerca de 144 kg de N ha<sup>-1</sup> e a 320 kg de ureia ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O feijão-guandú quando utilizado em pastagens consorciadas, determina um aumento no crescimento e na palatabilidade das gramíneas, devido, principalmente, ao fornecimento contínuo e efetivo de N para as gramíneas, o que tem demonstrado um aumento no seu teor de proteína.

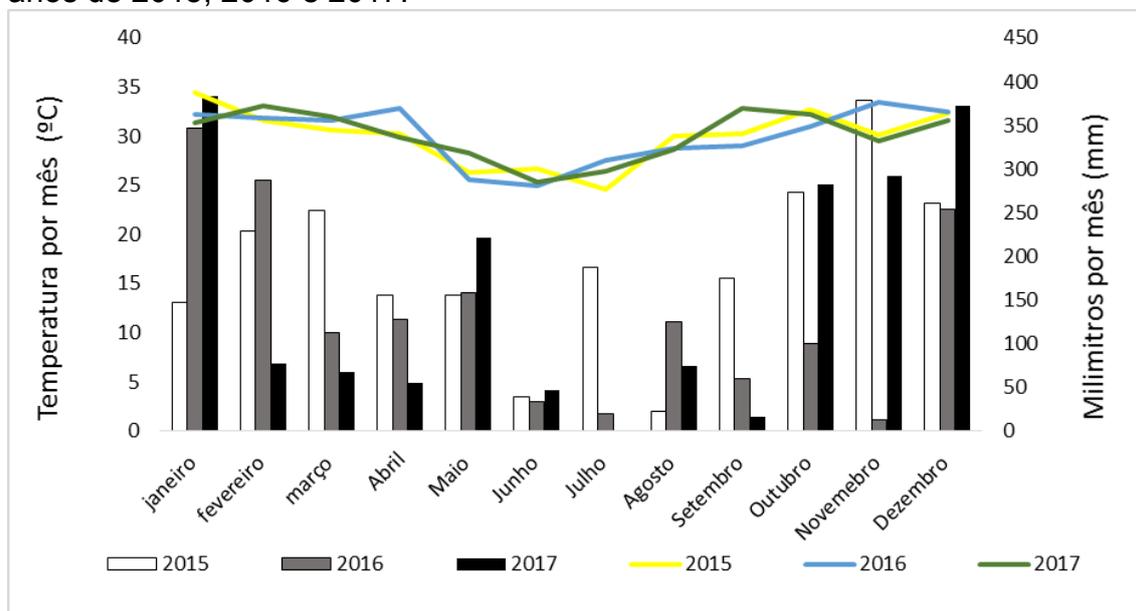
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Características do local

A instalação do experimento ocorreu em outubro de 2015 e foi conduzido por um período de três anos, na Fazenda Experimental da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, em Presidente Bernardes-SP, em um solo classificado como Argissolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006), com relevo suave ondulado e teor de argila de  $160 \text{ g ha}^{-1}$  na camada de 0 - 20 cm.

A localização da área experimental está definida pelas coordenadas geográficas:  $22^{\circ} 07' 32''$  Latitude Sul e  $51^{\circ} 23' 20''$  Longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 475 metros. O clima da região de Presidente Prudente - SP, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, e as condições climáticas observadas no período de condução do experimento está na FIGURA 1.

FIGURA 1. Acumulado de chuva (mm) e média de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) mensal nos anos de 2015, 2016 e 2017.

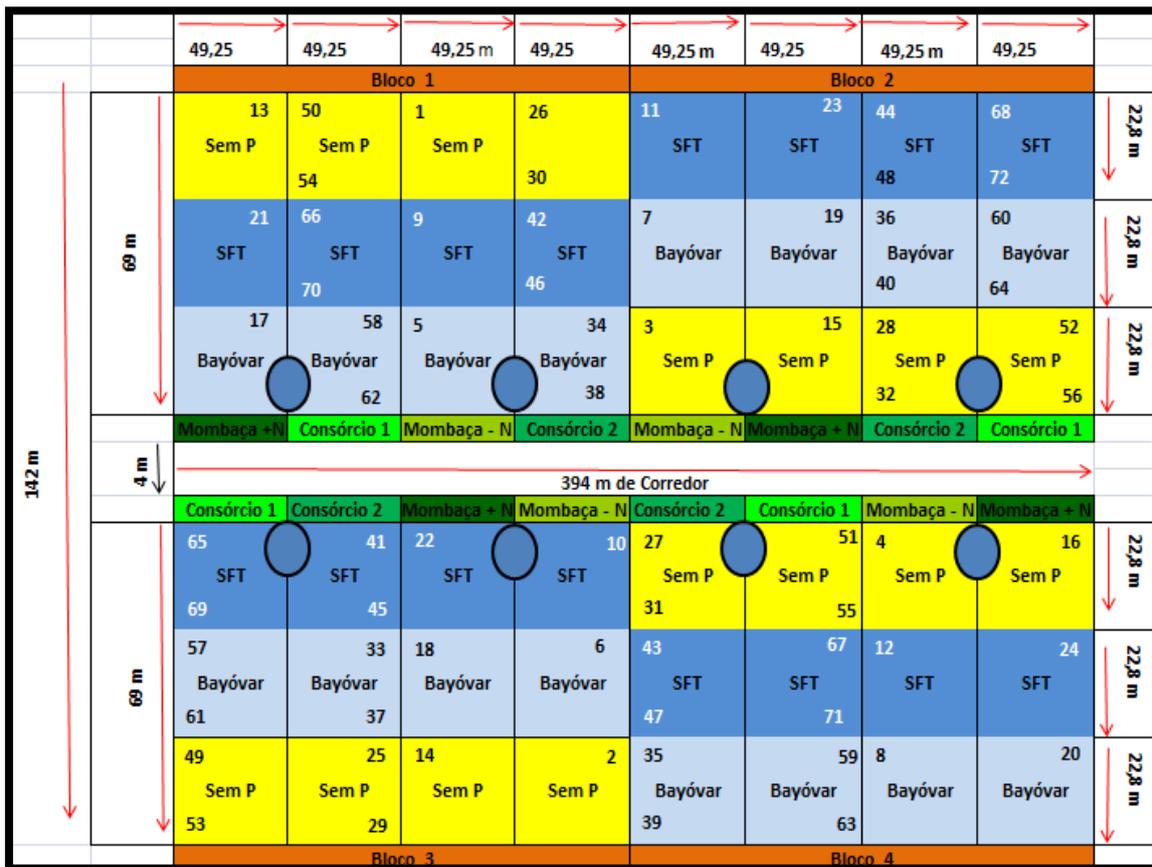


Fonte: O Autor (2018)

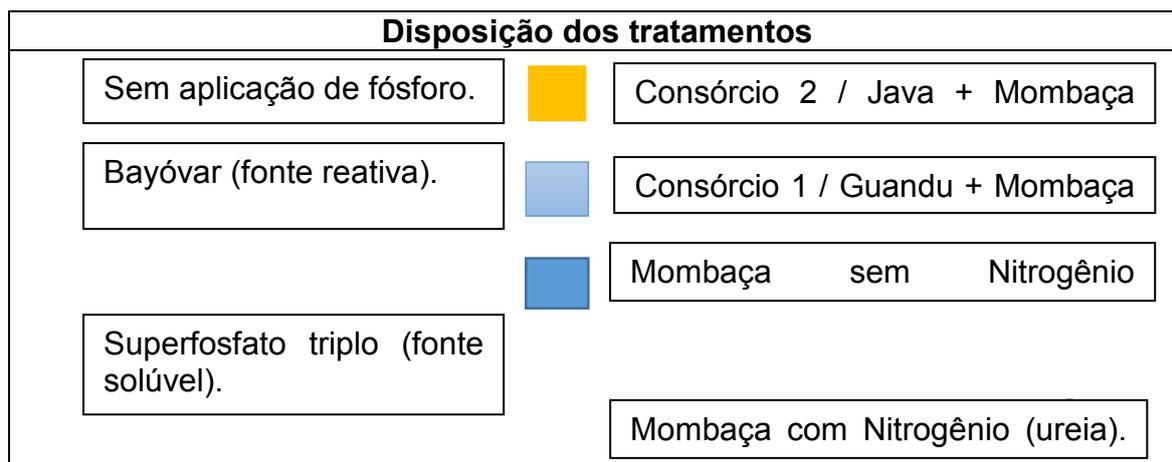
## 4.2 Tratamentos e Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4x3 em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por quatro sistemas de forragem: mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) solteira com ausência da adubação nitrogenada de cobertura; mombaça solteira com adubação nitrogenada de cobertura (150 kg ha<sup>-1</sup> de N por ano); mombaça consorciado com Java (*Macrotyloma axillare*) e mombaça consorciado com feijão-guandú anão (*Cajanus cajan*). As subparcelas foram compostas de: ausência de adubação fosfatada; aplicação de adubação fosfatada com fonte solúvel (superfosfato triplo) e aplicação de adubação fosfata com fonte natural reativa (fosfato natural Bayóvar). Cada parcela tem uma área de 3750 m<sup>2</sup>, já as subparcelas possuem 937 m<sup>2</sup>.

**Figura 2.** Disposição dos tratamentos na área experimental.



Fonte: O Autor (2018)



### 4.3 Instalação do Experimento

Em outubro de 2015 foi realizada a caracterização química do solo da área (Tabela 1), para tanto foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0 - 20 e 20 - 40 cm de profundidade. As amostras foram secas ao ar e analisadas quanto às seguintes características: pH ( $\text{CaCl}_2$ ), matéria orgânica, alumínio e hidrogênio extraíveis e fósforo disponível, e foram calculadas a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases (V%), conforme metodologia proposta por (RAIJ et al. 2001). A correção de acidez do solo e adubação fosfatada foi recomendada de acordo com a necessidade da área experimental, sendo aplicadas  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico para elevar a saturação de base do solo para 70%, e  $1 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso agrícola para o fornecimento de enxofre. A calagem e a gessagem foram realizadas em dezembro de 2015, incorporadas com grade pesada na profundidade de 40 cm.

**Tabela 1.** Características químicas do solo nas profundidades de 0 - 20 e 20 - 40 cm, determinadas em outubro de 2015.

Profundidade	pH ( $\text{CaCl}_2$ )	M.O.	P (resina)	H+Al	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	CTC	V
m		$\text{g dm}^{-3}$	$\text{mg dm}^{-3}$	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-1</sup>					%
0 - 20	5,2	18,6	3,1	21,8	0,8	10,0	7,9	40,5	46,3
20 - 40	5,1	15,2	2,8	21,8	0,7	10,1	6,7	39,3	44,6

A aplicação do fósforo foi a lanço com a distribuidora de fertilizante modelo Vincon<sup>®</sup> regulada para a dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ , respeitando os diferentes tratamentos, sendo duas combinações de fósforo, fósforo solúvel (SFT 48%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e

fósforo natural reativo (BAYÓVAR 29%  $P_2O_5$ ) e um tratamento controle com ausência de fósforo, aplicados 30 dias antes da semeadura e incorporados com grade niveladora após a distribuição dos fertilizantes. A adubação nitrogenada foi realizada apenas nas parcelas com o uso de N pelo fato de suas parcelas não possuírem plantas leguminosas, com dose de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  ano, dividida em três aplicações (outubro, novembro, dezembro) com a fonte de N na forma de ureia (45% N) as quais foram realizadas no período das chuvas.

A aplicação de ureia ocorreu no período da implementação do experimento, isso é, no mês de outubro de 2015 e assim sucessivamente após 30 dias até completar a doses de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  por ano.

A semeadura do capim mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) foi realizada com distribuidora de sementes modelo Show<sup>®</sup> (Matsuda) regulada para  $6 \text{ kg ha}^{-1}$  de sementes com VC 80%. As leguminosas (feijão-guandú e java) foram semeadas com a semeadora modelo (Case IH), no espaçamento entre linhas de 0,90 m, regulada para distribuir 15 e 3  $\text{kg ha}^{-1}$  de feijão-guandú e java, respectivamente.

Cada parcela compõe um piquete de pastejo com  $3750 \text{ m}^2$  separados com três fios de arame liso, sendo dois energizados, com fornecimento de água no reservatório e cochos plásticos para sal mineral. Foram utilizadas duas vacas nelore, com o peso médio de 450 kg cada uma, com o intuito de uniformizar a forrageira até que ela atinja em média 30 cm de altura.

## **4.4 Avaliações**

### **4.4.1 Mombaça, java e guandú**

Por ocasião da entrada dos animais nas parcelas, foram coletadas três subamostras dentro de cada subparcela com o auxílio de um quadro de  $1 \text{ m}^2$  compondo no final uma única amostra, a qual foi processada no laboratório. A altura estimada para a coleta da parte aérea da forrageira foi o material acima de 30 cm do solo, as amostras foram conduzidas ao laboratório para determinação da massa verde. Em seguida foi lavada para retirada das impurezas minerais e seca em estufa a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  por 72 horas e pesada em balança de precisão, moídas em moinho tipo

Wiley e passada em peneira de 1 mm. E encaminhado para análise dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S (MALAVOLTA et al., 1997).

Logo, a partir dos resultados da massa de matéria seca produzida e dos teores desses nutrientes, foi possível calcular a quantidade desses nutrientes acumulados na parte da forragem.

De forma contínua, a cada 12 meses a planta inteira foi amostrada (corte rente ao solo) para determinação do acúmulo de nutrientes na porção que não é pastejada, denominada de “talo” da planta ou “soqueira”, seguindo a mesma metodologia. Já descrita anteriormente.

Nos tratamentos envolvendo consórcios capim + leguminosa, o quadro de amostragem foi posicionado no centro da linha da leguminosa e o material coletado foi avaliado separadamente.

#### **4.5 Fertilidade do solo**

Amostragens de solo foram realizadas anualmente ocorrendo a primeira coleta em janeiro de 2016, sendo coletadas três subamostras em cada subparcela para compor uma amostra composta, nas profundidades de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm. As amostras também foram secas ao ar e analisadas quanto aos seguintes parâmetros: pH (CaCl<sub>2</sub>), matéria orgânica, bases trocáveis (Ca, Mg e K), alumínio e hidrogênio extraíveis e fósforo disponível, e foram calculadas a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases (V%), conforme metodologia proposta por (RAIJ et al., 2001).

##### **4.5.1 Fracionamento de Fósforo**

O mesmo solo coletado para a análise de fertilidade (item 4.5) foi também utilizado para a análise de fracionamento de P.

O fracionamento do P consiste na determinação sequencial por meio de análises do fracionamento de fósforo proposto por (HEDLEY, J.; STEWART, B.; CHAWHAN, S. 1982) com as modificações de CONDRON et al. (1989). Na técnica denominada extração sequencial foram adicionados extratores de tal modo que o

extrator de menor força de extração remove fósforo inorgânico (Pi) e orgânico (Po), das formas mais disponíveis às mais estáveis.

#### **4.5.2 Etapas do fracionamento**

Para o fracionamento do P, utilizaram-se amostras de solo contendo 0,5 gramas, as quais foram submetidas a diferentes extratores num esquema sequencial proposto por (HEDLEY; STEWART; CHAWHAN, 1982).

Para evitar o resíduo de extratores nas extrações seguintes, o solo foi centrifugado com solução de NaCl 0,5 mol L<sup>-1</sup> após a retirada de cada extrato, de acordo com o descrito por (GATIBONI et al., 2013).

As determinações dos teores de P foram realizadas com espectrofotômetro (Modelo 600S, FEMTO).

#### **4.6 Análise dos Dados**

Os dados foram submetidos à Análise de Variância e os valores médios comparados através do teste Tukey ( $p < 0,05$ ), utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a fertilidade do solo na camada de 0 a 10 cm, para o ano agrícola 2015/16, foi observado que o pH ( $\text{CaCl}_2$ ) e MO ( $\text{g dm}^{-3}$ ) tiveram interação significativa entre sistema de forragem (SF) e fontes de fósforo (P) (Tabela 2). Houve diferenças para as médias de P e S nos SF exceto o MOMBAÇA COM N e MOMBAÇA COM G, respectivamente. Para as fontes de P, o bayóvar e o SFT proporcionaram uma maior quantidade de P no solo em relação a ausência de adubação fosfatada. De acordo com Rajj et al. (1997), o teor de P no solo está baixo de acordo com as classes de teores, nesta camada do solo (0-10 cm). Os demais parâmetros não diferiram entre o SF e as fontes de P.

**Tabela 2.** Análise de fertilidade do solo na camada de 0 – 10 cm nos sistemas de forragem (SF) e fontes de P. Presidente Bernardes-SP, ano agrícola 2015/16.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	pH		M.O		P		S-SO <sup>2-</sup> <sub>4</sub>		K		Ca		Mg	
	(CaCl <sub>2</sub> )		(g dm <sup>-3</sup> )		(mg dm <sup>-3</sup> )						(mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
Mombaça sem N	5,92	ab	20,22	a	6,42	a	8,70	a	1,87	a	20,54	a	14,78	a
Mombaça com N	6,11	a	19,05	a	4,29	b	7,63	ab	1,80	a	18,38	a	12,83	a
Mombaça com G	5,88	b	22,42	a	4,78	ab	7,28	b	1,54	a	18,99	a	14,09	a
Mombaça com J	5,88	b	21,60	a	6,69	a	8,38	ab	2,13	a	18,53	a	15,43	a
<b>Fontes de P</b>														
Sem P	5,95	a	20,63	a	3,89	b	8,06	a	1,88	a	18,19	a	13,28	a
Bayóvar	5,89	a	21,16	a	7,03	a	8,04	a	1,87	a	18,60	a	14,53	a
SFT	5,99	a	20,68	a	5,72	ab	7,89	a	1,75	a	20,54	a	15,04	a
F SF	5,92	ns	3,63	ns	6,28	*	5,84	*	0,68	ns	0,34	ns	0,35	ns
F Fontes de P	1,69	ns	0,37	ns	8,70	**	0,08	ns	0,26	ns	0,89	ns	0,38	ns
Interação SF x Fontes de P	5,83	**	2,65	*	0,34	ns	1,40	ns	1,29	ns	1,63	ns	0,98	ns
CV parcela (%)	2,67		12,99		29,58		11,73		55,11		30,75		45,57	
CV subparcela (%)	2,76		9,31		38,48		15,92		31,02		27,87		40,84	

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de fator Sistema de Forragem e fontes de P, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. (1) Sistema de forragem (mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada), (mombaça + adubação nitrogenada de 150 Kg ha<sup>-1</sup> aplicados com a forrageira em cobertura), (mombaça + consorciação com java) e (mombaça + consorciação com feijão Guandú) <sup>(2)</sup>; ns: Não significativo. \* e \*\* a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

No desdobramento da interação do SF e as fontes de P, para o ano agrícola 2015/16 na camada de 0 - 10 cm (Tabela 3), observou-se nos SF e nas fontes uma redução dos valores de pH para os tratamentos MOMBAÇA SEM N,

MOMBAÇA COM J e MOMBAÇA COM G, na ausência e presença de uma das fontes de P, respectivamente. A acidez proporcionada pelo SF consorciados tiveram uma maior acidificação em relação ao solo adubado com ureia, podendo este ter ocorrido devido à perda de amônia por volatilização ou lixiviação (Costa et al., 2008; Sousa e Silva, 2009), que disponibiliza quantidades menores de amônio para nitrificação, que é um processo que libera hidrogênios para o solo (BARBOSA FILHO et al., 2005).

Os teores de Matéria Orgânica (M.O) foram elevados nos SF exceto o MOMBAÇA COM G com SFT (TABELA 3). O acúmulo de matéria orgânica está relacionado com a manutenção do pH em faixas altas, entre 5,4 e 6,5 (FRANCHINI et al., 2001). Dentro das fontes de P, o Sem P com os SF consorciados e o bayóvar os SF MOMBAÇA SEM N, MOMBAÇA COM G e MOMBAÇA COM J, foram capazes de influenciar e elevar os teores de M.O superficial. Sendo a matéria orgânica do solo influenciada diretamente pelo sistema de manejo e pela quantidade de resíduo vegetal depositada a cada cultivo, que por sua vez afeta o teor de fósforo orgânico do solo, que é mais elevado quanto maior o teor de matéria orgânica (RHEINNHEIMER; ANGHINON; KAMINSKI, 2000).

**Tabela 3.** Desdobramento da interação significativa entre sistema de forragem e fontes de P, da fertilidade do solo na camada de 0 – 10 cm solo. Presidente Bernardes-SP, ano agrícola 2015/16.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	Fontes de P					
	pH (CaCl <sub>2</sub> )					
	Sem P		Bayóvar		SFT	
Mombaça sem N	5,72	bB	6,00	aAB	6,02	abA
Mombaça com N	6,00	abA	6,10	aA	6,22	aA
Mombaça com G	5,87	bA	5,80	abA	5,95	abA
Mombaça com J	6,20	aA	5,65	bB	5,77	bB
CV parcela (%)	2,67					
CV subparcela (%)	2,76					
Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	Fontes de P					
	Matéria Orgânica (g kg <sup>-1</sup> )					
	Sem P		Bayóvar		SFT	
Mombaça sem N	18,65	bcA	20,28	abA	21,75	aA
Mombaça com N	18,25	cA	19,88	bA	19,03	aA
Mombaça com G	23,40	aAB	23,78	aA	20,08	aB
Mombaça com J	22,23	abA	20,73	abA	21,85	aA
CV parcela (%)	12,99					

CV Subparcela (%)

9,31

\*Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na linha e letras minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (MOMBAÇA SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forrageira em cobertura (MOMBAÇA COM N), mombaça consorciação com Java (MOMBAÇA COM J) e mombaça com feijão guandú (MOMBAÇA COM G).

Para a fertilidade do solo na camada de 10 a 20 cm não observou - se interação significativa entre sistema de forragem (SF) e fontes de fósforo (P) (Tabela 4). Quanto aos efeitos isolado, houve diferenças para os teores M.O e P nos SF exceto o MOMBAÇA COM N e MOMBAÇA COM J, respectivamente, onde os SF com maior aporte de raízes das plantas pode favorecer a estruturação do solo e também resulta no maior volume de solo rizosferico, melhorando a distribuição da matéria orgânica e dos nutrientes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). de modo que a profundidade e acidificação do solo podem ser fatores que influenciaram esses valores de M.O e P. Os demais parâmetros não diferiram entre o SF e as fontes de P.

**Tabela 4.** Análise de fertilidade do solo na camada de 10 – 20 cm nos sistemas de forragem (SF) e fontes de P. Presidente Bernardes-SP, ano agrícola 2015/16.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	pH		M.O		P		S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		K		Ca		Mg	
	(CaCl <sub>2</sub> )		(g dm <sup>-3</sup> )		(mg dm <sup>-3</sup> )						(mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
Mombaça sem N	5,91	a	15,11	ab	2,89	a	2,27	a	1,53	a	16,58	a	10,50	a
Mombaça com N	5,89	a	14,98	b	2,47	ab	2,05	a	1,03	a	16,02	a	10,93	a
Mombaça com G	5,98	a	16,23	a	2,43	ab	1,97	a	1,33	a	18,28	a	12,24	a
Mombaça com J	5,78	a	16,03	ab	2,08	b	2,64	a	1,83	a	16,28	a	11,45	a
<b>Fontes de P</b>														
Sem P	5,87	a	15,90	a	2,28	a	2,18	a	1,18	a	16,86	a	11,24	a
Bayóvar	5,89	a	15,29	a	2,69	a	2,31	a	1,81	a	16,66	a	11,22	a
SFT	5,91	a	15,56	a	2,43	a	2,2	a	1,28	a	16,86	a	11,39	a
F SF	0,15	ns	6,19	*	4,33	*	1,56	ns	1,91	ns	1,69	ns	1,89	ns
F Fontes de P	1,00	ns	2,60	ns	2,15	ns	0,20	ns	3,07	ns	0,01	ns	0,02	ns
Interação SF x Fontes de P	1,51	ns	1,82	ns	0,63	ns	0,75	ns	0,49	ns	1,38	ns	2,02	ns
CV parcela (%)	4,67		5,66		22,59		37,48		59,18		16,19		16,73	
CV subparcela (%)	3,89		4,84		22,78		28,38		54,36		23,47		20,89	

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de fator Sistema de Forragem e fontes de P, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. (1) Sistema de forragem (mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada), (mombaça + adubação nitrogenada de 150 Kg ha<sup>-1</sup> aplicados com a forrageira em cobertura), (mombaça + consorciação com java) e (mombaça + consorciação com feijão Guandú) <sup>(2)</sup>; ns: Não significativo. \* e \*\* a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Para a fertilidade do solo na camada de 0 a 10 cm, para o ano agrícola 2016/17 (Tabela 5), foi observado que a MO ( $\text{g dm}^{-3}$ ), P, S apresentaram interação significativa entre sistema de forragem (SF) e fontes de fósforo (P). Quanto aos efeitos isolados, houve diferenças para os teores Ca nos SF, exceto o MOMBAÇA COM N sendo estes resultados explicados pelos valores de pH e M.O mais baixos, provocando uma redução dos valores de Ca. Os demais parâmetros não diferiram entre o SF e as fontes de P.

**Tabela 5.** Análise de fertilidade do solo na camada de 0 – 10 cm nos sistemas de forragem (SF) e fontes de P. Presidente Bernardes-SP, ano agrícola 2016/17.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	pH	M.O	P	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K	Ca	Mg
	(CaCl <sub>2</sub> )	(g dm <sup>-3</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )			(mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
Mombaça sem N	6,13 a	16,40 a	4,94 a	3,63 ab	2,32 a	19,86 a	13,45 a
Mombaça com N	5,88 a	15,54 a	4,56 a	3,57 ab	2,28 a	15,58 b	12,03 a
Mombaça com G	5,92 a	15,93 a	4,49 a	2,70 b	2,17 a	19,98 a	11,92 a
Mombaça com J	5,98 a	16,31 a	3,95 a	4,22 a	2,62 a	20,72 a	13,38 a
<b>Fontes de P</b>							
Sem P	6,00 a	16,60 a	3,85 b	3,83 a	2,33 a	19,70 a	13,30 a
Bayóvar	5,86 a	15,88 a	4,64 a	3,68 a	2,69 a	17,63 a	11,69 a
SFT	6,06 a	15,66 a	4,97 a	3,07 a	2,03 a	19,77 a	13,11 a
F SF	1,97 ns	0,49 ns	1,70 ns	5,83*	0,32 ns	6,69 *	1,61 ns
F Fontes de P	3,23 ns	1,98 ns	7,65 **	3,42 *	3,07 ns	0,86 ns	1,66 ns
Interação SF x Fontes de P	0,54 ns	3,66 *	4,99 **	2,77 *	1,71 ns	0,84 ns	1,91 ns
CV parcela (%)	4,42	12,15	24,18	25,41	49,71	16,43	17,94
CV subparcela (%)	3,81	8,72	18,53	24,76	32,31	27,67	21,79

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de fator Sistema de Forragem e fontes de P, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. (1) Sistema de forragem (mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada), (mombaça + adubação nitrogenada de 150 Kg ha<sup>-1</sup> aplicados com a forrageira em cobertura), (mombaça + consorciação com java) e (mombaça + consorciação com feijão Guandú) <sup>(2)</sup>; ns: Não significativo. \* e \*\* a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

No desdobramento da interação do SF e as fontes de P, para o ano agrícola 2016/17 na camada de 0 - 10 cm (Tabela 6). O teor de M.O para os SF e as fontes de P apresentaram um aumento dos valores para os SF MOMBAÇA COM N com ausência de P e o SFT e o SF MOMBAÇA COM G com ausência de P e o bayóvar. Esta variação dos valores de M.O estão estreitamente ligado ao não revolvimento do solo, pH, alta produção de MS da mombaça e o seu sistema radicular, que podem ter contribuído para um aumento a longo prazo.

Os teores de P no solo foram baixos. De acordo com RAIJ et al. (1997), o teor de P no solo está baixo de acordo com as classes de teores, nesta camada do solo (0-10 cm). Onde o SF MOMBAÇA SEM N com SFT diferiu entre as demais fontes, assim como no SF MOMBAÇA COM N a presença das fontes diferiram em relação a ausência de adubação fosfatada. Dentro das fontes de P o SFT apresentou maior incremento de P, enquanto no SF foi MOMBAÇA SEM N e MOMBAÇA COM N em relação ao MOMBAÇA COM G, o aumento dos teores de matéria orgânica, e a provável exsudação de ácidos orgânicos tanto pelas raízes da braquiária quanto pela decomposição da matéria orgânica, favorecem a maior disponibilidade de P na fração lábil (JONES, 1998; FRANCHINI et al., 2001; PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Ressaltando ainda que na ausência de adubação fosfatada o SF MOMBAÇA COM G teve um aumento de P no solo em relação ao MOMBAÇA COM N. Assim com a maior exploração do volume de solo pelas raízes das plantas pode favorecer a estruturação do solo e também resulta no maior volume de solo rizosférico, melhorando a distribuição da matéria orgânica e dos nutrientes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Para os teores de S no solo os SF MOMBAÇA SEM N com ausência de P e bayóvar e o MOMBAÇA COM J com ausência de P e o SFT apresentaram os maiores valores de S em relação ao MOMBAÇA COM N. Em relação as fontes de P apenas o bayóvar com o SF MOMBAÇA COM N apresentou uma redução para o valor de S sendo este fato relacionado com uma redução da M.O. Sendo o S encontrado predominantemente na forma orgânica. Assim, a capacidade do solo em suprir a demanda da planta pelo nutriente está estreitamente relacionada ao teor de MO e sua mineralização, que, gradualmente, disponibilizará o S na forma de sulfato para a solução do solo.

**Tabela 6.** Desdobramento da interação significativa entre sistema de forragem e fontes de P, da fertilidade do solo na camada de 0 – 10 cm solo. Presidente Bernardes-SP, ano agrícola 2016/17.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	Fontes de P					
	Matéria Orgânica (g dm <sup>-3</sup> )					
	Sem P		Bayóvar		SFT	
Mombaça sem N	16,50	aA	16,82	aA	15,88	abA
Mombaça com N	15,33	aAB	14,03	bB	17,28	aA
Mombaça com G	17,03	aA	16,43	abAB	14,35	bB
Mombaça com J	17,55	aA	16,25	abA	15,13	abA
CV parcela (%)						12,15
CV subparcela (%)						8,72

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	Fontes de P					
	P (mg dm <sup>-3</sup> )					
	Sem P		Bayóvar		SFT	
Mombaça sem N	3,65	abB	4,83	aB	6,35	aA
Mombaça com N	3,18	bB	5,10	aA	5,40	abA
Mombaça com G	4,98	aA	4,78	aA	3,73	cA
Mombaça com J	3,60	abA	3,85	aA	4,40	bcA
CV parcela (%)						24,18
CV subparcela (%)						18,53

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	Fontes de P					
	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )					
	Sem P		Bayóvar		SFT	
Mombaça sem N	3,43	aAB	4,63	aA	2,83	aB
Mombaça com N	4,35	aA	2,63	bB	3,68	aAB
Mombaça com G	2,93	aA	2,70	aA	2,48	aA
Mombaça com J	4,63	aA	4,73	aA	3,30	aA
CV parcela (%)						25,41
CV subparcela (%)						24,76

\*Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na linha e letras minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (MOMBAÇA SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forrageira em cobertura (MOMBAÇA COM N), mombaça consorciação com Java (MOMBAÇA COM J) e mombaça com feijão guandú (MOMBAÇA COM G).

Para a fertilidade do solo na camada de 10 a 20 cm, para o ano agrícola 2016/17, não foi observado interação significativa entre sistema de forragem (SF) e fontes de fósforo (P) (Tabela 7). Quanto ao efeito isolado, houve diferenças para as fontes de P nos teores K, o bayóvar e o SFT aumentaram os teores de K em relação ao – P, a presença de Ca na composição dos fertilizantes fosfatados, pode afetar a disponibilidade de K e Mg devido a competição com os sítios de troca catiônica do solo, e na decomposição dos materiais vegetais há liberação de Ca, Mg e K (FRANCHINI et al., 2001; PAVINATO et al., 2009). Os demais parâmetros não diferiram entre o SF e as fontes de P.

**Tabela 7.** Análise de fertilidade do solo na camada de 10 – 20 cm nos sistemas de forragem (SF) e fontes de P. Presidente Bernardes-SP, ano agrícola 2016/17.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	pH		M.O		P		S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		K		Ca		Mg	
	(CaCl <sub>2</sub> )		(g dm <sup>-3</sup> )		(mg dm <sup>-3</sup> )						(mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
Mombaça sem N	5,88	a	13,15	a	4,13	a	3,40	a	1,59	a	15,63	a	12,88	a
Mombaça com N	5,95	a	14,58	a	5,08	a	3,07	a	1,43	a	17,28	a	14,01	a
Mombaça com J	5,98	a	13,34	a	4,78	a	3,45	a	1,60	a	16,41	a	13,11	a
Mombaça com G	5,90	a	13,69	a	2,55	a	3,17	a	1,63	a	15,45	a	12,58	a
<b>Fontes de P</b>														
Sem P	5,89	a	13,2	a	3,43	a	3,32	a	1,35	b	16,21	a	13,61	a
Bayóvar	5,84	a	13,76	a	3,18	a	3,41	a	1,88	a	15,02	a	12,09	a
SFT	6,05	a	14,13	a	5,81	a	3,09	a	1,46	ab	17,36	a	13,74	a
F SF	0,96	ns	2,66	ns	1,31	ns	1,03	ns	0,13	ns	1,97	ns	1,25	ns
F Fontes de P	2,00	ns	1,04	ns	2,64	ns	0,99	ns	3,46	*	0,82	ns	1,02	ns
Interação SF x Fontes de P	2,50	ns	2,02	ns	1,12	ns	1,60	ns	1,65	ns	1,02	ns	1,26	ns
CV parcela (%)	2,82		9,81		82,51		19,15		54,09		12,76		14,63	
CV subparcela (%)	5,25		13,29		86,52		20,24		38,04		31,96		27,55	

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de fator Sistema de Forragem e fontes de P, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. (1) Sistema de forragem (mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada), (mombaça + adubação nitrogenada de 150 Kg ha<sup>-1</sup> aplicados com a forrageira em cobertura), (mombaça + consorciação com java) e (mombaça + consorciação com feijão Guandú) <sup>(2)</sup>; ns: Não significativo. \* e \*\* a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

## 5.1 Fracionamento e as forma de P do solo

Para o  $Pi_{Resina}$  houve interação dos fatores analisados na profundidade 10 - 20 cm, no ano agrícola de 2015/2016. O SF e as Fontes de P alteraram os teores de  $P_{Resina}$  (TABELA 8). Quanto aos efeitos isolados, houve diferenças para os teores  $Pi_{Resina}$  nos SF consorciados, na camada de 0 – 10 cm do primeiro ano para o sistema MOMBAÇA COM G comparado ao MOMBAÇA SEM N, independente da fonte de P utilizada. Quanto ao efeito isolado, as Fontes de P nos anos agrícolas de 2015/16 e 2016/17 não alteraram os teores de  $Pi_{Resina}$ .

**Tabela 8.** Teores médios de  $P_{Resina}$  no solo, extraído com resina trocadora de íons ( $Pi_{Resina}$ ), em função de fontes de P aplicadas no ano 2015.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	$P_{Resina}$ (mg kg <sup>-1</sup> )			
	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	0-10	10-20
	2015/2016		2016/2017	
Mombaça sem N	365,54 c	86,47 a	216,64 a	131,87 a
Mombaça com N	573,79 b	75,45 a	159,35 a	125,10 a
Mombaça com G	785,64 a	79,77 a	217,35 a	132,95 a
Mombaça com J	632,81 ab	89,81 a	206,91 a	255,82 a
<b>Fontes de P</b>				
Sem P	543,54 a	85,22 a	216,17 a	127,53 a
Bayóvar	626,34 a	74,44 a	175,58 a	172,32 a
SFT	598,45 a	88,97 a	208,43 a	184,45 a
F SF	15,40 **	1,65 ns	0,48 ns	2,62 ns
F Fontes de P	1,37 ns	3,22 ns	0,33 ns	0,77 ns
Interação SF x Fontes de P	0,90 ns	5,20 *	1,39 ns	1,69 ns
CV parcela (%)	24,44	20,28	75,46	84,92
CV subparcela (%)	26,04	21,09	69,13	83,62

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de fator SF e fontes de P, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (MOMBAÇA SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forrageira em cobertura (MOMBAÇA COM N), mombaça consorciação com Java (MOMBAÇA COM J) e mombaça com feijão guandú (MOMBAÇA COM G) <sup>(2)</sup>; ns: Não significativo. \* e \*\* a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Normalmente a camada superficial do solo os maiores teores de P inorgânico são encontrados, tendo uma estreita relação com o efeito da adubação mineral e do acúmulo de matéria orgânica. Os SF apresentaram diferença para a utilização dos consórcios MOMBAÇA COM J e MOMBAÇA COM G, visto que uma provável causa de efeito é a exsudação de ácido orgânicos pelas raízes do java ou

feijão guandú e decomposição da matéria orgânica, tendo um favorecimento na disponibilidade de P na fração lábil (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

No desdobramento da interação entre as SF e as fontes de P observa-se resposta do teor de  $Pi_{RTA}$  apenas para aplicação de SFT com o SF M+G (Tabela 9). Entre das fontes de P, foram encontrados maiores valores de  $Pi_{Resina}$  dentro do SF M+G com aplicação de SFT, e de Bayóvar cooperado a ausência de P.

**Tabela 9.** Desdobramento da interação significativa entre o Sistema de Forragem e fontes de P, dos teores médios de  $Pi_{Resina}$  no solo, extraído com Resina trocadora de ânions; referente a aplicação de P em cobertura, no ano 2015.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	Fontes de P		
	Sem P	Bayóvar	SFT
Mombaça sem N	97,65 aA	90,19 aA	71,58 aB
Mombaça com N	79,25 aA	76,89 aA	70,23 aB
Mombaça com G	78,73 aA	72,31 aA	88,26 aB
Mombaça com J	85,27 bA	58,38 bA	125,80 aA
CV parcela (%)	24,49		
CV subparcela (%)	19,45		

\*Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na linha e letras minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (MOMBAÇA SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forrageira em cobertura (MOMBAÇA COM N), mombaça consorciação com Java (MOMBAÇA COM J) e mombaça com feijão guandú (MOMBAÇA COM G).

Na interação dos fatores analisados para o teor de P extraído com a  $Pi_{Resina}$ , a adubação com SFT proporcionou diferenças nos teores de P até 20 cm de profundidade. Os teores de P foram maiores com a aplicação de SFT do que Bayóvar ou ausência de P na camada de 10 – 20 cm. Além disso, os teores de P obtidos com o  $Pi_{Resina}$  na análise de fracionamento, foram bem maiores do que os teores obtidos na análise de rotina.

Também a forma lábil é representada pelo conjunto de compostos fosfatados capazes de repor rapidamente a solução do solo, quando o P é absorvido por plantas ou por microrganismos. Contudo os SF em consórcio podem apresentar uma liberação de ácidos orgânicos para o solo, proveniente da população microbiana. À medida que esses ácidos competem com os sítios de adsorção no solo, aumentam a disponibilidade dos fosfatos no solo (JONES, 1998; HU et al., 2005; PAVINATO et al., 2008).

Não foi observado interação significativa entre sistema de forragem (SF) e fontes de fósforo (P) para os teores de P inorgânico extraído com  $\text{NaHCO}_3$  ( $\text{Pi}_{\text{bic}}$ ). Quanto ao efeito isolado, o SF e as fontes de P nos anos agrícolas de 2015/2016 e os SF na camada de 0 - 10 cm no ano 2016/2017 alteraram os teores de  $\text{Pi}_{\text{bic}}$  (Tabela 10). Nas duas camadas do solo de forma geral os SF consorciados apresentaram um aumento em relação ao MOMBAÇA SEM N. Não foram observadas alterações nos teores de  $\text{Pi}_{\text{bic}}$  na profundidade de 10 - 20 cm do segundo ano.

Em relação às fontes de P os fertilizantes bayóvar e SFT apresentaram maiores incrementos nos teores de  $\text{Pi}_{\text{bic}}$  para a camada de 0 - 10 cm.

**Tabela 10.** Teores médios de  $\text{Pi}_{\text{bic}}$  no solo, extraído com  $\text{NaHCO}_3$ , em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	$\text{Pi}_{\text{bic}}$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )			
	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	0-10	10-20
	2015/2016		2016/2017	
Mombaça sem N	14,38 c	12,40 c	18,08 b	15,72 a
Mombaça com N	13,73 c	15,15 b	20,40 a	15,40 a
Mombaça com G	17,67 b	19,86 a	21,40 a	15,97 a
Mombaça com J	22,19 a	19,00 a	21,73 a	13,07 a
<b>Fontes de P</b>				
Sem P	16,04 b	14,95 a	20,18 a	13,28 a
Bayóvar	16,91 ab	16,78 a	20,53 a	15,95 a
SFT	18,03 a	17,32 a	20,48 a	15,90 a
F SF	31,90 *	24,88 **	10,13 **	1,50 ns
F Fontes de P	6,13 **	3,27 ns	0,14 ns	3,27 ns
Interação SF x Fontes de P	1,00 ns	1,30 ns	1,40 ns	0,97 ns
CV parcela (%)	9,51	16,92	9,97	22,46
CV sub parcela (%)	13,97	13,87	8,79	25,04

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de fator SF e fontes de P, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (MOMBAÇA SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150  $\text{kg ha}^{-1}$  aplicados na forrageira em cobertura (MOMBAÇA COM N), mombaça consorciação com Java (MOMBAÇA COM J) e mombaça com feijão guandú (MOMBAÇA COM G) <sup>(2)</sup>; ns: Não significativo. \* e \*\* a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Para o ano agrícolas 2015/2016 (Tabela 10) os SF consorciados em ambas as camadas do solo proporcionaram um maior acúmulo desta forma de P, assim como as fontes tiveram aumento na camada de 0 – 10 cm para a presença de adubação fosfatada. No ano agrícola 2016/2017 os teores de  $\text{Pi}_{\text{bic}}$  foram crescentes

na camada de 0 – 10 cm, este ganho na camada superficial do segundo ano está relacionado a uma provável reposição do  $P_o$  para o  $P_i$ , junto com o fato dos consórcios proporcionarem um ganho de qualidade do solo contribuindo para um aumento do teor de  $P_i$  bic principalmente no ano 2015/2016, chegando até a camada de 20 cm, o  $P_i$  repõe o  $P$  lábil da solução do solo, apesar destas soluções serem sensíveis as mudanças na solução do solo pela absorção da mesma.

Merlin et al. (2008) observaram um aumento de formas de  $P$  mais disponíveis após o cultivo de *B. ruziziensis* por apenas 7 meses, para as frações orgânicas e inorgânicas extraídas com  $NaHCO_3$ , na camada de 0 - 5 cm.

Não foi observado interação significativa entre sistema de forragem (SF) e fontes de fósforo ( $P$ ) para os teores de  $P$  orgânico extraído com  $NaHCO_3$  ( $P_o$  Bic). Quanto ao efeito isolado, o SF nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017 alteraram os teores de  $P_o$  bic (Tabela 11). No ano 2015/2016 na camada de 0 - 10 cm apresentou um aumento do sistema MOMBAÇA COM G em relação ao MOMBAÇA COM N. Não foram observadas alterações nos teores de  $P$  na profundidade de 10 - 20 cm.

No ano 2016/2017 na camada de 10 - 20 cm o SF MOMBAÇA COM G apresentou um aumento em relação ao MOMBAÇA SEM N, independente da fonte de  $P$  utilizada. Quanto ao efeito isolado, as Fontes de  $P$  nos anos agrícolas de 2015/16 e 2016/17 não alteraram os teores de  $P_o$  Bic.

**Tabela 11.** Teores médios de  $P_o$  Bic no solo, extraído com  $NaHCO_3$ , em função de fontes de  $P$  aplicadas em cobertura no ano 2015.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	$P_o$ Bic (mg kg <sup>-1</sup> )			
	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	0-10	10-20
	2015/2016		2016/2017	
Mombaça sem N	2,80 b	6,46 a	4,12 b	4,32 b
Mombaça com N	2,48 b	6,74 a	7,38 a	7,45 ab
Mombaça com G	3,05 ab	6,88 a	7,26 a	9,67 a
Mombaça com J	3,90 a	6,21 a	6,05 a	3,40 b
<b>Fontes de P</b>				
Sem P	3,23 a	6,40 a	5,57 a	5,12 a
Bayóvar	2,75 a	6,69 a	6,38 a	4,30 a
SFT	3,19 a	6,62 a	6,65 a	9,21 a
F SF	5,85 **	0,26 ns	19,19 *	5,54 **
F Fontes de P	1,16 ns	0,07 ns	1,67 ns	5,01 ns

Interação SF x Fontes de P	0,61 ns	1,07 ns	2,24 ns	1,71 ns
CV parcela (%)	32,04	33,73	28,15	75,82
CV subparcela (%)	28,53	30,47	19,29	68,30

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de fator SF e fontes de P, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (MOMBAÇA SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forrageira em cobertura (MOMBAÇA COM N), mombaça consorciação com Java (MOMBAÇA COM J) e mombaça com feijão guandú (MOMBAÇA COM G) <sup>(2)</sup>; ns: Não significativo. \* e \*\* a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Para o ano 2015/16, os maiores valores de Po<sub>Bic</sub> foram encontrados para a camada mais superficial do solo, onde as fontes de P não exerceram nenhuma diferença para os SF já que uma possível causa seja a correção do solo, pois a presença de calcário promove a neutralização dos íons hidrogênio em solução, causando menor solubilização dos fosfatos, liberando menos fósforo para a solução do solo.

No entanto, está fração orgânica são encontrados menores valores, quando comparada com Pi<sub>bic</sub>, pela ocorrência da rápida mineralização do P proveniente da alta taxa de decomposição da matéria orgânica em solos arenosos. Além disso, também existem evidências de que Po<sub>Bic</sub> repõe a fração de Pi<sub>Bic</sub>, devido aumentos significativos de Pi e concomitante diminuição de Po, desencadeando um processo de mineralização, após cultivos consecutivos (GATIBONI et al., 2007).

Os valores de Po<sub>bic</sub> observados foram diferentes dos encontrados por Almeida et al. (2014) e Gatiboni et al. (2007), que obtiveram valores superiores nesta fração orgânica, entre 14 e 25 mg kg<sup>-1</sup> em um Latossolo Vermelho ácrico e 25,9 e 17 mg kg<sup>-1</sup> em um Latossolo Vermelho distroférrico típico, respectivamente, confirmando a alta decomposição de matéria orgânica em solos tropicais altamente intemperizados.

No ano agrícola 2016/2017, houve efeito isolado dos SF para as camadas 0 – 10 e 10 – 20 cm do solo, apesar de não serem observados efeitos isolados dos SF que tiveram adubação nitrogenada ou consorcio, aumentaram os valores médios em superfície do P orgânico nesta fração, podendo-se atribuir ao aumento da ciclagem de material orgânico no solo, proporcionado pelos SF.

Houve interação significativa para o SF e as Fontes de P, nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017 (Tabela 12). Quanto ao efeito isolado, as Fontes de P e os SF foram observadas alterações nos teores de  $Pi_{Hid\ 0,1}$  nos anos agrícolas de 2015/16 e 2016/17.

**Tabela 12.** Teores médios de  $Pi_{Hid\ 0,1}$  no solo, extraído com NaOH 0,1 mol l<sup>-1</sup>, em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	$Pi_{Hid\ 0,1}$ (mg kg <sup>-1</sup> )			
	Profundidade (cm)			
	0-10		10-20	
	2015/2016	2016/2017	2015/2016	2016/2017
Mombaça sem N	21,57 a	10,17 c	26,88 a	23,02 b
Mombaça com N	16,33 b	13,08 b	24,92 a	28,98 a
Mombaça com G	15,73 bc	14,05 b	23,82 a	28,41 a
Mombaça com J	14,09 c	16,61 a	22,45 a	21,45 b
<b>Fontes de P</b>				
Sem P	16,50 a	12,05 a	23,99 a	26,08 a
Bayóvar	17,15 a	13,95 a	24,51 a	25,09 a
SFT	17,14 a	14,44 a	25,05 a	25,22 a
F SF	42,94 **	96,82 **	1,43 ns	16,11 **
F Fontes de P	0,44 ns	19,50 *	0,22 ns	0,94 *
Interação SF x Fontes de P	5,38 **	4,95 **	1,18 ns	2,87 *
CV parcela (%)	13,41	8,5	18,35	8,69
CV sub parcela (%)	10,1	6,95	22,08	12,84

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de fator SF e fontes de P, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (MOMBAÇA SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forrageira em cobertura (MOMBAÇA COM N), mombaça consorciação com Java (MOMBAÇA COM J) e mombaça com feijão guandú (MOMBAÇA COM G) <sup>(2)</sup>; ns: Não significativo. \* e \*\* a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

No desdobramento da interação do SF entre as fontes de P, para o ano agrícola 2015/2016 na camada de 0 - 10 cm, observou se reposta para o teor de  $Pi_{Hid\ 0,1}$ , nos SF MOMBAÇA SEM N, MOMBAÇA COM G e MOMBAÇA COM J com adubação fosfatada e no SF MOMBAÇA COM N e MOMBAÇA COM G sem adubação fosfatada diferiram dos demais tratamentos (Tabela10). Dentro das fontes de P, foram encontrados maiores teores de  $Pi_{Hid\ 0,1}$  quando houve ausência de fosfatagem para o SF MOMBAÇA COM N e MOMBAÇA COM J, para as fontes bayóvar e SFT no SF MOMBAÇA SEM N.

No desdobramento da interação do SF entre as fontes de P, para o ano agrícola 2015/2016 na camada de 10 - 20 cm, observou se reposta para o teor de  $Pi_{Hid\ 0,1}$

Hid 0,1, nos SF MOMBAÇA SEM N, MOMBAÇA COM N e MOMBAÇA COM J com adubação fosfatada diferiram dos demais SF (Tabela10). Dentro das fontes de P, foram encontrados maiores valores de  $Pi_{Hid\ 0,1}$ , nos SF MOMBAÇA COM J e MOMBAÇA COM G quando houve ausência de fosfatagem, para as fontes bayóvar e SFT no SF MOMBAÇA COM G.

No desdobramento da interação do SF e as fontes de P, para o ano agrícola 2016/2017 na camada de 0 - 10 cm, observou se reposta para o teor de  $Pi_{Hid\ 0,1}$ , considerando o SF MOMBAÇA SEM N, MOMBAÇA COM N, MOMBAÇA COM J e MOMBAÇA COM G, independente da fonte de P utilizada, exceto para o SF MOMBAÇA COM N quando foi realizada a adubação com bayóvar ou SFT (Tabela10). Dentro das fontes de P, foram encontrados maiores valores de  $Pi_{Hid\ 0,1}$  quando houve ausência de fosfatagem para o SF MOMBAÇA COM N e MOMBAÇA COM J, ou quando o bayóvar foi utilizado como fonte de P não houve resposta, para a fonte SFT com a utilização dos SF MOMBAÇA SEM N, MOMBAÇA COM N e MOMBAÇA COM J apresentaram resposta para os teores de  $Pi_{Hid\ 0,1}$ . No ano agrícola 2016/2017 foi observado aumento expressivo no teor de  $Pi_{Hid\ 0,1}$  nas camadas mais profundas do solo. Este comportamento ocorreu devido a densidade de raízes do teor de matéria orgânica em profundidade, que podem colaborar na proteção do P estando esse associado ao pH em profundidade, com uma manutenção dos seus teores e conseqüentemente uma menor disponibilidade de Fe e Al, visto que esta extração de P tem uma ligação com estes nutrientes.

**Tabela 13.** Desdobramento da interação significativa entre o Sistema de Forragem e fontes de P, dos teores médios de  $Pi_{HID\ 0,1}$  no solo, extraído com NaOH 0,1 mol l<sup>-1</sup>; referente a aplicação de P em cobertura, no ano 2015.

Sistema de Forragem (1)	Fontes de P					
	2015/2016					
	0 -10			10 20		
	Sem P	Bayóvar	SFT	Sem P	Bayóvar	SFT
Mombaça sem N	19,03 bA	22,56 aA	23,13 aA	8,88 bC	10,33 abC	11,31 aC
Mombaça com N	17,14 aA	15,77 aB	16,06 aB	11,88 bB	13,75 aB	13,64 aB
Mombaça com G	17,22 aA	16,55 aB	13,44 bB	13,80 aA	14,26 aB	14,11 aB
Mombaça com J	12,61 bB	13,74 abB	15,92 aB	13,64 bAB	17,48 aA	18,72 aA
CV parcela (%)		13,41			8,50	
CV subparcela (%)		10,10			6,95	
Sistema de Forragem (1)	Fontes de P			Fontes de P		
	2016/2017					

	Sem P	Bayóvar	SFT	Sem P	Bayóvar	SFT
Mombaça sem N	-	-	-	20,95 aB	22,14 aA	25,98 aAB
Mombaça com N	-	-	-	33,18 aA	26,75 bA	26,99 bA
Mombaça com G	-	-	-	29,40 aA	28,00 aA	27,85 aA
Mombaça com J	-	-	-	20,80 aB	23,49 aA	20,07 aB
CV parcela (%)		-			8,69	
CV subparcela (%)		-			12,84	

\*Médias seguidas de letras minúsculas distintas na linha e letras maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (MOMBAÇA SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forrageira em cobertura (MOMBAÇA COM N), mombaça consorciação com Java (MOMBAÇA COM J) e mombaça com feijão guandú (MOMBAÇA COM G).

No ano de 2015/16, ocorreu decréscimo de  $Pi_{Hid\ 0,1}$  na camada subsuperficial do solo (10-20 cm), correspondente o teor de matéria orgânica em profundidade, que podem colaborar na proteção do P e a redução do pH em subsuperfície (TABELA 4). Não se observaram aumentos expressivos do  $Pi_{Hid\ 0,1}$ , o P mineralizado na fração pode ter sido adsorvido aos coloides do solo e transformado em formas de P inorgânico de menor labilidade, porém o inverso também é verdadeiro onde sua transformação para formas mais lábeis onde possa ser aproveitado pelas plantas em um espaço de tempo mais longo, desse modo poderá ocorrer uma futura liberação nas frações menos lábeis quando houver depleção de P nas frações disponíveis, funcionando como um reservatório (TELES, 2014; PAVINATO, 2007).

Onde no ano 2016/17 para a mesma camada do solo houve uma aumentos dos teores de  $Pi_{Hid\ 0,1}$ . Esta tendência pode estar associada à diminuição do pH em profundidade (TABELA 7), onde uma maior acidificação do solo seja uma consequência direta aumento da disponibilidade de Fe e Al no solo, que colaborou com diminuição do teor de P lábil e aumento do  $Pi_{Hid\ 0,1}$ . Está fração pode ser um dreno para o P presente no solo.

Não foi observado interação significativa entre sistema de forragem (SF) e fontes de fósforo (P) para os teores de  $Po_{Hid\ 0,1}$ . Quanto ao efeito isolado, os SF nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017 alteraram os teores de  $Po_{Hid\ 0,1}$  (Tabela 14). Para a camada de 0 - 10 cm os SF MOMBAÇA COM N foram superiores ao MOMBAÇA SEM N, não foram observadas alterações nos teores de  $Po_{Hid\ 0,1}$  na profundidade de 10 - 20 cm dentro dos dois anos de avaliação. No ano

2016/2017 na camada de 0 – 10 cm o SF MOMBAÇA COM G apresentou um incremento maior em relação ao MOMBAÇA SEM N.

Em relação das fontes de P, apenas no ano 2016/2017 na camada de 0 - 10 cm alteraram os valores de  $Po_{Hid\ 0,1}$  com a utilização do bayóvar e o SFT em relação ao Sem P, à medida que na camada de 10 - 20 cm o Sem P e o SFT foram superiores ao bayóvar.

**Tabela 14.** Teores médios de  $Po_{Hid\ 0,1}$  no solo, extraído com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	$Po_{Hid\ 0,1}$ (mg kg <sup>-1</sup> )			
	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	0-10	10-20
	2015/2016		2016/2017	
Mombaça sem N	8,35 b	5,34 a	6,81 c	7,32 a
Mombaça com N	13,03 a	4,77 a	8,02 bc	8,90 a
Mombaça com G	11,79 ab	4,74 a	9,75 b	8,97 a
Mombaça com J	9,77 ab	5,70 a	11,79 a	9,30 a
<b>Fontes de P</b>				
Sem P	11,86 a	5,72 a	8,14 b	8,97 a
Bayóvar	9,48 a	4,35 a	9,46 ab	7,71 b
SFT	10,86 a	5,34 a	9,68 a	9,19 a
F SF	0,93 *	2,00 ns	7,27 *	2,75 ns
F Fontes de P	4,15 ns	0,26 ns	20,56 **	9,37 *
Interação SF x Fontes de P	2,05 ns	0,14 ns	0,14 ns	1,95 ns
CV <sub>parcela</sub> (%)	46,07	38,78	13,58	12,14
CV <sub>subparcela</sub> (%)	32,96	60,86	18,21	21,43

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de fator SF e fontes de P, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (MOMBAÇA SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forrageira em cobertura (MOMBAÇA COM N), mombaça consorciação com Java (MOMBAÇA COM J) e mombaça com feijão guandú (MOMBAÇA COM G) <sup>(2)</sup>; ns: Não significativo. \* e \*\* a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Os manejos utilizados tanto no ano 2015/16 e no ano 2016/17 os SF MOMBAÇA COM N, MOMBAÇA COM J e MOMBAÇA COM G promoveram maior porte de M.O encontrado em superfície, o qual colabora na proteção física do P presente na solução. Devido ao maior acúmulo de matéria seca de parte aérea e das raízes, pode – se ter favorecido o aumento do P orgânico no solo (OLIBONE; ROSOLEM, 2010), uma vez que a decomposição das raízes libera formas orgânicas de P, e a mineralização dessas formas de P elevam o teor de P orgânico nas camadas mais profundas do solo (ALMEIDA, 2014).

Houve interação significativa para o SF e as Fontes de P, no ano agrícola de 2016/2017 para os teores de  $Pi_{HCL}$  (Tabela 15). Quanto ao efeito isolado, o SF na camada de 0 – 10 com um incremento de 101 e 67 % e 10 – 20 cm de 174 e 152% dos SF consorciados em relação ao Mombaça SEM N. E no ano 2016/17 na camada de 10 - 20 cm um aumento do SF Mombaça COM G EM RELAÇÃO AO Mombaça SEM N. Quanto ao efeito isolado, as Fontes de P nos anos agrícolas de 2015/16 e 2016/17 não alteraram os teores de  $Pi_{HCL}$ .

**Tabela 15.** Teores médios de  $P_{HCl}$  no solo, extraído com HCl 1,0 mol l<sup>-1</sup>; em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	$Pi_{HCl}$ (mg kg <sup>-1</sup> )			
	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	0-10	10-20
	2015/2016		2016/2017	
Mombaça sem N	121,99 b	183,86 b	487,39 a	164,78 b
Mombaça com N	131,36 b	221,15 b	530,90 a	298,04 ab
Mombaça com G	204,55 ab	504,58 a	507,42 a	238,27 b
Mombaça com J	245,29 a	463,89 a	467,74 a	418,77 a
<b>Fontes de P</b>				
Sem P	168,73 a	339,25 a	559,31 a	327,24 a
Bayóvar	159,19 a	359,25 a	443,94 a	256,70 a
SFT	199,47 a	331,61 a	491,83 a	255,95 a
F SF	6,17 **	25,96 **	0,32 ns	9,17 **
F Fontes de P	0,53 ns	0,16 ns	2,89 ns	1,57 ns
Interação SF x Fontes de P	1,32 ns	1,54 ns	2,62 *	1,32 ns
CV parcela (%)	65,88	41,56	27,37	46,72
CV sub parcela (%)	46,99	33,16	33,14	43,89

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de fator SF e fontes de P, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (Mombaça SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forrageira em cobertura (Mombaça COM N), mombaça consorciação com Java (Mombaça COM J) e mombaça com feijão guandú (Mombaça COM G) <sup>(2)</sup>; ns: Não significativo. \* e \*\* a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

O P extraído por HCl é fortemente adsorvido aos fosfatos de cálcio presentes no solo, se tornando indisponível para a absorção das plantas. De acordo com GUO; YOST (1998) o P ligado ao cálcio pode se tornar mais disponível com a redução do pH, ou redução dos teores de Ca e P do solo, o que pode ocorrer em camadas mais profundas do solo, na rizosfera, ou em solos pobres em Ca e ricos em Fe e Al. Assim como Catani e Bataglia (1968), avaliando Latossolos do estado de São Paulo e Paraná, encontraram valores de fósforo ligado a cálcio entre 45,3 a

162,5 mg dm<sup>-3</sup>, o que é explicável tendo em vista os valores de pH que variam de 6,00 a 6,5.

No desdobramento da interação do SF entre as fontes de P, para ano agrícola 2016/17 na camada de 0 - 10 cm (Tabela 16). Observa-se resposta do teor de P<sub>HCl</sub> exceto no SF MOMBAÇA COM N com o bayóvar. Dentro das fontes de P, foram encontrados maiores teores de P<sub>HCl</sub>, apenas na ausência de P exceto para o SF MOMBAÇA COM J.

**Tabela 16.** Desdobramento da interação significativa entre o Sistema de Forragem e fontes de P, dos teores médios de Pi<sub>HCl</sub> no solo 0 – 10 cm, extraído com HCl 1,0 mol l<sup>-1</sup>; referente a aplicação de P no ano 2015.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	Fontes de P		
	Sem P	Bayóvar	SFT
Mombaça sem N	662,58 aAB	394,13 aA	405,48 aA
Mombaça com N	732,35 aA	381,00 bA	479,35 abA
Mombaça com G	470,03 aAB	459,50 aA	511,10 aA
Mombaça com J	372,33 aB	541,13 aA	571,40 aA
CV <sub>parcela</sub> (%)		27,37	
CV <sub>sub parcela</sub> (%)		33,14	

\*Médias seguidas de letras minúsculas distintas na linha e letras maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (MOMBAÇA SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forrageira em cobertura (MOMBAÇA COM N), mombaça consorciação com Java (MOMBAÇA COM J) e mombaça com feijão guandú (MOMBAÇA COM G).

Na interação dos fatores analisados para o teor de Pi<sub>HCl</sub> para o ano agrícola 2016/17 na camada de 0 - 10 cm (Tabela 16), observou-se nos SF uma redução dos valores de Pi<sub>HCl</sub> apenas para o MOMBAÇA COM N com o bayóvar. O P ligado ao cálcio pode se tornar mais disponível com a redução do pH, ou redução dos teores de Ca e P do solo, o que pode ocorrer em camadas mais profundas do solo, na rizosfera, ou em solos pobres em Ca e ricos em Fe e Al. Como visto na (TABELA 5), o teor de Ca foi de 15,58 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> sendo o menor valor entre os SF na camada de 0 - 10 cm do segundo ano. Dentro das fontes de P apenas o SF MOMBAÇA COM J reduziu o valor do Pi<sub>HCl</sub>. Sendo assim, essa diminuição pode ser a somatória do cultivo da gramínea com efeito da leguminosa na capacidade de dissolução de fosfatos menos disponíveis no solo, de modo que a exploração do solo pelas raízes da braquiária, seguida da extração de fosfatos de cálcio, promoveu uma diminuição no teor de Pi<sub>HCl</sub>.

Para os teores de  $Pi_{Hid\ 0,5}$  no ano agrícola 2015/16 na camada de 10 – 20 cm houve interação significativa para o SF e as Fontes de P (Tabela 17). Quanto aos efeitos isolados, houve diferenças para os teores  $Pi_{Hid\ 0,5}$  no ano 2015/16 para a camada de 0 -10 cm com incremento de 107% do SF MOMBAÇA COM J em relação ao MOMBAÇA SEM N. Para o ano 2016/2017 não foram observadas alterações nos valores de  $Pi_{Hid\ 0,5}$  para nenhuma das profundidades.

**Tabela 17.** Teores médios de  $Pi_{Hid\ 0,5}$  no solo, extraído com  $NaOH\ 0,5\ mol\ l^{-1}$ ; em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	$Pi_{Hid\ 0,5}$ (mg kg <sup>-1</sup> )			
	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	0-10	10-20
	2015/2016		2016/2017	
Mombaça sem N	40,70 c	42,44 b	55,73 a	88,39 a
Mombaça com N	65,44 b	44,86 a	54,20 a	109,02 a
Mombaça com G	94,31 a	45,19 a	45,35 a	167,61 a
Mombaça com J	84,32 a	45,93 a	61,22 a	52,77 a
<b>Fontes de P</b>				
Sem P	74,39 a	44,05 a	51,90 a	89,07 a
Bayóvar	73,31 a	44,80 a	52,69 a	84,87 a
SFT	65,86 a	44,96 a	57,79 a	139,40 a
F SF	27,43 **	12,97 **	2,42 ns	2,07 ns
F Fontes de P	1,40 ns	1,42 ns	1,00 ns	1,22 ns
Interação SF x Fontes de P	0,69 ns	2,89 *	1,52 ns	0,82 ns
CV parcela (%)	22,08	3,65	23,53	105,18
CV sub parcela (%)	21,92	3,26	27,07	110,96

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de fator SF e fontes de P, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (MOMBAÇA SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forrageira em cobertura (MOMBAÇA COM N), mombaça consorciação com Java (MOMBAÇA COM J) e mombaça com feijão guandú (MOMBAÇA COM G) <sup>(2)</sup>; ns: Não significativo. \* e \*\* a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

O P extraído pelo  $Pi_{Hid\ 0,5}$ , desdobra formas orgânicas e inorgânicas de fósforo similares às extraídas pelo  $NaOH\ 0,1\ mol\ L^{-1}$ , porém não estimadas por este por estarem fisicamente protegidas no interior de microagregados (CROSS; SCHLESINGER, 1995).

Houve um aumento da fração não lábil em superfície no teor de  $Pi_{NaOH\ 0,5}$ , semelhantes aos valores encontrados por Gatiboni et al. (2007), que variam entre 73,1 e 121,8 mg kg<sup>-1</sup>. Estes podem ser reflexo dos altos valores de pH nos SF consorciados apresentados na (TABELA 3). O comportamento desta fração de P

mostra a sua maior interação com o solo, seus efeitos são observados mais tardiamente.

No desdobramento da Interação do SF entre as fontes de P, para o ano agrícola 2015/2016 na camada de 10 - 20 cm, apresentou diferença do teor de  $Pi_{Hid\ 0,5}$  para os SF exceto o MOMBAÇA SEM N quando teve ausência de P (Tabela 18). Dentro das fontes de P, o bayóvar e a ausência de P alteraram o  $Pi_{Hid\ 0,5}$  exceto no SF MOMBAÇA SEM N.

**Tabela 18.** Desdobramento da interação significativa entre o Sistema de Forragem e fontes de P, dos teores médios de  $Pi_{Hid\ 0,5}$  no solo, extraído com NaOH 0,5 mol l<sup>-1</sup>; referente a aplicação de P em cobertura, no ano 2015.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	Fontes de P		
	Sem P	Bayóvar	SFT
Mombaça sem N	40,18 bB	42,72 abB	44,43 aA
Mombaça com N	44,95 aA	45,04 aAB	44,59 aA
Mombaça com G	45,21 aA	46,66 aA	45,94 aA
Mombaça com J	45,88 aA	44,79 aAB	44,90 aA
CV parcela (%)		3,65	
CV sub parcela (%)		3,26	

\*Médias seguidas de letras minúsculas distintas na linha e letras maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (MOMBAÇA SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forrageira em cobertura (MOMBAÇA COM N), mombaça consorciação com Java (MOMBAÇA COM J) e mombaça com feijão guandú (MOMBAÇA COM G).

Para os teores de  $Pi_{Hid\ 0,5}$  houve interação na camada de 10 – 20 cm, O aumento do teor de  $Pi_{Hid\ 0,5}$  nesse caso pode ser resultado da hipótese, que o cultivo de mombaça possibilitou a redução de uma forma ainda menos lábil e assim o P passou para essa forma oclusa, pouco lábil. Apesar do acúmulo das frações de P nas primeiras camadas do solo em função das aplicações de P na superfície, houve uma redistribuição do P no perfil, principalmente até a camada de 10-20 cm.

Ao passo que as fontes de P, para o bayóvar e o Sem P os SF MOMBAÇA COM J e MOMBAÇA COM G e o MOMBAÇA COM N aumentaram o teor desta fração de P não lábil, sendo os efeitos um reflexo da atividade radicular da mombaça.

A menor concentração do P pouco lábil na camada de 0-5 cm do solo cultivado com braquiária é o resultado da ciclagem do P realizada por essas plantas em sistema de rotação, promovendo distribuição do P em outras camadas do solo

ou em transformação da forma de P ocluso em formas mais lábeis. Além disso, o teor de matéria orgânica na primeira camada é maior após o cultivo de braquiária, o que resulta em redução da capacidade adsortiva de P do solo (ALMEIDA et al., 2003).

Para os teores de  $Po_{Hid\ 0,5}$  na camada de 0 – 10 cm não houve interação significativa para os SF e as Fontes de P, nos anos agrícolas de 2015/16 e 2016/17 nas camadas 0 – 10 e 10 - 20 cm (Tabela 19). Quanto aos efeitos isolados, houve diferenças para os teores  $Po_{Hid\ 0,5}$  no ano 2015/16 para a camada de 0 -10 cm com um aumento do SF MOMBAÇA COM G em relação ao MOMBAÇA SEM N. Para as demais profundidades nos dois anos, não foram observados alteração dos valores de  $Po_{Hid\ 0,5}$ .

**Tabela 19.** Teores médios de  $Po_{Hid\ 0,5}$  no solo, extraído com NaOH 0,5 mol l<sup>-1</sup>; em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	$Po_{Hid\ 0,5}$ (mg kg <sup>-1</sup> )			
	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	0-10	10-20
	2015/2016		2016/2017	
Mombaça sem N	9,57 b	14,64 a	21,32 a	8,26 a
Mombaça com N	10,10 b	13,61 a	21,00 a	10,66 a
Mombaça com G	14,14 a	14,12 a	20,76 a	12,06 a
Mombaça com J	16,61 a	13,63 a	18,06 a	10,52 a
<b>Fontes de P</b>				
Sem P	12,33 a	13,07 a	22,09 a	9,41 a
Bayóvar	12,71 a	14,33 a	19,95 a	11,21 a
SFT	12,77 a	14,61 a	22,08 a	10,51 a
F SF	26,53 **	0,32 ns	0,93 ns	2,02 ns
F Fontes de P	0,16 ns	0,89 ns	1,71 ns	0,63 ns
Interação SF x Fontes de P	1,84 ns	2,26 ns	1,32 ns	1,29 ns
CV parcela (%)	18,81	24,89	24,97	44,06
CV sub parcela (%)	17,93	21,46	26,99	36,95

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de fator SF e fontes de P, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (MOMBAÇA SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forrageira em cobertura (MOMBAÇA COM N), mombaça consorciação com Java (MOMBAÇA COM J) e mombaça com feijão guandú (MOMBAÇA COM G) <sup>(2)</sup>; ns: Não significativo. \* e \*\* a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

De acordo com Galvani et al. (2008) a redistribuição do P no perfil do solo se dá com as frações de P orgânico, como uma consequência da decomposição dos resíduos das plantas e das raízes. Mas, ao contrário do que se

esperava, a participação do P orgânico só apresentou diferença na camada de 0 – 10 cm para os SF MOMBAÇA COM J e MOMBAÇA COM G.

De acordo com Cross e Schlesinger (1995) e Gatiboni et al. (2007), as plantas que crescem em solos altamente intemperizados, como os Latossolos, são mais dependentes do P orgânico, pois esses solos possuem pouco P disponível para as plantas e a maior parte do P inorgânico é encontrada fixada aos óxidos de Fe e Al.

Segundo Almeida et al. (2014), a maior disponibilidade das frações de P após o cultivo de braquiária ocorreu principalmente na camada de 0-5 cm, onde o pH do solo é alto. Portanto, a menor participação do P orgânico sobre o cultivo de braquiária pode ter resultado da maior mineralização dessa fração.

Não foi observado interação significativa entre sistema de forragem (SF) e fontes de fósforo (P) para os teores de P<sub>residual</sub>. Quanto ao efeito isolado, os SF no ano agrícola de 2016/17 alteraram os teores de P<sub>residual</sub> (Tabela 20). No ano 2016/17 na camada de 0 - 10 cm apresentou um aumento de 39%, 6% e 14% para os SF MOMBAÇA COM J, MOMBAÇA COM G e MOMBAÇA COM N em relação ao MOMBAÇA SEM N. Na camada de 10 - 20 cm um aumento de 58% e 49% dos SF MOMBAÇA COM N e MOMBAÇA COM G em relação ao MOMBAÇA SEM N. Quanto ao efeito isolado, as Fontes de P nos anos agrícolas de 2015/16 e 2016/17 não alteraram os teores de P<sub>i Residual</sub>.

**Tabela 20.** Teores médios de P<sub>residual</sub> no solo; em função de fontes de P aplicadas em cobertura no ano 2015.

Sistema de Forragem <sup>(1)</sup>	P <sub>residual</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )			
	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	0-10	10-20
	2015/2016		2016/2017	
Mombaça sem N	240,98 a	271,61 a	353,76 b	312,98 bc
Mombaça com N	403,38 a	340,47 a	403,66 ab	417,63 a
Mombaça com G	255,44 a	307,93 a	494,52 a	394,15 ab
Mombaça com J	340,55 a	301,57 a	377,49 ab	263,02 c
<b>Fontes de P</b>				
Sem P	287,96 a	291,71 a	405,13 a	326,94 a
Bayóvar	339,21 a	332,25 a	438,11 a	394,99 a
SFT	303,09 a	292,22 a	378,83 a	318,91 a
F SF	2,93 ns	0,74 ns	3,17 *	9,83 **
F Fontes de P	0,45 ns	1,43 ns	0,74 ns	1,63 ns
Interação SF x Fontes de P	0,39 ns	0,72 ns	0,46 ns	1,88 ns

CV parcela (%)	50,87	25,48	33,97	37,70
CV sub parcela (%)	49,71	37,17	29,40	22,83

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro de fator SF e fontes de P, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup> Sistema de Forragem mombaça sem aplicação da adubação nitrogenada (MOMBAÇA SEM N), mombaça com adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forrageira em cobertura (MOMBAÇA COM N), mombaça consorciação com Java (MOMBAÇA COM J) e mombaça com feijão guandú (MOMBAÇA COM G) <sup>(2)</sup>; ns: Não significativo. \* e \*\* a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

No ano de 2015/2016 o teor de P<sub>residual</sub> na camada de 0 - 10 e 10 - 20 cm não houve respostas para a extração do P<sub>residual</sub>. O P residual é uma fração de difícil acesso pelos extratores químicos seletivos usados nos esquemas de fracionamento, e que pode contribuir para a nutrição das plantas apenas em situações de extrema carência do nutriente no solo (GATIBONI et al., 2005).

Isso mostra que o P<sub>residual</sub> foi preservado enquanto as formas de labilidade intermediária tinham capacidade de repor as mais lábeis. Quando as formas intermediárias diminuíram sua capacidade de reposição, o P<sub>residual</sub> passou a ser a fonte de fósforo para o sistema.

Segundo Gahoonia et al. (2000), o aumento da absorção de P só irá resultar em grandes avanços se estiver correlacionado à mecanismos que alterem a disponibilidade de P no solo.

## **6 CONCLUSÕES**

Fica evidenciado que em solos arenosos o uso de fontes de P juntamente ao seu consorcio com leguminosa forrageira ou adubação nitrogenada geram uma redistribuição de P menos lábeis para mais lábeis no perfil do solo em curto e médio prazo.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. S. **Disponibilidade de fósforo em solo cultivado com braquiária em rotação com soja**. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2014.
- ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 985-1002, 2003.
- AZEVEDO, R.L.; RIBEIRO, G. T.; AZEVEDO, C. L. L. Feijão Guandu: uma planta multiuso. **Revista da Fapese**, v.3, n.2, p. 81-86 jul./dez. 2007.
- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; SILVA, O.F. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p. 69-76, 2005.
- BEDIN, I. et al. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **R. Bras. Ci. Solo**, v.27, p.639- 646, 2003.
- BONAMIGO, L.A. Recuperação de pastagens com guandu em sistema de plantio direto. **Informações Agrônomicas**, n. 88, 8 p., 1999, (Encarte Técnico Potafos).
- CAIONE, G. et al. Fontes de fósforo em variedades de cana-de-açúcar forrageira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 66-73, 2011.
- CAIONE, G.; FERNANDES, F.M.; LANGE, A. Efeito residual de fontes de fósforo nos atributos químicos do solo, nutrição e produtividade de biomassa da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, p.189-196, 2013.
- CARVALHO, G. G. P; E PIRES, A. J. V. Leguminosas tropicais herbáceas em associação com Pastagens. **Archivos de Zootecnia**, v.57, p. 104, 2008.
- CATANI, R. A.; BATAGLIA, O. C. Formas de ocorrência do fósforo no solo latosólico roxo. **Anais... E.S.A. "Luiz de Queiroz"**, v. XXV, p.99-119, 1968.
- CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 41, n. 3, p. 227-234, 1995.
- CONDRON, L. M.; GOH, K. M. Effects of long-term phosphatic fertilizer applications on amounts and forms of phosphorus in soils under irrigated pasture in New Zealand. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 40, p. 383-395, 1989.
- CONDRON, L.M.; GOH, K.M.; NEWMAN, R.H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by <sup>31</sup>P nuclear magnetic resonance analysis. **Journal of Soil Science**, Oxford, v 36, p.199-207, 1985.

COSTA, K.A.P. et al. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I - Alterações nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 1591-2599, 2008.

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**, Amsterdam, v. 64, p. 197-214, 1995.

DAKORA, F. D.; PHILLIPS, D. A. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient Environments. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 245, p. 35–47, 2002.

DUFF, S. M. G.; SARATH, G.; PLAXTON, W. C. The role of acid phosphatases in plant phosphorus metabolism. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 90, p. 791–800, 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306p.

FAGUEIRA, N. K.; STONE, L.F. Química e Mineralogia do solo parte II - Aplicações. 1. ed. Viçosa: Galva, 2009. cap. 4, p.164 – 167.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR V. C. Fertility management of tropical acid soils for sustainable crop production. In: **Handbook of soil acidity**. 2003. p.359–385.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR V. C. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**, v,99, p.345–399, 2008.

FERNANDES , L.A. et al. Formas de fósforo em solos de várzea e biodisponibilidade para o feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.373-383, 2002.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FRANCHINI, J. C. et al. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 231, p. 55- 63, 2001.

FREIRE, F. M.; FONSECA, D.M.; CANTARUTTI, R.B. Manejo da fertilidade do solo em pastagens. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n.226, p.44-53, 2005.

GAHOONIA, T. S. et al. Root-released organic acids and phosphorus uptake of two barley cultivars in laboratory and field experiments. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 12, p. 281-289, 2000.

GALVANI, R.; HOTTA, L.F.K; ROSOLEM, C.A Phosphorus spurces and fractions in na oxisol under no-tilled soybean. **Scientiqa agrícola**, Piracicaba, v. 65, n.4, p.415-421, 2008.

GATIBONI, L. C. et al. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.31, p.691-699, 2007.

GATIBONI, L. G.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. Modificações nas formas de Fósforo do solo após extrações sucessivas com Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina Trocadora de Ânions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p.363-371, 2005.

GATIBONI, L.C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 231f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GATIBONI, L.C. et al. Fracionamento químico das formas de fosforo no solo: usos e limitações. In: **Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo**. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, 2013. v.8, p.141-187.

GUO, F.; YOST, R. S. Partitioning soil phosphorus into three discrete pools of differing availability. **Soil Science**, Baltimore, v. 163, p. 822-833, 1998.

GUPPY, C.N. et al. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. **Austr. J. Soil Res.**, v.43, p.189-202, 2005.

HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; CHAUHAN, B. S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, p. 970-976, 1982.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 237, n. 2, p. 173–195, 2001.

HOLFORD, I.C.R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. **Australian Journal of Soil Research**, v. 35, n. 2, p. 227-240, 1997.

HU, H. Q.; TANG, C. X.; RENGEL, Z. Role of phenolics and organic acids in phosphorus mobilization in calcareous and acidic soils. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 28, p. 1427–1439, 2005.

JONES, D. L. Organic acids in the rhizosphere: a critical review. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 205, p. 25–44, 1998.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: SBCS/NRS, 1997. 31 p. (Boletim técnico, 3).

KAMPRATH, E. J. Phosphorus fixation and availability in highly weathered soil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 1977, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1977. p.333-347.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con um estudio de los climas de la tierra. México: FCE, p. 482-487, 1948.

LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley & Sons, 1979. 449p.

LOPES, J. et al. Valor nutritivo do estílozantes mineirão em função da correção do solo. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 99-105, jan. /mar. 2012.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e Aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MERLIN, A. **Disponibilidade de Fósforo para a soja cultivada sobre braquiária**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu-SP, 2008.

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

MOUCAWI, J.; FUSTEC, E.; JAMBU, P. Biooxidation of added and natural hydrocarbons in soil: effect of iron. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 13, p. 335-342, 1981.

NATH, R. L. Influence of structure of substrate on the hydrolysis of alkyl and aryl phosphates by phosphohydrolases: Mechanism of acid and alkaline phosphatases. **New York Academy of Sciences. Annals**, Hoboken, v. 166, p. 653-668, 1969.

NERES, M. A. et al. Características produtivas, estruturais e bromatológicas dos capins Tifton 85 e Piatã e do feijão - guandu cv. Super N, em cultivo singular ou em associação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.5, p.862-869, mai, 2012.

NEUMANN, G.; RÖMHELD, V. Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus-deficient plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 211, p. 121–130, 1999.

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

OLIBONE, D.; ROSOLEM, C. A. Phosphate fertilization and phosphorus forms in an oxisol under no-till. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 67, n. 4, aug. 2010.

PARFITT, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, New York, v. 30, p. 1-50, 1978.

PAVINATO, P. S. **Dinâmica do fósforo no solo em função do manejo e da presença de resíduos em superfície**. 2007. 145f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu-SP, 2007.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 1031-1040, 2009a.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de Nutrientes no Solo – Decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 911-920, 2008.

PROCHNOW, L. S.; FRANCISCO, J. F. B.; BRAGA, E. A. G. Effectiveness of phosphate fertilizers of different water solubilities in relation to soil phosphorus adsorption. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, v. 4, p. 333-340, July/Aug. 2006.

RAIJ, B. V. et al. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

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

RAIJ, B. van. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Eds.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 107-114 e p.563-582.

RAIJ, B.V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 284p.

RANNO, S. K.; SILVA, L. S.; MALLMANN, F. J. K. Fracionamento do Fósforo Inorgânico em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 1, p. 47-54, jan./mar. 2007.

RESENDE, A.V. et al. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.30, p.453-466, 2006.

ROLIM NETO, F.C. et al. Adsorção de fosforo, superficie especifica atributos mineralogicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciências do solo**, Viçosa, v.28, n. 6, p.953-964, 2004.

SANCHEZ, C. A. Phosphorus. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. (Eds.). **Handbook of plant nutrition**. Boca Raton: CRC Press, 2007. p. 51-90.

SANTOS, D.R; ANGHINONI, I.; FLORES, A. F. Organic and inorganic phosphorus as characterized by phosphorus-31 nuclear magnetic resonance in subtropical soils under management systems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 33, p. 1853–1871, 2002.

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

SANTOS, D.R.; 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 Ciências do Solo**, v.24 p.345-354, 2000.

SCHULZE, D.G. An introduction to soil mineralogy. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Eds.) **Minerals in Soil Environments**. Madison: SSSA, 1989. p. 1-34.

SHARPLEY, A. N. Soil phosphorus dynamics: agronomic and environmental Impacts. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 5, p. 261-279, 1995.

SIQUEIRA, J. O.; ANDRADE, A. T.; FAQUIM, V. O papel dos microrganismos na disponibilização e aquisição de fósforo pelas plantas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Eds.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p.117-149.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. Piracicaba: Potafós, 2003. 16p. (Informações Agronômicas, 102).

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G., LOBATO, E. (Eds.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.147-168.

SOUSA, R.A.; SILVA, T.R.B. Acidificação de um Latossolo Vermelho Distroférrico em função da aplicação de nitrogênio oriundo de ureia, sulfato de amônio e sulfammo. **Cultivando o Saber**, v.2, p.78-83, 2009.

SOUZA JÚNIOR, R. F. et al. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.159-169, 2012.

STEWART, J. W. B.; TIESSEN, H. Dynamics of soil organic phosphorus. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 4, p. 41-60, 1987.

SYERS, J. K.; JOHNSTON, A. E.; CURTIN, D. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. Rome: FAO, 108p. 2008. 2008.

TATE, K. R. The biological transformation of P in soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 76, p. 245-256, 1984.

TELES, A. P. B. **Influência de plantas de cobertura e fertilizantes fosfatados nas frações de fósforo e nos atributos químicos do solo**. 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba - SP, 2014.

VOLKSWEISS, S.; RAIJ, B. van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: FERRI, M. G., (Coord.) SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 1977, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, p. 317-332. 1977.

XIONG, L. M. et al. Isotopic assessment of soil phosphorus fertility and evaluation of rock phosphates as phosphorus sources for plants in subtropical China. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 63, n. 1, p. 91-98, May 2002.

ZAPATA, F.; ROY, R. N. **Use of phosphate rocks for sustainable agriculture.**  
Rome: FAO, 147p. 2004.