

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

**CICLAGEM E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO PARA A SOJA EM ROTAÇÃO  
COM BRAQUIÁRIA COMO ESPÉCIE DE COBERTURA**

**MONIKI CAMPOS JANEGITZ**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus  
de Botucatu, para a obtenção do título de  
Mestre em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU-SP

Março - 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

**CICLAGEM E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO PARA A SOJA EM ROTAÇÃO  
COM BRAQUIÁRIA COMO ESPÉCIE DE COBERTURA**

**MONIKI CAMPOS JANEGITZ**

Orientador: Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus  
de Botucatu, para a obtenção do título de  
Mestre em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU-SP

Março - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

J33c Janegitz, Moniki Campos, 1987-  
Ciclagem e disponibilidade de fósforo para a soja em rotação com braquiária como espécie de cobertura / Moniki Campos Janegitz. - Botucatu : [s.n.], 2012  
xi, 78 f. : il., color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012  
Orientador: Ciro Antonio Rosolem  
Inclui bibliografia

1. Soja. 2. Semeadura direta. 3. Fósforo. 4. Braquiária. 5. Cobertura. I. Rosolem, Ciro Antonio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CICLAGEM E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO PARA A SOJA EM  
ROTAÇÃO COM BRAQUIÁRIA COMO ESPÉCIE DE COBERTURA

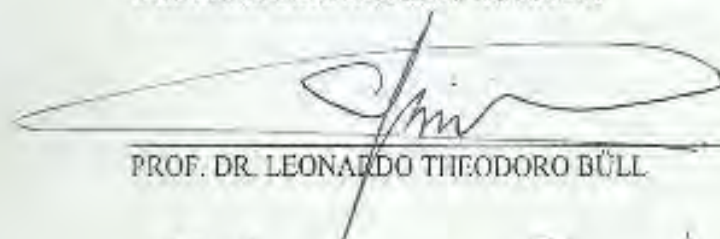
ALUNA: MONIKI CAMPOS JANEGITZ

ORIENTADOR: PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM

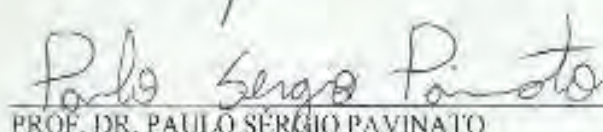
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM



PROF. DR. LEONARDO THEODORO BULL



PROF. DR. PAULO SÉRGIO PAVINATO

Data da Realização: 02 de março de 2012.

### ***Agradecimentos***

*Primeiramente a Deus, e pela intercessão de Santo Expedito e Nossa Senhora Aparecida, por tudo e todas as conquistas alcançadas.*

*Aos meus pais Milton Janegitz e Maria Ap. de Campos Janegitz, pela educação, carinho, compreensão e “alicerce de vida” que sempre me ofereceram, e ao meu irmão Bruno Campos Janegitz, pelos conselhos nas horas em que mais precisei.*

*À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro concedido por meio de bolsa de estudo.*

*Aos funcionários de campo do Departamento de Produção Vegetal (DPV), que contribuíram na condução do experimento em nível de campo.*

*Aos funcionários da Secretaria, em especial à Gabriela Radi e ao Dorival Pires Arruda, auxiliar e técnico do laboratório Relação Solo-Planta, pelos importantes auxílios e sugestões nas análises realizadas (“foram muito sufoco...”).*

*Aos amigos e colegas Fabiana Golin Luiggi (Fabi), Elisângela Miranda (Dan), Aline de Oliveira Matoso, Fabio Steiner, Laércio Piveta e Mário Estéfano Ambrózio (Marinho) que de alguma forma cooperaram para este trabalho.*

*Aos estagiários, Loreana Bertolucci (Kurupi) e Pedro Leão (Picareta).*

*Aos professores do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, em especial a Rogério Peres Soratto e ao meu orientador, Ciro Antonio Rosolem, pelos valiosos ensinamentos, paciência, compreensão e amizade.*

*Ao professor Dr. Rony Farto Pereira pelo auxílio proporcionado*

*Enfim, a todos os que contribuíram direta e indiretamente na execução deste trabalho,*

***Meus sinceros agradecimentos.***

**O TEMPO amadurece todas  
as coisas. Nenhum homem  
nasce SÁBIO...**

*Cervantes*

**DIFICULDADES reais podem ser  
resolvidas; apenas as imaginárias  
são insuperáveis.**

*Theodore N. Vail*

**...Toda vitória é ALCANÇADA com luta e  
sofrimento. Porém, a luta passa, o  
sofrimento é apenas temporário, e a  
VITÓRIA que se consegue PERMANECE...**

*James Allen*

## SUMÁRIO

|  | Página      |
|--|-------------|
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>   | <b>VIII</b> |
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>   | <b>X</b>    |
| <b>1.RESUMO.....</b>   | <b>01</b>   |
| <b>2.SUMMARY.....</b>  | <b>02</b>   |
| <b>3. INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>03</b>   |
| <b>4. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                                 | <b>05</b>   |
| 4.1. Formas de fósforo no solo.....                                  | 05          |
| 4.2. Plantas de cobertura e disponibilidade de fósforo no solo.....  | 09          |
| 4.3. O fósforo em sistema de semeadura direta.....                   | 12          |
| 4.4. Adubação fosfatada na soja.....                                 | 13          |
| <b>5. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                                    | <b>15</b>   |
| 5.1. Localização e caracterização da área experimental.....          | 15          |
| 5.2. Características edáficas e climáticas da área experimental..... | 16          |
| 5.3. Tratamentos e delineamento experimental.....                    | 17          |
| 5.4. Condução do experimento.....                                    | 18          |
| 5.4.1. Semeadura e cultivo de braquiária.....                        | 18          |
| 5.4.2. Semeadura e cultivo da soja (novembro 2010 - março 2011)..... | 19          |
| 5.5. Coleta de solo.....   | 20          |
| 5.6. Avaliações no solo.....   | 21          |
| 5.6.1. Fertilidade.....  | 21          |
| 5.6.2. Fósforo microbiano.....                                       | 21          |
| 5.6.3. Índice de saturação de fósforo no solo.....                   | 21          |
| 5.6.4. Capacidade máxima de adsorção de fósforo.....                 | 22          |
| 5.7. Avaliações na braquiária.....                                   | 23          |
| 5.8. Avaliações na soja.....   | 23          |
| 5.9. Análises estatísticas.....                                      | 24          |
| <b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                | <b>25</b>   |
| 6.1. Fertilidade do solo.....  | 25          |

|   |    |
|---|----|
| 6.1.1. Acidez do solo (pH e H+Al) .....   | 26 |
| 6.1.2. Matéria Orgânica.....  | 28 |
| 6.1.3. Fósforo disponível no solo na semeadura da soja.....   | 29 |
| 6.1.4. Cálcio, Magnésio, Potássio e Saturação por Bases.....  | 31 |
| 6.2. Fósforo disponível no solo na maturação fisiológica da soja.....                                   | 34 |
| 6.3. Fósforo microbiano no solo na semeadura da soja.....   | 38 |
| 6.3.1. Fósforo microbiano no solo na fase reprodutiva da soja.....                                      | 40 |
| 6.4. Índice de saturação de fósforo no solo na semeadura da soja.....                                   | 43 |
| 6.4.1. Índice de saturação de fósforo no solo na fase reprodutiva da soja.....                          | 45 |
| 6.5. Capacidade máxima de adsorção de fósforo no solo.....  | 48 |
| 6.6. Avaliações de massa de matéria seca e teor de fósforo na braquiária.....                           | 51 |
| 6.6.1. Ciclagem de fósforo na braquiária.....   | 53 |
| 6.7. Diagnose foliar para o fósforo e massa de matéria seca da soja.....                                | 55 |
| 6.7.1. Produtividade, teor e acúmulo de fósforo no grão, e índice de eficiência de utilização de P..... | 59 |
| 7. CONCLUSÕES.....  | 65 |
| 8.REFERÊNCIAS.....  | 66 |
| 9.APÊNDICES .....   | 79 |
| Apêndice 1.....   | 79 |
| Apêndice 2.....   | 80 |
| Apêndice 3.....   | 80 |

## LISTA DE TABELAS

|   |           |
|---|-----------|
| Tabela 1: Formas e terminologia do fósforo.....   | <b>07</b> |
| Tabela 2: Quantidade de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total aplicado na área experimental ao longo dos anos, desde a implantação do ensaio na safra 2001/2002 a 2010/2011.....  | <b>16</b> |
| Tabela 3: Valores das características químicas e granulométricas do solo da área experimental. Abril de 2010.....   | <b>17</b> |
| Tabela 4: Ausência e presença de braquiária e as combinações com as respectivas doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> na semeadura da soja e o P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total para os tratamentos em parcelas e subparcelas, empregados na área, a partir de 2006.....  | <b>18</b> |
| Tabela 5: Característica química e constituição física dos insumos utilizados nos tratamentos<br>.....  | <b>19</b> |
| Tabela 6: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa no pH, fósforo (P), matéria orgânica (MO), hidrogênio e alumínio (H+Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e saturação por bases (V%) (RAIJ et al., 2001), nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço (Pi) e da presença e ausência de braquiária ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ). Novembro de 2010.....   | <b>26</b> |
| Tabela 7: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa no fósforo disponível extraídos por resina trocadora de íons (mg dm <sup>-3</sup> ) em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R <sub>6</sub> ), em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço (Pi), presença e ausência de braquiária ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) e doses de fósforo (PP) no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> de SFT). Fevereiro de 2011..... | <b>35</b> |
| Tabela 8: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa na análise de fósforo microbiano (mg dm <sup>-3</sup> ) nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço (Pi) e da presença e ausência de braquiária ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ). Novembro de 2010.....   | <b>38</b> |
| Tabela 9: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa no fósforo microbiano (mg dm <sup>-3</sup> ) em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R <sub>6</sub> ), em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço (Pi), presença e ausência de braquiária ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) e doses de fósforo (PP) no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> na forma de SFT). Fevereiro de 2011.....                               | <b>40</b> |
| Tabela 10: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa na análise de índice de saturação de fósforo % (PSI) nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço (Pi) e da presença e ausência de braquiária ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ). Novembro de 2010.....   | <b>44</b> |

Tabela 11: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa no índice de saturação de fósforo % (PSI) em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>), em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço (Pi), presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) e doses de fósforo (PP) no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de SFT). Fevereiro de 2011.....**46**

Tabela 12: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa na análise de capacidade máxima de adsorção de fósforo no solo (mg g<sup>-1</sup>) (CMAP) e energia de adsorção de fósforo (L mg<sup>-1</sup>) nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço (Pi) e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*). Novembro de 2010.....**49**

Tabela 13: Valores médios de massa de matéria seca e teor de fósforo na braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) antes da dessecação. Novembro de 2010.....**52**

Tabela 14: Valores médios de quantidade de fósforo na palha de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) em consequência das diferentes coletas, referentes a 0,15, 30, 60 e 90 dias após a dessecação.....**53**

Tabela 15: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa para teor de fósforo nas folhas em pleno florescimento – 50 DAE (Estádio R<sub>2</sub>), e na planta, semente, e massa de matéria seca (MS) em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>), em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço (Pi), presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) e doses de fósforo (PP) no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de SFT).....**55**

Tabela 16: Tabela 16: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa para produção, teor de fósforo, acúmulo de fósforo no grão de soja e índice de eficiência de utilização de fósforo (EA) na colheita da soja na safra 2010/2011, em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço (Pi), presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) e doses de fósforo (PP) no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de SFT).....**59**

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Temperatura média, mínima, máxima (°C) e precipitação pluviométrica (mm) referentes ao período do ensaio (março de 2010 a abril de 2011).....**17**
- Figura 2: Valores médios de pH (CaCl<sub>2</sub>) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**27**
- Figura 3: Valores médios de Hidrogênio+ Alumínio (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**28**
- Figura 4: Valores médios de Matéria Orgânica (g dm<sup>-3</sup>) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**29**
- Figura 5: Valores médios de Fósforo (mg dm<sup>-3</sup>) no solo nas profundidades de 0-5, 5 10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**30**
- Figura 6: Valores médios de Cálcio (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**31**
- Figura 7: Valores médios de Magnésio (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**32**
- Figura 8: Valores médios de Potássio (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**33**
- Figura 9: Valores médios de Saturação por Bases (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**34**

Figura 10: Valores médios de fósforo disponível extraídos por resina trocadora de íons em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade) na interação ausência e presença de braquiária, em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço. Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte a barra= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**35**

Figura 11: Valores médios de fósforo disponível extraídos por resina trocadora de íons em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade) na interação ausência e presença de braquiária e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**36**

Figura 12: Valores médios de fósforo disponível extraídos por resina trocadora de íons em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade) na interação fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**37**

Figura 13: Valores médios de Fósforo microbiano (mg dm<sup>-3</sup>) no solo nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**39**

Figura 14: Valores médios de fósforo microbiano em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade) na interação ausência e presença de braquiária, em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço. Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**41**

Figura 15: Valores médios de fósforo microbiano em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade), na interação ausência e presença de braquiária e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**42**

Figura 16: Valores médios de fósforo microbiano em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade), na interação fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**43**

Figura 17: Valores médios do índice de saturação de fósforo (%) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**45**

Figura 18: Valores médios de índice de saturação de fósforo (%) no solo em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade), na interação ausência e presença de braquiária em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço. Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte a barra= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**46**

Figura 19: Valores médios de índice de saturação de fósforo (%) no solo em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade), na interação ausência e presença de braquiária e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Fevereiro de 2011. Linha na horizontal defronte a barra= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**47**

Figura 20: Valores médios de índice de saturação de fósforo (%) no solo em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade), na interação fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**48**

Figura 21: Valores médios da capacidade máxima de adsorção de fósforo no solo (valores expressos em mg de P por g de solo) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**50**

Figura 22: Valores médios de energia de adsorção de fósforo no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**51**

Figura 23: Valores médios de quantidade de fósforo na palha de braquiária (*Braquiária ruziziensis*), em função das diferentes coletas, referentes a 0, 15, 30, 60 e 90 dias após a dessecação.....**54**

Figura 24: Valores médios de retorno de fósforo ao solo através da palha de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), em função das diferentes coletas, referentes a 15, 30, 60 e 90 dias após a dessecação.....**54**

Figura 25: Valores médios de teor de fósforo nas folhas (a) em pleno florescimento – 50 DAE (Estádio R<sub>2</sub>), na planta (c), semente (d) e massa de matéria seca (MS) (b) em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>), na interação braquiária (ausência e presença) em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço. Linha na vertical, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**56**

Figura 26: Valores médios de teor de fósforo nas folhas (a) em pleno florescimento – 50 DAE (Estádio R<sub>2</sub>), na planta (c), semente (d) e massa de matéria seca (MS) (b) em plena maturação

fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>), na interação ausência e presença de braquiária e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT).....**57**

Figura 27: Valores médios de teor de fósforo nas folhas (a) em pleno florescimento – 50 DAE (Estádio R<sub>2</sub>), na planta (c), semente (d) e massa de matéria seca (MS) (b) em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) na interação fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Linha na vertical, defronte a barra = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**58**

Figura 28: Valores médios de produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) (a), teor de fósforo no grão (g kg<sup>-1</sup>) (b), acúmulo de fósforo nos grãos (kg ha<sup>-1</sup>) (c) e eficiência agrônômica de uso de fósforo (kg kg<sup>-1</sup>) (d) por ocasião da colheita da soja, na interação ausência e presença de braquiária em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço. Março de 2011. Linha na vertical, defronte a barra = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**60**

Figura 29: Valores médios de produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) (a), teor de fósforo no grão (g kg<sup>-1</sup>) (b), acúmulo de fósforo nos grãos (kg ha<sup>-1</sup>) (c) e eficiência agrônômica de uso de fósforo (kg kg<sup>-1</sup>) (d) por ocasião da colheita da soja, na interação ausência e presença de braquiária e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Março de 2011. Linha na vertical, defronte a barra = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**61**

Figura 30: Valores médios de produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) (a), teor de fósforo no grão (g kg<sup>-1</sup>) (b), acúmulo de fósforo nos grãos (kg ha<sup>-1</sup>) (c) e eficiência agrônômica de uso de fósforo (kg kg<sup>-1</sup>) (d) por ocasião da colheita da soja, na interação fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Março de 2011. Linha na vertical, defronte a barra = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**62**

## 1.RESUMO

Os solos tropicais são carentes em fósforo (P), em consequência do material de origem e dos altos conteúdos de Fe e Al. Como o P é uma fonte mineral não renovável, as reservas mundiais são finitas e o custo da adubação é significativo, a utilização do nutriente deve obedecer a uma filosofia de maximização da eficiência. O uso do sistema de semeadura direta promove o aumento de matéria orgânica nos horizontes superficiais do solo, em decorrência da deposição de palhada, alterando a dinâmica do P e, recentemente, tem-se atribuído à braquiária a característica de disponibilizar P às culturas subsequentes. O objetivo principal deste trabalho foi avaliar o efeito do cultivo de braquiária como espécie de cobertura na ciclagem e disponibilidade de P no sistema, assim como na resposta da soja à adubação fosfatada, em sistema de semeadura direta. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Lageado, na Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP-Botucatu, Estado de São Paulo. Constou de 3 tratamentos iniciais (adubação com Fosfato Natural e Solúvel, mais uma testemunha), presença ou não de braquiária e 3 doses de P na semeadura da soja. É uma área conduzida em semeadura direta com rotação de culturas há dez anos, sendo a braquiária introduzida nos últimos cinco anos, de modo que as aplicações de P na área até hoje já chegaram a 800 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$ . Foram realizadas amostragens de solo na época da semeadura da soja (após a dessecação da braquiária), para fins de análise de fertilidade e determinação das formas de P presentes no solo, como: P microbiano, capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP), índice de saturação de fósforo e também no estágio  $R_6$  (em plena maturação fisiológica) para avaliação do P microbiano e P disponível. A palhada de braquiária foi amostrada na dessecação e aos 15, 30, 60 e 90 dias após a dessecação, para análise de P. Nas plantas de soja, foi analisado o teor e acúmulo de P, a produtividade de grãos, a produção de matéria seca e a eficiência agrônômica de uso de P, a partir dos dados de produtividade e quantidade de P aplicado. Conclui-se que a aplicação tanto de fosfato reativo como de superfosfato em área total sem incorporação aumenta o teor de P no perfil do solo e na planta de braquiária. O cultivo de braquiária resulta em maior teor de P microbiano e redução na capacidade máxima de fixação de fósforo. Embora esses efeitos possam melhorar a eficiência de utilização dos fosfatos, a resposta da soja não foi modificada. Para a eficiência agrônômica de uso de P, houve diminuição do efeito para o fosfato aplicado a lanço, com melhores respostas em adubação localizada no sulco de semeadura da soja com Superfosfato Triplo.

## **AVAILABILITY AND CYCLING OF PHOSPHORUS FOR SOYBEAN IN ROTATION WITH BRACHIARIA AS COVER CROP.**

Botucatu, 2012. 78 fl. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MONIKI CAMPOS JANEGITZ

Adviser: CIRO ANTONIO ROSOLEM

### **2. SUMMARY**

The Brazilian soils are deficient in phosphorus, as a result of the source material and the interaction strong with the ground. Considering that phosphorus is a finite mineral source, the introduction of a brachiaria as cover crop might increase the use of less labile soil P forms, increasing P availability to subsequent crops, which is a fundamental component of a sustainable crop rotation system. This work compares the ability of brachiaria to recycle phosphorus and increase soil P availability and its effects on soybean yields in no till systems. The experiment was carried out on Lageado Experimental Farm. This experimental area is conducted with no-tillage and crop rotation since 2000, and brachiaria introduced in the last five years. In another hands, the phosphorus application in area reaches 350 kg ha<sup>-1</sup> of P. The treatments consisted of a control (0.0 P), soluble and reactive rock phosphate spread over the soil (80 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), and brachiaria was cropped in half of the plots. Soybean was fertilized with 0, 30 and 60 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> as triple superphosphate. Brachiaria was chemically desiccated and soybean was planted over the straw in November. Soil samples were taken before soybean planting (November, 2010) and at the R<sub>6</sub> stage (February, 2011). P was analyzed in the soil profile down to 40 centimeters in the first sample, and the second sample was soil profile until to 10 centimeters. The brachiaria straw was sampled and drying at before and 15, 30, 60 and 90 days after desiccation, to analyze the P accumulation. Phosphorus accumulation in soybeans, soybean production, dry matter and agronomy efficient of use of P in the system were determined. It's conclude the phosphorus sources spread over the soil on total area without incorporation increases the P content in the soil profile and Brachiaria plant. The Brachiaria results in higher levels of microbial P and reduction in maximum phosphorus adsorption capacity. Although these effects can improve the utilization efficiency of phosphate, the soybean response was not modified. And for Agronomic efficiency of phosphorus use were smaller with sources spread over the soil, the better responses were when soluble phosphate fertilization in soybean sowing.

---

**Keywords:** 1. Agronomic efficiency of phosphorus use, maximum phosphorus adsorption capacity, microbial phosphorus.

### 3. INTRODUÇÃO

A adubação é um dos fatores que mais afeta a produtividade agrícola, assim como os custos de produção, com reflexos na rentabilidade da agricultura. Nesse contexto, a deficiência de fósforo (P) é importante, pois menos de 0,1% do total de P do solo se encontra em solução (FARDEAU, 1996), o que o torna o nutriente mais limitante da produtividade em solos tropicais (NOVAIS; SMYTH, 1999). Isso ocorre em função do material de origem, do manejo e da forte interação do nutriente com o solo (RAIJ, 1991). Considerando ainda que as reservas mundiais de P são finitas, a utilização do nutriente deve obedecer a uma filosofia de maximização da sua eficiência.

O fósforo encontra-se no solo desde a rede cristalina de alguns minerais até formas orgânicas estáveis. As frações inorgânicas e orgânicas estão em equilíbrio dinâmico (HEDLEY et al., 1982; TOKURA et al., 2002). Os ácidos orgânicos provenientes de resíduos vegetais afetam as formas de P no solo, tornando-as mais instáveis às reações de adsorção, o que pode resultar em maior movimentação desse nutriente, ao longo do perfil do solo (GALVANI et al., 2008; PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Assim, práticas de manejo que visem a manter ou aumentar a matéria orgânica do solo podem resultar em benefício no aproveitamento de P pelas plantas. Em sistema de semeadura direta (SSD), as coberturas vegetais promovem ciclagem de nutrientes, podendo torná-los disponíveis para as culturas

subsequentes, pois a absorção de nutrientes e a geração de acidez na rizosfera em leguminosas, assim como as associações de bactérias *diazotróficas*, influenciam a solubilização de P, causando modificações na quantidade de nutriente absorvido (BEKELE et al., 1983).

Apesar de muitos benefícios do SSD serem bem conhecidos e difundidos, ainda há carência de informações sobre os efeitos do cultivo de plantas de cobertura nas formas e a dinâmica do P no perfil do solo, o que poderia contribuir no desenvolvimento de manejos mais adequados da adubação fosfatada. Dessa forma, adotar um manejo que contribua para a redução da capacidade do solo de fixar o fósforo aplicado via fertilizante, como a rotação de culturas em SSD com a presença de braquiária, por exemplo, pode disponibilizar fósforo à cultura subsequente, sendo uma alternativa para melhorar a ciclagem e o aproveitamento do nutriente aplicado em solos tropicais. O objetivo principal deste estudo foi avaliar o efeito do cultivo de braquiária como espécie de cobertura na dinâmica, ciclagem e disponibilidade de P no sistema, assim como na resposta da soja à adubação fosfatada, em sistema de semeadura direta.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1. Formas de fósforo no solo

O P do solo é constituído por compostos derivados do ácido ortofosfórico e, menos comumente, dos pirofosfatos. A dinâmica do fósforo no solo está relacionada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato e alteram as propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo (RAIJ, 1991).

As formas predominantes de P na solução do solo são os íons  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ , encontrando-se ainda adsorvido aos compostos de Fe, Al e Ca, dependendo do valor de pH, podendo também se encontrar adsorvido à matéria orgânica (RAIJ, 1991; MACHADO et al., 1993). Embora o teor de P dos solos, de modo geral, esteja entre 200 e 3000  $\text{mg dm}^{-3}$ , menos de 0,1 % desse total se encontra em solução (FARDEU, 1996). Porém, em pH menor que 2, ocorre o predomínio da espécie  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , a espécie  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  pH, entre 2 e 6,5, entre pH 8 e 10, a espécie  $\text{HPO}_4^{2-}$  e pH acima de 12, a espécie  $\text{PO}_4^{3-}$  (BERKHEISER et al., 1980; PIERZYNSKI et al., 2000). As espécies de ortofosfatos tendem a interagir com os minerais de Fe e Al em pH menor que 5,8 e, acima desse valor, com os minerais Ca e Mg (SHARPLEY et

al., 1995). Entretanto, verifica-se na Tabela 1 um resumo das possíveis formas e terminologia empregada na descrição do P no solo, citado por Costa (2008).

O P do solo é dividido em dois grandes grupos: P inorgânico (Pi) e P orgânico (Po), dependendo da natureza do composto a que está ligado. O grupo do Pi pode ser separado em duas partes – o P dos minerais primários e o P adsorvido (BARROW, 1983). O grupo do P orgânico se torna extremamente importante nos solos tropicais, pois afeta a disponibilidade de P às plantas (CROSS; SCHLESINGER, 1995) e deve ser levado em consideração em estudos envolvendo a sua dinâmica e biodisponibilidade. O P orgânico é originário dos resíduos vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição. A grande variedade de compostos orgânicos no solo faz com que mais da metade das formas de P orgânico ainda não tenham sido identificadas. As principais formas já identificadas são os fosfatos de inositol, que compõem de 10 a 80% do P orgânico total, os fosfolipídios (0,5 a 7%), ácidos nucleicos ( $\approx$  3%) e outros ésteres fosfato ( $>$  5%) (RHEINHEIMER et al., 2002). Nos solos intemperizados, como os Latossolos, que apresentam maior característica de eletropositividade, menor capacidade de troca de cátions, maior adsorção aniônica, baixa saturação por bases, entre outras, predominam as formas inorgânicas de P ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente (NOVAIS; SMITH, 1999). De acordo com o grau de estabilidade desses compostos, eles são enquadrados como fosfatos lábeis e não-lábeis. A fração lábil é representada pelo conjunto de compostos fosfatados capazes de repor rapidamente a solução do solo, quando ele é absorvido por plantas ou por microrganismos. Por isso, as frações mais lábeis são dependentes do grau de intemperização do solo, da mineralogia, da textura, do teor de matéria orgânica, das características físico-químicas, da atividade biológica e da vegetação predominante (CROSS; SCHLESINGER, 1995).

Tabela 1: Formas e terminologia do fósforo.

| <b>Formas de Fósforo</b> | <b>Classificação</b>     | <b>Características</b>  |   |
|--------------------------|--------------------------|---|---|
| Inorgânicos              | Fosfatos                 | Ortofosfatos:<br>$\text{PO}_4^{2-}$ , $\text{HPO}_4^{2-}$<br>$\text{H}_2\text{PO}_4^-$<br>$\text{H}_3\text{PO}_4^-$ | Facilmente extraível e prontamente disponível para o metabolismo biológico sem necessidade de conversões às formas mais simples |
|                          | Polifosfatos             | Pirofosfatos e Metafosfatos   | Moléculas mais complexas. Transformam-se lentamente em ortofosfatos pelo processo de hidrólise                                  |
| Orgânicos                | Ortofosfatos monoesteres | Ácido fítico  | Ao longo do tempo são convertidos em ortofosfatos pelo processo de mineralização  |
|                          | Ortofosfatos diesteres   | Lipídio,<br>DNA, RNA,<br>glucose<br>fosfonatos e<br>ATP   |   |
| Dissolvido               | Inorgânico/Orgânico      | Material que passa através de um filtro de membrana de 0,45 $\mu\text{m}$   |   |
| Particulado              | Inorgânico/Orgânico      | Material que fica retido no filtro de membrana de 0,45 $\mu\text{m}$  |   |
| Reativo                  | Inorgânico               | Respondem aos testes colorimétricos sem necessidade de prévia digestão oxidativa                                    |   |
| Não Reativo              | Orgânico                 | Frações que são convertidas a ortofosfatos apenas através da destruição da matéria orgânica (digestão oxidativa)    |   |
| Lábil                    | Orgânico/ Inorgânico     | Fósforo que está adsorvido e que pode ser rapidamente liberado, tornando-se disponível                              |   |
| Não lábil                | Orgânico/ Inorgânico     | Fósforo que está adsorvido e que não pode ser facilmente liberado, está indisponível                                |   |

Fonte: HAYGARTH; JARVIS, 1999; MCDOWELL et al., 2001; MCDOWELL et al., 2004

Em solos jovens, as grandes quantidades de fosfatos primários, através do intemperismo, fornecem o nutriente às plantas. Com o desenvolvimento do solo, as formas lábeis de P diminuem e as formas não lábeis aumentam, especialmente aquelas inorgânicas inativas (CROSS; SCHLESINGER, 1995). Relatos demonstram que, em solos do Brasil

Central, o P orgânico representou valores de 13 a 47% do P total, sendo crescente com o grau de intemperismo dos solos (GUERRA et al. 1996).

A adsorção pode ser explicada como um processo espontâneo que ocorre logo após a adição de P no solo. No início, a reação é reversível e o processo de adsorção leva algum tempo para atingir o equilíbrio. Tal fato é importante para manter a reposição do P na solução e a manutenção da fertilidade do solo (REDDY et al. 2005). Em contato com o solo por longo período de tempo, o P torna-se menos disponível com aparecimento de formas menos lábeis, as quais apresentarão pouca habilidade de fornecer P para o meio (RAIJ, 1991; REDDY et al., 2005), podendo acontecer conseqüentemente o “envelhecimento do mesmo”. Esse processo dependerá da afinidade metal-fosfato e da superfície específica das partículas (BERKHEISER et al., 1980).

No geral, uma pequena fração de P adsorvido é solubilizado, ou seja, é liberado da fase sólida para a solução por meio dos processos de dessorção e dissolução. Esta é a razão pela qual o nutriente aparece em baixas concentrações na solução do solo (BERKHEISER et al., 1980; RAIJ, 1991; PIERZYNSKI et al., 2000; REDDY et al., 2005).

As formas orgânicas de P também agem como base de Lewis, ficando adsorvidas aos grupos funcionais de superfície dos compostos inorgânicos do solo (argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio) com diferentes energias de ligação, de modo que fiquem disponíveis ou não à mineralização (PELLEGRINI, 2005) ou susceptíveis às perdas para o ambiente. De acordo com Pierzynski et al. (2000), a biodegradação das espécies orgânicas de P, a princípio, libera P orgânico dissolvido, o qual, com o tempo, é convertido em formas inorgânicas estáveis. O P inorgânico pode, então, ser imobilizado ou absorvido pelos microrganismos e plantas, o que reduz temporariamente sua disponibilidade no meio (SINGH; LAL, 2005) e, posteriormente, ser liberado para a solução com a morte desses organismos (PIERZYNSKI, 2000), ou ainda ser adsorvido à matéria inorgânica e orgânica do solo.

## 4.2. Plantas de cobertura e disponibilidade de fósforo

O uso de plantas de cobertura em sistemas de sucessão ou rotação de culturas pode implicar modificações na atividade biológica relacionada à ciclagem do P no solo, melhorando as características físicas e químicas. Portanto, os produtos do metabolismo microbiano ou os exsudatos de raízes de plantas superiores (ácidos orgânicos) contribuem principalmente para a solubilização dos fosfatos de cálcio. Além disso, esses compostos competem pelos sítios de adsorção de P em razão da interação com os íons de Fe e Al (SINGH; LAL, 2005). A atividade biológica do solo afeta a ciclagem do P pela mineralização das frações orgânicas, catalisada pelas fosfatases e pelas associações micorrízicas nas plantas. Embora a maioria das plantas forme micorrizas (JEFFRIES et al., 2003), algumas culturas de cobertura não possuem tal associação.

As espécies de planta e seus cultivares possuem diversos processos morfológicos (GAHOONIA et al., 1997) e fisiológicos da raiz (NEUMANN et al., 1999) para adaptar-se à baixa disponibilidade de P, mas a importância relativa dos processos de imobilização de P pode diferir entre espécies e cultivares. Por exemplo, o tremoço branco (BRAUM; HELMKE, 1995) e a ervilhaca (AE et al., 1990) possuem a habilidade específica de mobilizar e usar o P adsorvido no solo, não disponível a outras plantas.

Há um efeito significativo dos ácidos orgânicos oriundos das coberturas vegetais na solubilização do P do solo, pois, após a aplicação de extratos vegetais, a quantidade total de P disponível determinada foi maior que a soma da quantidade de P disponível existente mais a quantidade de P aplicada (PAVINATO et al., 2005). Bhatti et al. (1998) observaram que a adsorção do fosfato do solo diminuiu na presença de oxalato e de matéria orgânica. Entretanto, Lopez et al. (1986), trabalhando com amostras de solos tropicais, concluíram que malato e oxalato eram mais rapidamente adsorvidos pelo solo do que o fosfato, e que esses ânions, quando presentes na rizosfera, podem aumentar a disponibilidade de P.

A principal fonte de ácidos orgânicos no solo é resultante da decomposição da matéria orgânica, mas também são importantes os exsudatos radiculares e microbianos. Tem-se detectado a exsudação ativa de ácidos orgânicos por parte dos gêneros *Bacillus*, *Thiobacillus*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Enterobacter*, *Arthrobacter*,

*Pseudomonas*, *Nitrobacter*, *Escherichia*, *Agrobacterium*, *Erwinia*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Sclerotium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Streptomyces* e outros. Entre as plantas superiores, o gênero *Lupinus* é conhecido por sua capacidade de exsudar ácido cítrico através de seu sistema radicular (EIRA, 1992).

Em diversas áreas sob ecossistema cerrado nos estados do Mato Grosso do Sul e Goiás, a soja tem apresentado maiores produções sobre palhada de plantas do gênero braquiária, principalmente em sucessão à *Brachiaria brizantha* (PITOL et al., 2001; KLUTHCOUSKI; STONE, 2003). A rotação com gramíneas (*Brachiaria ruziziensis*) resulta em menor capacidade máxima de adsorção de P pelo solo em relação às leguminosas (SILVA et al., 1997). Esse fato pode ocorrer em função da menor taxa de decomposição das gramíneas e ainda porque as gramíneas liberam maior quantidade de ácidos fenólicos para a matéria orgânica do solo (SIQUEIRA et al. 1991). Já Rodrigues et al. (2009) concluíram que as forrageiras imobilizam o P do superfosfato triplo, reduzindo o efeito residual para a soja e, quando as gramíneas forrageiras foram adubadas com o fosfato reativo de Arad, houve um aumento do efeito residual, com aumento da produção da soja em sucessão às plantas de cobertura, exceto para o cultivo posterior ao braquiário.

Sendo assim, culturas como as do gênero braquiária vêm demonstrando grande potencial na ciclagem de nutrientes. Conforme Kluthcoushi (2003), a comparação de áreas sem rotação e pastagem com áreas de rotação, para mesmo teor de P, possibilitou observar que no sistema pastagem/culturas anuais a exigência desse elemento foi a metade ( $3 \text{ mg dm}^{-3}$ ), em face dos sistemas sem rotação ( $6 \text{ mg dm}^{-3}$ ) para uma produção de  $3 \text{ t ha}^{-1}$  de grãos de soja, evidenciando o favorecimento do balanço de P em áreas de integração agricultura/pastagem. Esse resultado pode ser consequência da reciclagem de P proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo acumulada durante o período de pastagem e/ou do bloqueio de sítios de adsorção de P, pelo maior acúmulo de matéria orgânica do solo, reduzindo a fixação desse elemento. Segundo Merlim (2008), o cultivo de braquiária aumenta o P disponível no solo (extraído com resina), mas isso não se reflete em maior produtividade da soja. A soja responde à adubação fosfatada na presença da braquiária, mas não responde em sua ausência, demonstrando que a gramínea consumiu P do solo que faltou para a soja subsequente no tratamento sem adubação anterior com P.

Além do milheto, tem-se destacado a utilização de outras espécies de gramíneas na região do Cerrado, como plantas do gênero braquiária e o sorgo, devido à produção de palhada (LANGE et al., 2004). Clark (1990) relatou diferenças nas habilidades do sorgo em absorver e utilizar eficientemente o P, incluindo sua remobilização dentro da planta, ao longo do tempo. Em acréscimo, as braquiárias apresentam índices de aproveitamento relativamente elevados de adubos fosfatados (GOEDERT et al., 1986; SOUSA et al., 2002). Todavia, a elevada relação C/N da *Brachiaria brizantha* resulta em baixa taxa de decomposição dos resíduos vegetais dessa espécie, refletindo na baixa taxa de mineralização de nutrientes em curto prazo. A sincronização entre espécies vegetais, solos e o P constitui um aspecto fundamental para o melhor aproveitamento desse elemento por diferentes espécies, maximizando a resposta da planta à adubação fosfatada, na maioria dos solos tropicais (DUDA et al., 2003; SOARES et al., 2007).

As aplicações superficiais de fertilizantes fosfatados, a liberação de P durante a decomposição dos resíduos vegetais e a redução da adsorção específica do P em decorrência do menor contato do nutriente com os constituintes inorgânicos do solo provocam a acumulação superficial desse nutriente em sistema de semeadura direta (MENEZES et al., 2002; LANA et al., 2007). Porém, são raros os estudos que avaliam o efeito do cultivo de plantas de cobertura, principalmente gramíneas, sobre as frações de P do solo, sobre a eficiência na reciclagem de P e, conseqüentemente, na disponibilidade desse nutriente para as culturas subseqüentes (RODRIGUES et al., 2009).

#### **4.3. O fósforo em sistema de semeadura direta**

Em sistema de semeadura direta, os resíduos depositados na superfície por ocasião do não revolvimento do solo provocam alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que refletem na fertilidade e na eficiência de uso de nutrientes pelas culturas. Essas alterações modificam o movimento e a redistribuição de compostos mais solúveis, entre os quais se destaca o nitrogênio. No entanto, o fósforo e o potássio tendem a acumular-se na camada superficial (SHER; MOSCHLER, 1969). Apesar da baixa mobilidade no solo e da alta suscetibilidade às reações de fixação devido à formação dos solos tropicais, o acúmulo dos resíduos vegetais na superfície e o aumento da atividade biológica no plantio

direto modificam a dinâmica do P, pela mineralização do material orgânico, transformando as diferentes formas do nutriente no sistema solo-planta (FANCELLI, 2000; CALEGARI, 2006).

Assim, uma das principais características que influem na adsorção de P é a matéria orgânica, porém, a deposição de resíduos vegetais pode promover a elevação do pH do solo na camada superficial, pela troca ou complexação dos íons  $H^+$  e  $Al^{3+}$ , por  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  e outros compostos presentes no resíduo vegetal, aumentando assim a saturação por bases (AMARAL et al., 2004), além de interação com os óxidos e hidróxidos de Al e Fe, resultando em redução dos sítios de fixação, por causa do recobrimento da superfície desses óxidos por moléculas de ácidos húmicos, acético e málico (GONÇALVES et al., 1985). Entretanto, esses efeitos parecem acontecer em curto prazo, como mencionado por Miyazawa et al. (1993), que observaram que o material vegetal causou aumentos rápidos no pH após a adição do resíduo, havendo a diminuição gradativa até a estabilização, quando resíduos de várias espécies de plantas foram adicionados ao solo.

O sistema de semeadura direta altera a dinâmica do P no solo, pois esse nutriente se acumula nas camadas superficiais que determinariam a formação de gradientes no sentido vertical e maior variabilidade no sentido horizontal, quando comparado ao sistema convencional, podendo aumentar a fração orgânica, seja pela ausência de mobilização, seja pela produção de ácidos orgânicos que competem pelos sítios de retenção (SOUZA, 1992). A formação de sítios de P se dá em função da quantidade e da profundidade de colocação dos fertilizantes fosfatados, na cultura em rotação, e da frequência de ocorrência da rotação (YAMADA; ABDALLA, 2006).

Estudos sobre o efeito de resíduos da cultura da soja e do trigo aplicados isoladamente ou em combinação com P, na dinâmica do P-lábil, distribuição de frações e sorção de P em um Vertissol, demonstraram que os restos culturais adicionados, tanto isoladamente como combinados com o P, melhoram os níveis de P através do decréscimo da capacidade de adsorção e do favorecimento ao aumento da fração lábil do P orgânico e inorgânico (DAMODAR REDDY et al., 2001). Considera-se também que, no sistema de semeadura direta, os aportes de material orgânico apresentam composições fitoquímicas mais favoráveis à ação dos decompositores, proporcionando maior atividade via biomassa microbiana. Porém, elevados teores de P contidos na biomassa microbiana nos solos

sob sistema de semeadura direta são uma forma eficiente de armazenamento de P (RHEINHEIMER et al. 2000).

Em experimentos de longa duração com SSD e preparo convencional, foi possível constatar os efeitos dos resíduos culturais no acúmulo de nutrientes na camada superficial e a estreita relação com o aumento dos teores de matéria orgânica (SÁ 1993; SÁ et al. 2001), de sorte que foi observado que P é o elemento que possui a menor mobilidade e tem apresentado os maiores acréscimos, com relatos da ordem de quatro a sete vezes o seu conteúdo no SSD em relação ao preparo convencional na camada de 0-5 cm.

Além dos vários benefícios do sistema de semeadura direta, restringindo-se aos benefícios relacionado à adubação fosfatada, o P aumenta sua disponibilidade em até  $1,4 \text{ mg dm}^{-3} \text{ ano}^{-1}$  nas camadas de 0-10 cm, devido a sucessivas aplicações localizadas dos fertilizantes, seguidas do não revolvimento e favorecendo o menor contato com o solo, principalmente com a fração argila (PROCHNOW et al. 2010).

#### **4.4. Adubação fosfatada na soja**

A grande expansão da soja no Brasil ocorreu em regiões onde predominam solos altamente intemperizados, como os Latossolos, que são ácidos, lixiviados, pobres em nutrientes, especialmente de P disponível para as plantas (PIAIA et al. 2002).

A deficiência de P diminui o potencial de rendimento da soja já nos estádios reprodutivos iniciais, como o florescimento, pela menor produção de flores e maior aborto dessas estruturas e, nas fases seguintes, com formação de menor quantidade e maior aborto de legumes (VENTIMIGLIA et al., 1999). Um bom suprimento de P para a planta promove consequentemente incrementos significativos na produção de soja, em áreas de Cerrado, mesmo no primeiro ano de cultivo (COUTINHO et al., 1991). A resposta da cultura da soja à adubação fosfatada é bem definida, sendo esse nutriente de grande importância no desenvolvimento da planta e na produtividade. As respostas da soja ao P aplicado têm sido muito significativas, fundamentais para a produção econômica da cultura (ROSOLEM, 1980), podendo-se encontrar respostas com aplicações de até  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (SOUSA et al., 2002).

A resposta da soja à adubação fosfatada pode estar ligada a fatores internos e externos da planta. Dentre os fatores internos, podem ser citados o estado nutricional da planta e o tipo de cultivar utilizada, que podem influenciar a absorção de P. Em relação aos fatores externos, destacam-se a umidade e a textura do solo, consideradas fundamentais no processo de absorção de P pelas plantas (SILVEIRA; MOREIRA, 1990).

Sá (2004) relata que a aplicação de fertilizantes fosfatados a lanço, sem incorporação no plantio direto, é uma prática viável como adubação de manutenção e/ou restituição para solos que tenham sido adubados e apresentam teores de médios a altos de P. Para solos com baixos teores de P, é recomendada adubação em sulco. Conforme Lana et al. (2003), a adubação antecipada aplicada até cinco meses antes da semeadura não influenciou no rendimento de grãos da soja, quando comparada com a aplicação de adubação na semeadura. Pöttker (1999) avaliou o efeito do teor de P do solo sobre a eficiência da adubação na linha de semeadura e a lanço na superfície do solo e concluiu que, para a soja, o modo de aplicação não interferiu no rendimento de grãos.

Uma série de experimentos conduzidos no Brasil com diversas fontes de P levou às seguintes conclusões básicas (GOEDERT; SOUZA, 1984): i) as fontes mais eficientes têm sido os fosfatos solúveis (superfosfatos e fosfatos de amônio); ii) os fosfatos com alta solubilidade em ácido cítrico (termofosfato e fosfatos naturais de alta reatividade – gafsa, por exemplo) têm mostrado eficiência similar aos solúveis em água, quando computado o efeito residual a longo prazo; iii) os fosfatos naturais brasileiros (Abaeté, Araxá, Alvorada, Catalão, Patos, Tapira etc.) têm revelado, com relação aos solúveis em água, uma baixa eficiência inicial (3 a 20%), melhorando um pouco após alguns anos (15 a 45%).

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Lageado (FCA/UNESP), Botucatu, São Paulo, localizada à latitude 22°51' S, longitude de 48°26' W Grw e altitude de 770 m. A área vem sendo cultivada em sistema de semeadura direta há 10 anos e em sistema de rotação de culturas *Brachiaria ruzizienses* - soja, desde 2006.

A área experimental já foi objeto de estudo de uma tese (ESTEVEZ, 2004) e duas dissertações (OLIBONE, 2005; MERLIN, 2008). A partir da safra 2001/2002, a área começou a receber os tratamentos com combinações de fertilizantes na forma de Fosfato Natural (FNA) e Fosfato Solúvel (SFT), que foram aplicados da safra 2001 a 2006, na dose de 80 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, sendo que, em 2004, foram aplicados 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Enquanto, de 2006 a 2010, foram aplicadas parcelas com SFT e FNA a lanço, na dose de 80 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, em abril, as doses de 0, 30 e 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, na forma de SFT, foram usadas em novembro-dezembro, na semeadura da soja (Tabela 2).

Tabela 2: Quantidade de  $P_2O_5$  total aplicado na área experimental ao longo dos anos, desde a implantação do ensaio na safra 2001/2002 a 2010/2011.

| Aplicações de $P_2O_5$ em $kg\ ha^{-1}$ a lanço como cobertura no inverno |             |             |             |             |             |             |              |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>Tratamentos parcelas</b>   |             |             |             |             |             |             |              |
| Anos  |             |             |             |             |             |             |              |
|   | <b>2001</b> | <b>2003</b> | <b>2004</b> | <b>2006</b> | <b>2008</b> | <b>2010</b> | <b>Total</b> |
| 1   | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | <b>0</b>     |
| 2   | 80          | 80          | 0           | 80          | 80          | 80          | <b>400</b>   |
| 3   | 80          | 80          | 0           | 80          | 80          | 80          | <b>400</b>   |
| Aplicações de $P_2O_5$ em $kg\ ha^{-1}$ no sulco de semeadura da soja     |             |             |             |             |             |             |              |
| <b>Tratamentos subparcelas</b>  |             |             |             |             |             |             |              |
| 1   | 80          | 80          | 60          | 0           | 0           | 0           | <b>220</b>   |
| 2   | 80          | 80          | 60          | 30          | 30          | 30          | <b>310</b>   |
| 3   | 80          | 80          | 60          | 60          | 60          | 60          | <b>400</b>   |
| 4   | 80          | 80          | 60          | 0           | 0           | 0           | <b>220</b>   |
| 5   | 80          | 80          | 60          | 30          | 30          | 30          | <b>310</b>   |
| 6   | 80          | 80          | 60          | 60          | 60          | 60          | <b>400</b>   |

## 5.2. Características edáficas e climáticas da área experimental

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 1999), de textura média, com relevo plano e drenagem regular. A temperatura do mês mais quente foi superior a  $24,90\ ^\circ C$  e a do mês mais frio foi inferior a  $12,4\ ^\circ C$ , com uma precipitação pluvial mínima superior a  $22,80\ mm$  e total anual de  $2015,87\ mm$ . Os dados referentes ao clima da região (Figura 1) foram obtidos junto à Estação Meteorológica da Faculdade de Ciências Agrônômicas e se encontram relacionados ao período de condução do ensaio, referente aos meses de março de 2010 a abril de 2011.

Para a neutralização da acidez do solo e a manutenção dos teores de Ca e Mg, em abril de 2010, foi realizada calagem, empregando calcário dolomítico com PRNT de 92%, seguindo as recomendações para a cultura da soja para o estado de São Paulo, conforme Raij et al. (1997). Antes da aplicação dos tratamentos, após a calagem, foram coletadas amostras de solo para caracterização da área nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm em vinte pontos aleatórios (compondo uma amostra, representando uma média do experimento todo) (Tabela 3). As determinações laboratoriais para as respectivas análises seguiram a metodologia de Raij et al. (2001) e EMBRAPA (1997).

Tabela 3: Valores das características químicas e granulométricas do solo da área experimental (Abril de 2010).

| Características químicas do solo |                   |                    |       |      |      |                                    |       |       |       |
|----------------------------------|-------------------|--------------------|-------|------|------|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Profundidade (cm)                | pH                | MO                 | Ca    | Mg   | K    | H+Al                               | SB    | CTC   | V     |
|                                  | CaCl <sub>2</sub> | g dm <sup>-3</sup> |       |      |      | mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |       |       | (%)   |
| 0-5                              | 5,02              | 17,25              | 21,57 | 9,61 | 1,13 | 9,15                               | 32,31 | 41,46 | 77,93 |
| 5-10                             | 4,62              | 16,86              | 16,45 | 4,54 | 0,91 | 11,05                              | 21,9  | 32,95 | 66,46 |
| 10-20                            | 4,3               | 15,09              | 12,14 | 4,54 | 0,82 | 11,89                              | 17,5  | 29,39 | 59,54 |
| 20-40                            | 4,09              | 9,01               | 8,63  | 3,55 | 0,71 | 13,26                              | 12,89 | 26,15 | 49,29 |

| Características granulométricas |                    |       |        |         |
|---------------------------------|--------------------|-------|--------|---------|
| Profundidade (cm)               | Areia              | Silte | Argila | Textura |
|                                 | g kg <sup>-1</sup> |       |        |         |
| 0-5                             | 670                | 20    | 210    | Média   |
| 5-10                            | 670                | 10    | 220    | Média   |
| 10-20                           | 670                | 10    | 220    | Média   |
| 20-40                           | 630                | 20    | 250    | Média   |

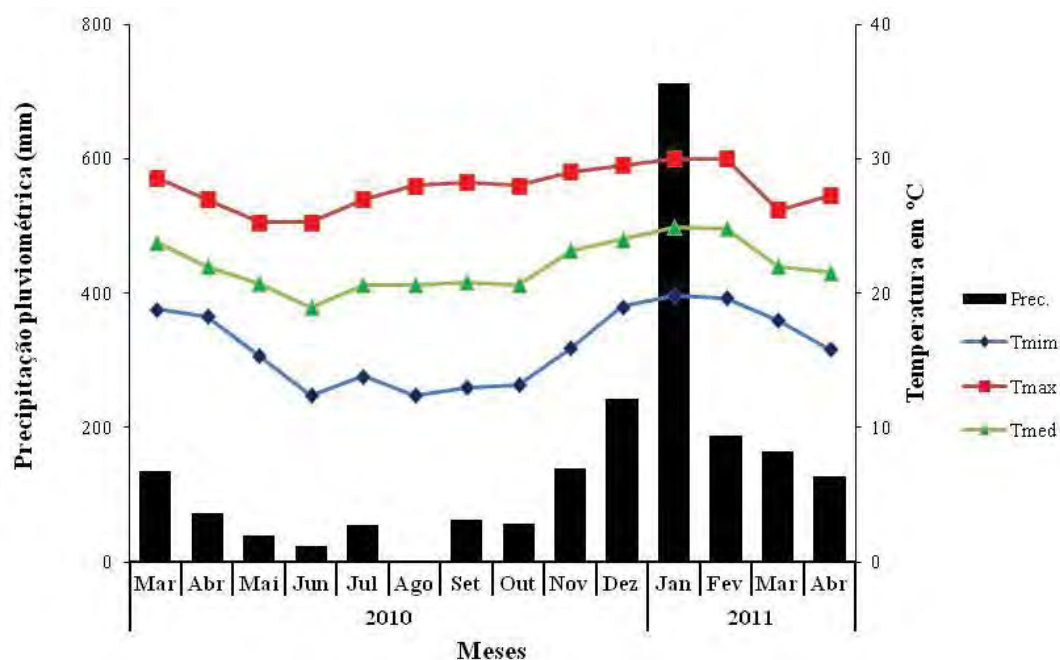


Figura 1: Temperatura média, mínima, máxima (°C) e precipitação pluviométrica (mm) referente ao período do ensaio (março de 2010 a abril de 2011).

### 5.3. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os tratamentos com braquiária foram aplicados

em parcelas de 240m<sup>2</sup> (30m x 8m) com uma área útil de 196m<sup>2</sup> (28m x 7m) e separadas por 9m. As subparcelas apresentaram área total de 40m<sup>2</sup> (8m x 5m) e área útil de 18m<sup>2</sup> (3m x 6m), que foram aplicados no verão com a cultura da soja junto a doses de fósforo.

Em abril de 2010, aplicaram-se os tratamentos (Tabela 4). Os adubos foram aplicados a lanço na superfície na proporção de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de fosfato solúvel (Superfosfato Triplo) e fosfato natural reativo (Fosfato Natural de Arad), mais uma testemunha. Após a aplicação dos tratamentos, foi semeada a *Brachiaria ruziziensis*. As especificações dos adubos fosfatados estão na Tabela 5.

Em novembro de 2010, após dessecação da braquiária, foi semeada a soja e realizada a aplicação, mecanicamente, de três doses de fósforo: 0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de superfosfato triplo na linha de distribuição das sementes.

Tabela 4: Ausência e presença de braquiária e as combinações com as respectivas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na semeadura da soja e o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total para os tratamentos em parcelas e subparcelas, empregados na área a partir de 2006.

| Tratamentos parcelas    |   |  |
|-------------------------|---|--|
|                         | Dose  | Fonte  |
|                         | kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total |  |
| 1                       | 0   | -  |
| 2                       | 80  | Fosfato Natural de Arad (FNA)                              |
| 3                       | 80  | Superfosfato Triplo (SFT)                                  |
| Tratamentos subparcelas |   |  |
|                         | Braquiária  | Adubação de semeadura                                      |
|                         |   | kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> como SFT |
| 1                       | Presença  | 0  |
| 2                       | Presença  | 30   |
| 3                       | Presença  | 60   |
| 4                       | Ausência  | 0  |
| 5                       | Ausência  | 30   |
| 6                       | Ausência  | 60   |

## 5.4. Condução do experimento

### 5.4.1. Semeadura e cultivo de braquiária

No mesmo dia da aplicação da adubação fosfatada, ocorreu a semeadura da *Brachiaria ruziziensis* (sem adição de outros fertilizantes), em abril de 2010. Foram semeados 30 kg ha<sup>-1</sup> de sementes com valor cultural de 60%, com o auxílio de uma semeadora-adubadora de fluxo contínuo, desenvolvida para semeadura direta, sendo esta de arrasto com 16 linhas espaçadas a 0,17 m, equipadas com disco de corte de 16” de diâmetro, com discos duplos sulcadores de 13” para adubo e sementes, em metade das parcelas experimentais (Tabela 4).

Tabela 5: Característica química e constituição física dos insumos utilizados nos tratamentos

| Fontes                  | P Total<br>(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | Cálcio<br>% | Constituição física |
|-------------------------|---|-------------|---------------------|
| Superfosfato triplo     | 41  | 13          | granulado           |
| Fosfato natural de Arad | 32  | 37          | pó                  |

Ressalta-se que, devido ao clima, a braquiária não teve uma emergência satisfatória, de modo que foi ressemeada no dia 04/10/2010 (primeiras chuvas após o inverno seco).

Em novembro de 2010, após a coleta de plantas, foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 0-40 cm e, em seguida, foi feita a dessecação da área com Roundup WG 750 na dose de 2 kg ha<sup>-1</sup>. A dessecação foi realizada com pulverizador de barra equipado com 24 bicos AXI11002, com pressão de trabalho de 50 PSI e a vazão de 220 L ha<sup>-1</sup>.

#### 5.4.2. Semeadura e cultivo da soja (novembro de 2010 - março de 2011)

A semeadura da soja ocorreu em 18 de novembro de 2010, após a dessecação da braquiária. Utilizou-se a soja Monsoy 5942, cultivar de crescimento indeterminado. A semeadura foi realizada com semeadora-adubadora de plantio direto, em linhas espaçadas de 0,45m, com 6 linhas, colocando-se 20 sementes por metro (germinação = 90%). Primeiramente, foi aplicada a adubação fosfatada com a semeadora e, em seguida, a semeadura, acompanhada de adubação potássica na dose de 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de cloreto de potássio. As sementes foram depositadas a uma profundidade de 3 cm e tratadas

com fungicidas Carboxin e Thiran, inseticida Thiametoxan e inoculante, nas respectivas doses comerciais dos produtos. Aos 35 dias após a emergência (DAE), em 23/12/2010, realizou-se a aplicação de herbicida pós-emergente inicial seletivo de ação não sistêmica Bentazona ( $2 \text{ L ha}^{-1}$  do produto comercial) e Setoxidim ( $1,5 \text{ L ha}^{-1}$  do produto comercial) para controle de plantas infestantes. Para controle de insetos, foram realizadas 6 aplicações com Tiametoxan distribuídas parcialmente ( 23/12/2010, 05/01; 21/01; 02/02; 08/02 e 18/02/2011) ( $180 \text{ ml ha}^{-1}$  do produto comercial), 3 aplicações com Metamidofós (10/02; 25/02 e 04/03/2011) ( $2 \text{ L ha}^{-1}$  do produto comercial) e, como preventivo de doenças fúngicas, foram realizadas 5 aplicações com Piraclostrobina; Epoxiconazol (05/01; 21/01; 02/02; 18/02 e 25/02) ( $0,6 \text{ L ha}^{-1}$  do produto comercial).

Aos 120 dias após emergência da soja, em 18/03/2011, procedeu-se à dessecação química da soja com Gramoxone ( $2 \text{ litros ha}^{-1}$  do produto comercial). Em função das condições climáticas, houve perda da produtividade da soja, as vagens se encontravam com presença de mofo. Uma semana depois de efetuada a dessecação, ocorreu a colheita com uma colhedora de parcelas automotriz da marca Wintersteiger SeedMech, modelo Nursery Master Elite.

### **5.5. Coleta de solo**

Devido à variabilidade de P no perfil do solo, foram realizadas amostragens após a dessecação da braquiária (18/11/2010) e no estágio R<sub>6</sub> da soja (10/02/2010), com auxílio de um trado tipo “caneco”, ressaltando-se que, na primeira coleta de solo, foi feita nas profundidades de 0-5; 5-10, 10-20 e 20-40 cm, e, na segunda amostragem, foram coletadas de 0-5 e 5-10cm de profundidade. Em ambas as coletas, retiraram-se 6 amostras por parcela para compor uma única amostra. Na primeira coleta, as amostras foram extraídas aleatoriamente da subparcela e, na segunda coleta, retiraram-se 80(%) das amostras na entrelinha e 20 (%) na linha da soja, sendo estas colocadas em sacos plásticos e secas ao ar. Após a secagem, o solo foi introduzido em moinho elétrico a fim de destorroar e, em seguida, peneirado e armazenado para posterior análise. Dessas amostras, antes mesmo de serem secadas, foi tomada uma subamostra, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, e acondicionada em freezer ( $0^{\circ} \text{ C}$ ) até a posterior análise para determinação do P microbiano.

## **5.6. Avaliações no solo**

### **5.6.1 Fertilidade**

Na determinação do teor de matéria orgânica, acidez e macronutrientes do solo, adotou-se a metodologia proposta por Raij et al. (2001), nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, na primeira coleta de solo (novembro de 2010) e análise de P resina nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, na segunda coleta de solo (fevereiro de 2011).

### **5.6.2 Fósforo microbiano**

A quantificação de P da massa microbiana foi realizada nas duas coletas de solo nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, sendo calculada pela diferença entre a quantidade de P inorgânico (Pi) extraído por  $\text{NaHCO}_3$  0,5M, (pH 8,5), do solo fresco fumigado com  $\text{CHCl}_3$  e do solo não fumigado. As quantificações da biomassa de P foram feitas em solo fresco, pois em solo seco a quantidade que o  $\text{CHCl}_3$  desprende do P é muito menor (BROOKES et al., 1982). O P microbiano foi determinado pelo método Molibdato-ácido ascórbico (MURPHY; RILEY, 1962), depois de incubado o solo por 30 dias a 60% da capacidade de campo a temperatura ambiente.

### **5.6.3 Índice de saturação de fósforo no solo**

As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, da primeira coleta, e de 0-5 e 5-10cm de profundidade, da segunda coleta. As mesmas foram secas em estufa a 65 °C por 48 horas, moídas e peneiradas em malha de 2 mm. Também foi determinado o Al, Fe trocável (RAIJ et al., 2001), além dos valores de P resina usados para estimativa do índice de saturação de fósforo no solo (PSI). O PSI é definido como a quantidade de P adsorvido dividido pela capacidade de adsorção potencial do solo (KLEINMAN; SHARPLEY, 2002). O índice de saturação de fósforo (PSI) é uma boa maneira de estimar as formas em que o P se encontra no solo e o potencial de dessorção com o tempo. O PSI foi determinado de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{PSI} = \frac{\text{P}}{\text{Al} + \text{Fe}}$$

PSI (%) = Índice de saturação de fósforo

P = Fósforo extraído pela resina

Al = Alumínio extraído por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>

Fe = Ferro extraído por DTPA

#### 5.6.4. Capacidade máxima de adsorção de fósforo

A capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) do solo foi determinada na primeira amostragem, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de solo. Assim, a análise prosseguiu através da agitação de solução contendo 10, 25, 50, 100, 150, 200 e 250 mg L<sup>-1</sup> de P, juntamente com as amostras de solo na proporção de 1:10 (solo:solução). As amostras foram agitadas durante 48 horas, sob rotação de 150 rpm em agitador horizontal. Esse tempo foi estipulado por meio de testes prévios, os quais mostraram que a agitação por somente 18 ou 24 horas, como citado por Zhang et al. (2004), não seria suficiente para atingir equilíbrio entre o solo e a solução para os solos brasileiros. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 10 minutos, e a quantidade de P remanescente em solução foi determinada pelo método Molibdato-ácido ascórbico (MURPHY; RILEY, 1962). A quantidade de P adsorvida foi estimada e ajustada à equação de Langmuir, de acordo com:

$$x/m = \frac{K1K2C}{1+K1C}$$

x/m = quantidade de P adsorvido por unidade de peso do solo

K1 = constante relacionada à energia de ligação

K2 = adsorção máxima

C = concentração de equilíbrio de fósforo.

### **5.7. Avaliações na Braquiária**

Aproximadamente 45 dias após a ressemeadura da braquiária foram coletadas amostras de plantas em todas as parcelas experimentais com o auxílio de um quadrado de 0,5m x 0,5m em quatro repetições por parcela para determinação de massa de matéria seca e cálculo de valor estimado da produção em toneladas por hectare.

Houve cinco coletas de palha de braquiária, uma antes e quatro após a dessecação química, posteriormente aos 15, 30, 60 e 90 dias (estádio R<sub>6</sub> da soja), com a finalidade de observar o retorno do fósforo para o solo. Essas palhas foram secadas, pesadas, moídas e analisadas quanto ao teor de P, conforme Malavolta et al.(1997).

### **5.8. Avaliações na soja**

Para a diagnose foliar da soja, foram coletadas 30 folhas aleatoriamente, em cada unidade experimental, aos 50 DAE da soja, no estágio R<sub>2</sub> considerando a escala de Fehr et al. (1971). Foi coletada a terceira folha completamente desenvolvida a partir do ápice da haste principal para a base. As folhas foram secas em estufa de circulação de ar forçado durante 48 h a 65 ° C e moídas para determinação do acúmulo de nutrientes. No estágio R<sub>6</sub> (FEHR et al., 1971), foram coletadas amostras de 10 plantas em cada unidade experimental, para posterior determinação de massa de matéria seca e acúmulo de P. Essas plantas foram secas, pesadas e moídas. Para a moagem, foi separado o grão das demais partes da planta, caracterizando a “dinâmica” que ocorre no campo, a fim de observar a exportação de P; visto que no campo fica o restante da planta, extrai-se apenas o grão, que é a parte da planta que acumula mais P.

Os nutrientes foram determinados por digestão ácida (TEDESCO et al., 1995), sendo o N analisado por destilação em Micro Kjehldhal, o P por colorimetria e os outros nutrientes por espectrofotometria de absorção atômica.

Após dessecação química da soja, efetuou-se a colheita com a colhedora automotriz, sendo consideradas como parcela útil as 3 linhas centrais de 8m de comprimento de cada parcela (10,8 m<sup>2</sup>). Após a colheita, foi determinada a massa das amostras de grãos, com o auxílio de balança de precisão, corrigindo-se o teor de umidade a

13%. Por ocasião da determinação da produtividade, também se avaliou o teor de P na semente e, posteriormente, o acúmulo de P e o índice de eficiência agronômica de uso de P (EAP), empregando-se a fórmula a seguir (FAGERIA, 2003):

$$EAP = (PGcf - PGsf)/(QPa)$$

EAP - eficiência agronômica de uso de P,  $\text{kg kg}^{-1}$

PGcf - produtividade de grãos com fertilizante fosfatado

PGsf - produtividade de grãos sem fertilizante fosfatado

QPa - quantidade de P aplicado, em  $\text{kg ha}^{-1}$

### **5.9. Análises estatísticas**

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade de erro.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1. Fertilidade do Solo**

Na Tabela 6, encontram-se os valores de probabilidade de ocorrência significativa obtidos na análise de variância para as características de fertilidade do solo, referentes à amostragem realizada por ocasião da dessecação da braquiária na semeadura da soja, em novembro de 2010.

Tabela 6: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa no pH, fósforo (P), matéria orgânica (MO), hidrogênio e alumínio (H+Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e saturação por bases (V%) (RAIJ et al., 2001), nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade do solo em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço (Pi) e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*). Novembro de 2010.

| Tratamentos           | pH                | P                   | MO                 | H+Al                               | Ca    | Mg    | K     | V(%)  |
|-----------------------|-------------------|---------------------|--------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                       | CaCl <sub>2</sub> | mg dm <sup>-3</sup> | g dm <sup>-3</sup> | mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |       |       |       |       |
| <b>0-5 cm</b>         |                   |                     |                    |                                    |       |       |       |       |
| <b>P Inicial (Pi)</b> | 0,310             | 0,000               | 0,087              | 0,011                              | 0,001 | 0,130 | 0,009 | 0,006 |
| <b>Braquiária (B)</b> | 0,009             | 0,000               | 0,945              | 0,000                              | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| <b>Pi x B</b>         | 0,137             | 0,000               | 0,120              | 0,003                              | 0,000 | 0,157 | 0,622 | 0,000 |
| <b>5-10 cm</b>        |                   |                     |                    |                                    |       |       |       |       |
| <b>P Inicial (Pi)</b> | 0,341             | 0,000               | 0,011              | 0,719                              | 0,004 | 0,894 | 0,060 | 0,022 |
| <b>Braquiária (B)</b> | 0,025             | 0,019               | 0,000              | 0,000                              | 0,000 | 0,528 | 0,091 | 0,039 |
| <b>Pi x B</b>         | 0,011             | 0,000               | 0,000              | 0,008                              | 0,000 | 0,079 | 0,297 | 0,000 |
| <b>10-20 cm</b>       |                   |                     |                    |                                    |       |       |       |       |
| <b>P Inicial (Pi)</b> | 0,422             | 0,000               | 0,411              | 0,842                              | 0,198 | 0,049 | 0,003 | 0,566 |
| <b>Braquiária (B)</b> | 0,998             | 0,000               | 0,525              | 0,036                              | 0,026 | 0,000 | 0,736 | 0,039 |
| <b>Pi x B</b>         | 0,657             | 0,811               | 0,005              | 0,190                              | 0,003 | 0,026 | 0,955 | 0,107 |
| <b>20-40 cm</b>       |                   |                     |                    |                                    |       |       |       |       |
| <b>P Inicial (Pi)</b> | 0,422             | 0,000               | 0,260              | 0,538                              | 0,056 | 0,005 | 0,137 | 0,008 |
| <b>Braquiária (B)</b> | 0,356             | 0,001               | 0,328              | 0,382                              | 0,244 | 0,016 | 0,129 | 0,145 |
| <b>Pi x B</b>         | 0,376             | 0,022               | 0,000              | 0,002                              | 0,001 | 0,000 | 0,321 | 0,062 |

### 6.1.1. Acidez do solo (pH e H+Al)

A mudança no sistema de cultivo do preparo convencional para o sistema de semeadura direta desencadeia uma série de mudanças nas propriedades químicas e físicas do solo, especialmente quanto às disponibilidades de nutrientes, variando o pH do solo e a capacidade de troca catiônica (SOUZA; ALVES, 2003), além da diminuição do alumínio tóxico. Sendo assim, houve diferença entre os valores de pH nas camadas de 0-5 e 5-10 cm (Tabela 6), que foram menores na presença de braquiária (Figura 2). Para os valores de H+Al, também houve efeito da braquiária, sendo que na presença de braquiária as médias foram maiores, variando de 10,2 a 15,6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> nas camadas de 0-40 cm de solo (Figura 3). O

menor pH na presença de braquiária (Figura 2) e a maior concentração de H+Al (Figura 3) podem estar relacionados, pelo menos em parte, ao aumento da MO (figura 4) até a profundidade de 10 cm, pois o processo de mineralização dos resíduos orgânicos pode liberar ions H+ e acidificar o solo. Ressalta-se que tanto a quantidade como a qualidade da MO têm implicações nas alterações do pH, na toxidez de alumínio, na dinâmica de nitrogênio, fósforo e de outros nutrientes (MUZILLI, 1983).

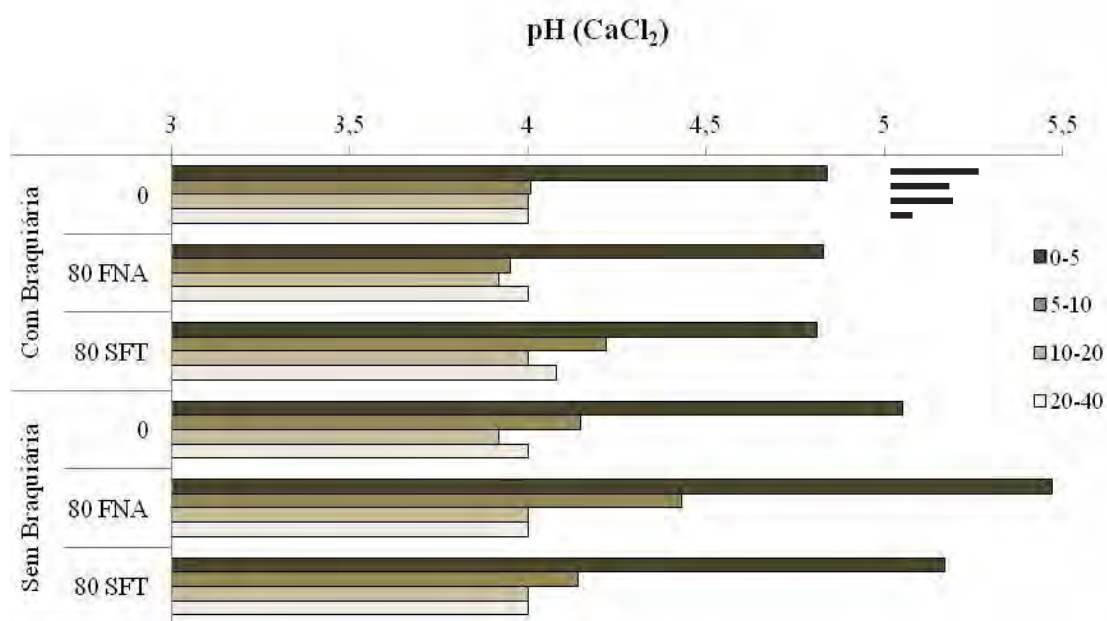


Figura 2: Valores médios de pH (CaCl<sub>2</sub>) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

O pH da solução do solo condiciona a ocorrência das formas de fosfatos presentes no solo, ou seja, em pH caracterizado ácido predominam os fosfatos de ferro e alumínio (LINDSAY et al., 1989; JAYACHANDRAN et al., 1989), como consequência, a adsorção de P é maior com baixos valores de pH. Assim, na presença de braquiária, pode ter ocorrido redução das formas lábeis de P, na camada mais superficial.

O cultivo de braquiária resultou em maiores valores de H + Al no perfil do solo até 20 cm (Figura 3). Já havia sido observado que algumas gramíneas, como o sorgo, por exemplo, podem diminuir a saturação do solo por bases (OLIBONE et al., 2006).

Entretanto, para o H+Al, houve interação significativa da braquiária x fertilizantes fosfatados. Na camada de 0-5 cm, com a utilização de SFT, foi percebido aumento do H+Al no solo na presença de braquiária, enquanto, na ausência de braquiária, o uso de FNA resultou em menor acidez potencial (Figura 3). Já na camada de 5-10 cm não houve diferença entre os tratamentos com e sem P para os valores de H+Al, na presença de braquiária, sendo que, na ausência da gramínea, o efeito foi semelhante ao da camada de 0-5 cm, com menor valor para o uso do FNA. Quando analisada a profundidade de 20-40 cm, os fosfatos aumentaram o teor de H+Al na presença de braquiária e diminuíram a acidez potencial, na ausência da gramínea (Figura 3).

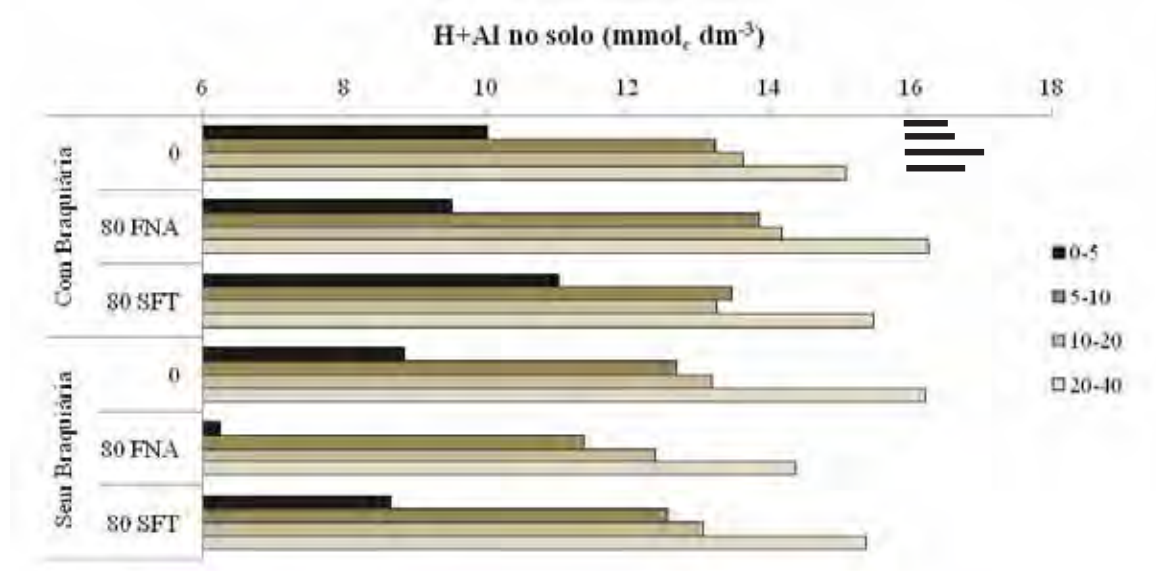


Figura 3: Valores médios de Hidrogênio+ Alumínio ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

### 6.1.2. Matéria orgânica

Os teores de MO foram maiores em superfície, devido à deposição de palhada, com médias de  $31,1 \text{ g dm}^{-3}$ , e menores ao longo do perfil do solo com médias de  $9,4 \text{ g dm}^{-3}$  em subsuperfície (20-40 cm). Na presença de braquiária, o teor de MO foi aumentado pelo SFT em profundidade (Figura 4). Na camada de 5-10 cm, com presença de braquiária, foram determinados maiores teores de MO quando utilizado o SFT. Contudo, o

emprego de FNA levou a maior teor de MO na presença de braquiária na camada de 10 a 20cm. Na camada de 20-40 cm, foi observado maior teor de MO na ausência de braquiária, com FNA, enquanto, na presença de braquiária, verificou-se maior teor de MO com o uso do SFT.

Na safra 2006/2007, o cultivo de braquiária, assim como a adubação fosfatada, ainda não haviam afetado os valores de MO do solo (MERLIM, 2008), mas, no presente estudo, foi observada diferença significativa para o teor de MO, inclusive para a interação fosfatos e braquiária nas camadas de 5-40cm (Tabela 6). Isso pode ter acontecido em função de maior crescimento radicular da braquiária.

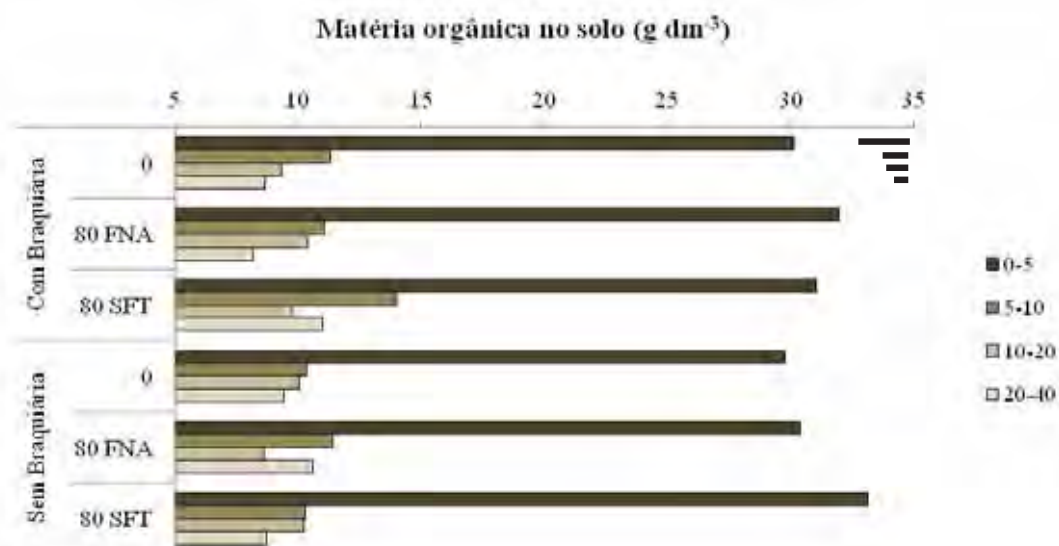


Figura 4: Valores médios de Matéria Orgânica ( $\text{g dm}^{-3}$ ) no solo, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

### 6.1.3. Fósforo disponível no solo na semeadura da soja

Por ocasião da semeadura da soja, foi notada diferença para os valores médios de P disponível em todas as profundidades, apesar de o P ser considerado um nutriente imóvel no solo (Tabela 6). Os teores médios de P disponível variaram de 44,2  $\text{mg dm}^{-3}$  na profundidade de 0-5 cm a 4,6  $\text{mg dm}^{-3}$  na profundidade de 20-40 cm. O que pode explicar essa

movimentação do P no perfil do solo seria o crescimento do sistema radicular das plantas, através da decomposição e liberação de P. Dado semelhante foi obtido por Olibone (2005), que constatou melhor distribuição do fósforo no perfil do solo após o cultivo da soja.

A utilização do FNA proporcionou maior disponibilidade de P na camada superficial do solo (0-5 cm). Nas profundidades de 5-40 cm no cultivo de braquiária, não houve diferença entre as fontes fosfatadas; já na ausência de braquiária, maiores teores de P disponível foram observados com SFT (Figura 5). Resultados semelhantes, em função do uso de fertilizantes fosfatados em cobertura para o teor de P disponível, foram encontrados por Merlim (2008) e Esteves e Rosolem (2011).

Fica demonstrado que os resultados para cultivo de braquiária diferem de Merlim (2008), que relatou maior teor de P disponível no solo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Possivelmente, o menor teor de P disponível no solo na presença de braquiária, no presente estudo, esteja relacionado com a absorção dos fertilizantes fosfatados pela espécie.

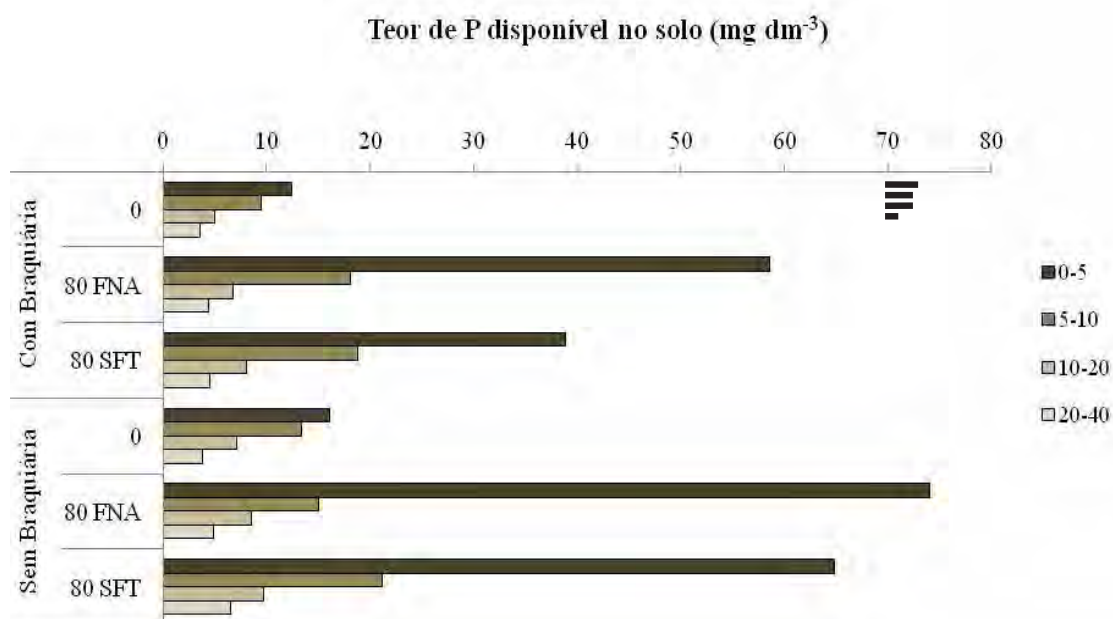


Figura 5: Valores médios de Fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo nas profundidades de 0-5, 5 10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

#### 6.1.4. Cálcio, Magnésio, Potássio e Saturação por Bases

Os menores teores de Ca, Mg e K (Figuras 6,7 e 8) disponíveis no solo e, conseqüentemente, a menor saturação por bases (V%) (Figura 9), foram verificados na presença de braquiária, o que pode estar relacionado à absorção dos nutrientes pela gramínea.

Na camada superficial do solo (0-5 cm), a aplicação de FNA aumentou o teor de Ca (Figura 6). Na presença de braquiária nas camadas de 5-40 cm, maiores teores de Ca no solo foram proporcionados pela aplicação de STF, enquanto, na ausência de braquiária, o maior teor de Ca no solo foi observado com o uso de FNA. O maior teor de Ca encontrado na ausência de braquiária para o FNA pode estar relacionado à característica do fertilizante em conter mais Ca (Figura 6). Apesar de ter sido realizada a calagem na área experimental, a diferença entre as fontes para os teores de Ca no solo não foi minimizada. Esses dados evidenciam o aumento do teor de Ca no solo com aplicação de FNA, melhorando conseqüentemente sua solubilização e absorção pela braquiária, em comparação com o SFT (Figura 6). Tal explicação pode ser cotejada com os dados de Silva et al. (2011), que observaram maior teor de Ca em mudas de mogno, quando utilizado o FNA.

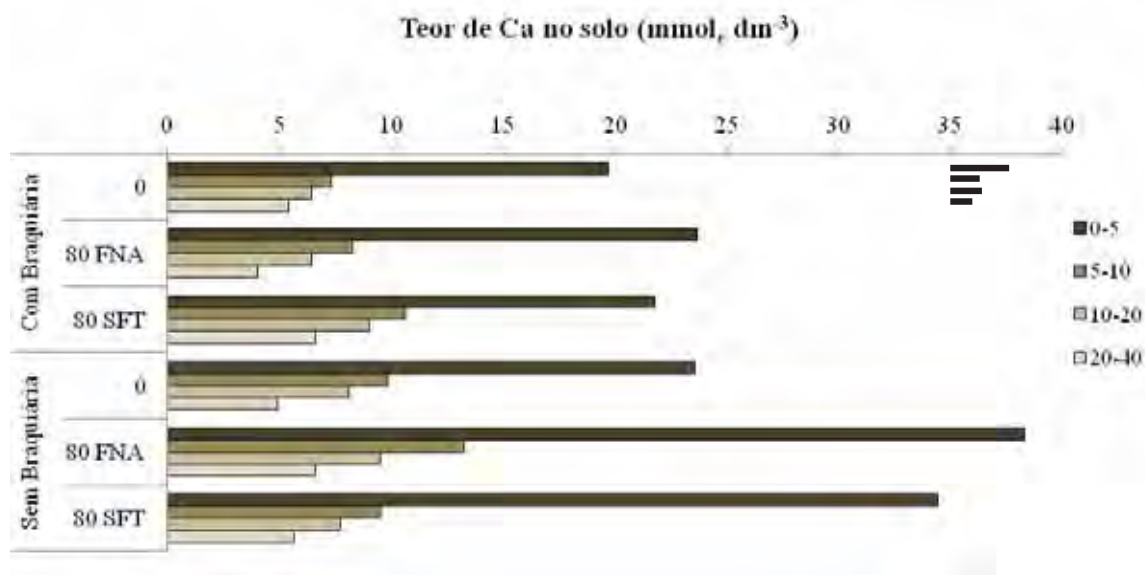


Figura 6: Valores médios de Cálcio ( $\text{mmol, dm}^{-3}$ ) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Para os teores de Mg no solo, não houve interação das camadas de 0-10cm. Na camada de 10-20cm, os teores de Mg foram diminuídos com a aplicação dos adubos fosfatados na presença braquiária, ao passo que, em sua ausência, não houve diferença entre os tratamentos com e sem aplicação de P. Na camada de 20-40 cm, observaram-se menores teores de Mg no uso de FNA na presença de braquiária, enquanto, na ausência, a aplicação dos adubos fosfatados incrementou os valores de Mg (Figura 7). O efeito dos fosfatos no teor de Mg pode estar relacionado à disponibilidade de P no solo, a despeito da carência de informações encontradas em virtude dessa interação. Contudo, Skinner e Matthews (1990) e Zhong et al.(1993) estudaram a interação P x Mg em videira e em mudas de mamoneira, respectivamente, constatando que a disponibilidade do P no solo é um fator decisivo para a mobilização, a absorção e a translocação do Mg para dentro da planta.

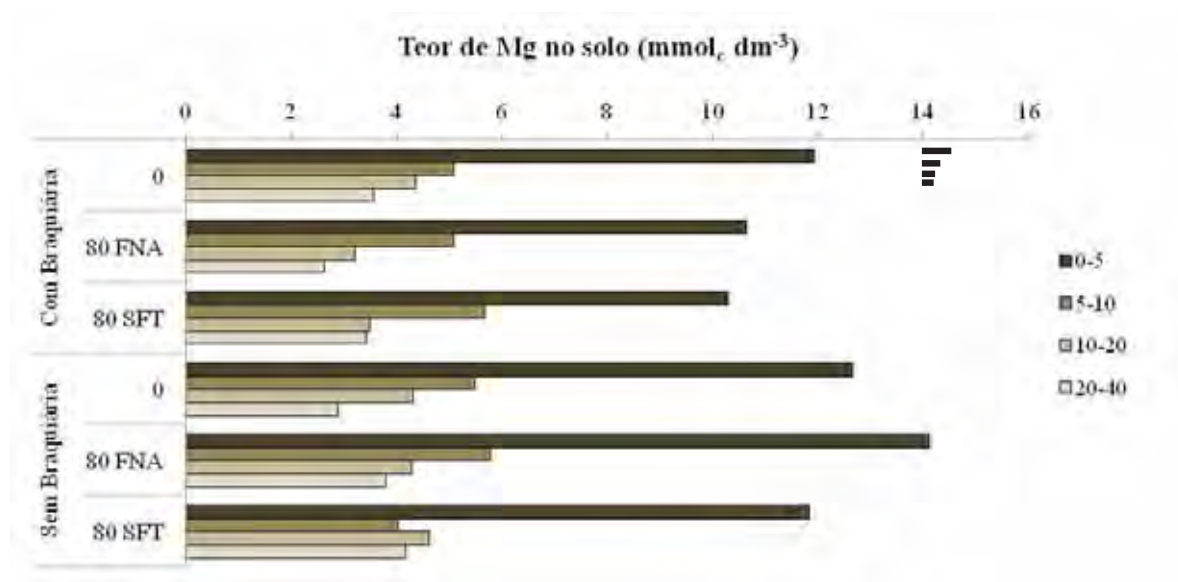


Figura 7: Valores médios de Magnésio (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

A aplicação dos fosfatos e a presença de braquiária pouco influenciaram nos teores de K no solo, portanto, não houve interação (Tabela 6). A adubação fosfatada diminuiu os teores de K no perfil do solo analisado (Figura 8).

De acordo com a Figura 9, a saturação por bases foi maior nas camadas superficiais do solo, o que pode estar associado à aplicação da calagem, fato também notado por Souza et al. (2011), após aplicação de calagem no solo para o cultivo do feijoeiro.

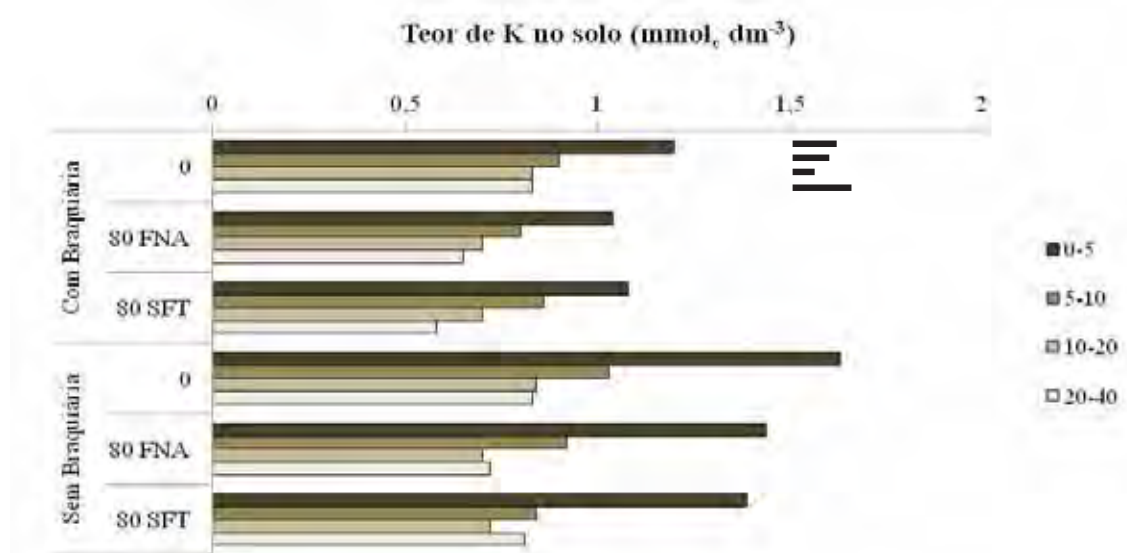


Figura 8: Valores médios de Potássio ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Houve interação dos fosfatos com o cultivo de braquiária para a saturação por bases na camada de 0-5 cm e 5-10 cm (Tabela 6). Na camada de 0-5cm, menores valores de saturação por bases foram observados na presença de braquiária, contudo, não houve diferença significativa para os tratamentos com e sem aplicação de P. Já na ausência de braquiária, a aplicação dos fosfatos aumentou a saturação por bases. Percebe-se, no perfil de 5-10cm, que a presença de braquiária proporcionou maior saturação por bases com o uso de SFT, enquanto, na ausência da gramínea, a maior saturação por bases foi para o FNA (Figura 9). A menor saturação por bases na presença de braquiária pode ser devido à presença do sistema radicular da gramínea, o que possivelmente confirma a observação de Corrêa et al. (2008), que constataram aumentos para o crescimento do sistema radicular, desenvolvimento da parte aérea e produção da aveia em função da aplicação superficial de diferentes corretivos.

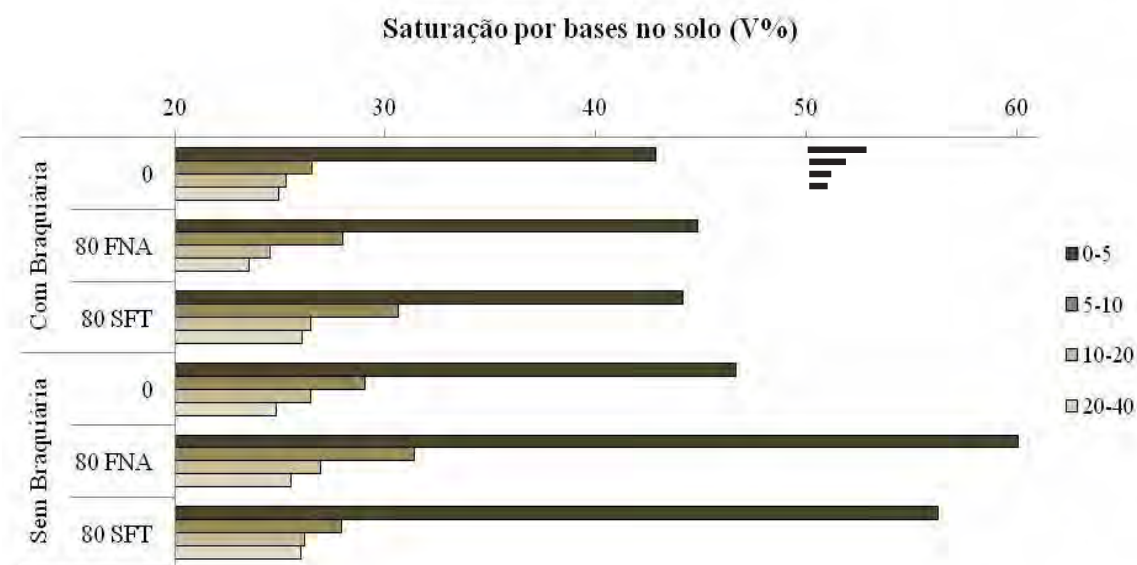


Figura 9: Valores médios de Saturação por Bases ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados e braquiária (presença e ausência) . Novembro de 2010. Linhas na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Não houve aumentos para os teores de P, Ca, Mg e K no solo, na presença de braquiária como espécie de cobertura, no presente estudo. Apenas incrementos na acidificação foram observados nas camadas superficiais do solo, o que é corroborado pela investigação de Eckert (1991), ao cultivar centeio como planta de cobertura. Dessa maneira, maiores teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio têm sido observados nas camadas superficiais do solo, comparadas às camadas mais profundas no SSD com rotação de culturas (SIDIRAS; PAVAN, 1985; SILVEIRA; STONE, 2001).

## 6.2. Fósforo disponível no solo na maturação fisiológica da soja

A amostragem de solo realizada em plena fase reprodutiva da soja apresentou resultados semelhantes aos da primeira amostragem para o P disponível, com diferença significativa para a braquiária, fertilizantes fosfatados e doses de P aplicadas no sulco de semeadura da soja (Tabela 7).

Tabela 7: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa no fósforo disponível extraídos por resina trocadora de íons ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) em plena maturação fisiológica da soja (Estádio  $R_6$ ), em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço (Pi), presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) e doses de fósforo (PP) no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de SFT). Fevereiro de 2011.

| Tratamentos      | P disponível ( $P > F_c$ ) |         |
|------------------|----------------------------|---------|
|                  | 0-5 cm                     | 5-10 cm |
| P Inicial (Pi)   | 0,000                      | 0,000   |
| Braquiária (B)   | 0,012                      | 0,008   |
| P semeadura (PP) | 0,001                      | 0,000   |
| PI*PP            | 0,000                      | 0,001   |
| PI*B             | 0,000                      | 0,275   |
| PP*B             | 0,000                      | 0,065   |
| B*PP*PI          | 0,000                      | 0,001   |

Na camada de 0-5 cm e 5-10 cm, menores teores de P foram observados na presença de braquiária, a maior disponibilidade de P na profundidade de 0-5 cm foi obtida com o FNA (Figura 10). Não houve interação braquiária x adubos fosfatados na camada de 5-10 cm para a disponibilidade de P. Todavia, a aplicação dos adubos fosfatados aumentou o teor de P disponível no solo (Figura 10).

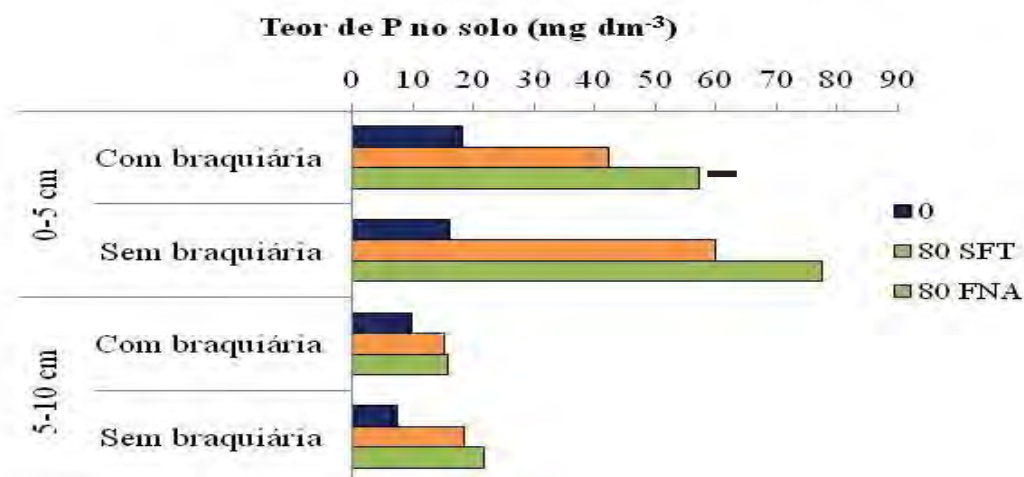


Figura 10: Valores médios de fósforo disponível extraídos por resina trocadora de íons em plena maturação fisiológica da soja (Estádio  $R_6$ ) (0-5 e 5-10 cm profundidade), na interação ausência e presença de braquiária, em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço. Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte a barra= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Com relação ao P disponível na camada de 0-5 cm, foi observada interação de doses de P no sulco de semeadura da soja e cultivo de braquiária (Tabela 7). A dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aumentou a disponibilidade de P no solo. Com a presença de braquiária, obteve-se menor teor de P no solo, no tratamento sem P, não diferindo da dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, enquanto, na ausência de braquiária, foram obtidas menores disponibilidades de P no solo na ausência de aplicação de P (Figura 11).

Pelos dados obtidos, parece não ter ocorrido solubilização do fosfato pela braquiária, devido aos maiores valores de P disponível no solo extraído com resina, quando na presença de braquiária, entretanto, algumas espécies vegetais contribuem para a solubilização do P no solo, principalmente o P não-lábil, mediante a exsudação de ácidos orgânicos liberados pelo sistema radicular (CHIEN; MENON, 1995), “alimentando” o P na solução do solo. Contudo, a solubilização do P pela braquiária pode ter-se dado, porém, com posterior absorção do nutriente pela espécie.

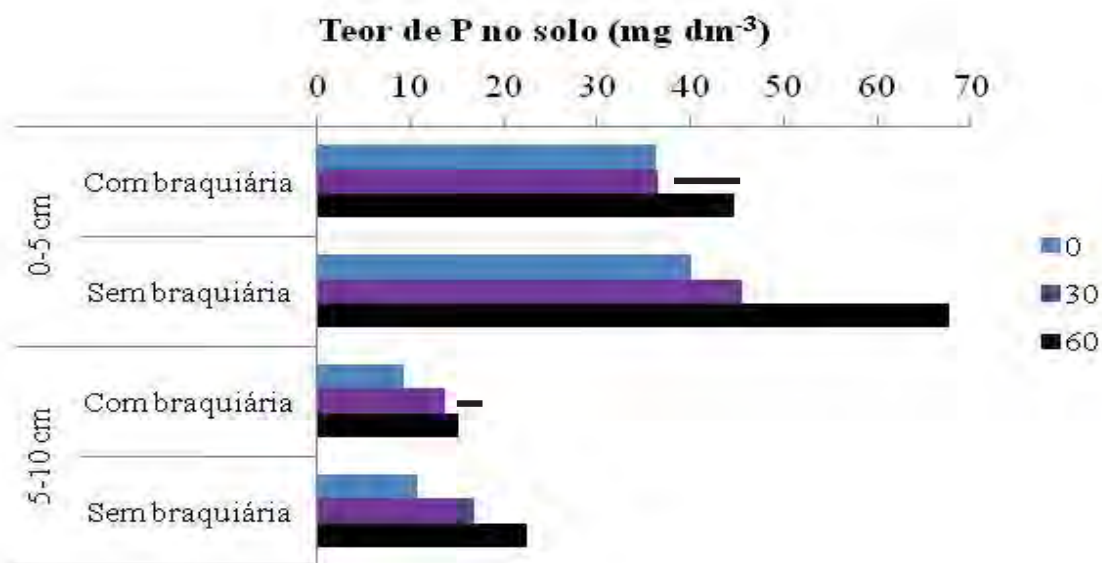


Figura 11: Valores médios de fósforo disponível extraídos por resina trocadora de íons em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade), na interação ausência e presença de braquiária e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Na camada de 0-5cm, o SFT e o FNA, aplicados a lanço junto à aplicação de 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco de semeadura da soja, diminuíram o teor de P disponível no solo (Figura 12). Já na camada de 5-10 cm, o FNA aplicado a lanço com as doses de P no sulco de semeadura da soja não apresentou diferença para o teor de P disponível no solo. Segundo Rosolem et al. (1994), aumentos nos teores de P disponível no solo em função de doses de fertilizantes fosfatos têm sido também observados. Esse resultado da maior disponibilidade de P, em relação à maior dose do fertilizante fosfatado aplicado no solo (Figuras 11 e 12), explica o fato de a capacidade de adsorção de P diminuir com o aumento da concentração desse elemento no solo (WHALEN; CHANG, 2002).

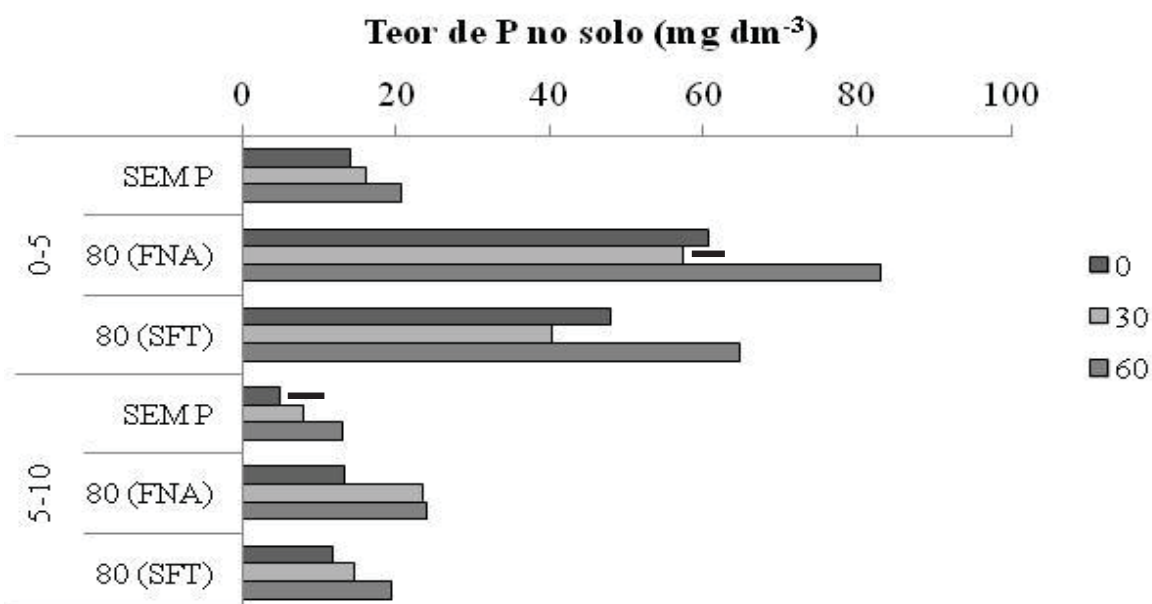


Figura 12: Valores médios de fósforo disponível extraídos por resina trocadora de íons em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade), na interação fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

A explicação para a maior disponibilidade de P, quando empregado o FNA (Figuras 10 e 12), pode ser a reação de menor intensidade no solo, com liberação do nutriente de forma mais lenta. As reações de fixação do nutriente às vezes são favorecidas no uso do SFT, devido à rápida liberação do P, principalmente com aplicações de altas doses em

solos oxídicos, ácidos e intemperizados, o que reduz a sua eficiência ao longo do tempo (NOVAIS; SMYTH, 1999).

### 6.3. Fósforo microbiano no solo na semeadura da soja

Uma das funções da biomassa microbiana no solo é a absorção e imobilização do P da solução do solo; principalmente em situações de aumentos nas disponibilidades de P, a análise de P microbiano passa a ser uma ferramenta importante de análise de P no solo. Foram observados efeitos para o teor de P na biomassa microbiana do solo em relação à fertilização fosfatada e o cultivo de braquiária (Tabela 8).

Tabela 8: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa na análise de fósforo microbiano ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nas camadas de 0-5 e 5-10cm de profundidade, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço (Pi) e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*). Novembro de 2010.

| Tratamentos    | P microbiano (P>Fc) |         |
|----------------|---------------------|---------|
|                | 0-5 cm              | 5-10 cm |
| P Inicial (Pi) | 0,000               | 0,003   |
| Braquiária (B) | 0,000               | 0,002   |
| Pi x B         | 0,000               | 0,000   |

Um dos fatores que podem estar associados à maior quantidade de P na biomassa microbiana, na presença de braquiária, é a deposição de resíduos na camada superficial do solo (Figura 13). De fato, em condições de baixas disponibilidades de P e, principalmente, baixa deposição de resíduos vegetais no solo em função do sistema de cultivo, a biomassa microbiana passa a ser um compartimento que retém pouco P do solo, com pouca influência sobre a disponibilidade de P às plantas (GATIBONI et al., 2008).

Os maiores teores de P na biomassa microbiana com a utilização de SFT, tanto na presença quanto na ausência da gramínea (Figura 13), podem ser devido à maior disponibilidade de P em relação ao FNA, que apresenta disponibilidade mais gradual. Assim, parte desse P logo foi assimilada pela biomassa microbiana do solo, onde esta atuaria como “reservatório de P”, impedindo que parte do P adicionado ao solo se transformasse em formas menos disponíveis para a cultura. Esse efeito pode ser observado, principalmente nos solos

brasileiros, em razão da elevada adsorção do P (VILLANI, 2003). O teor de P microbiano no solo chegou a ser menor com o uso de FNA, na presença de braquiária, quando comparado à não aplicação de P.

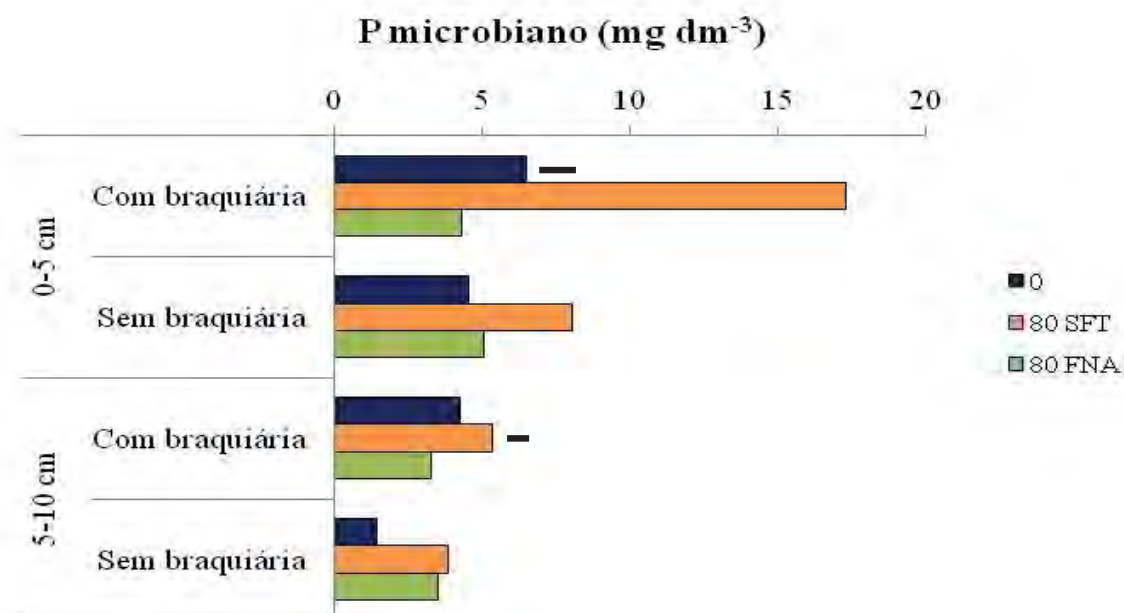


Figura 13: Valores médios de Fósforo microbiano (mg dm<sup>-3</sup>) no solo nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Estudos de P na biomassa microbiana são importantes para a quantificação da forma de P presente no solo, ainda que realizados na presença de plantas de cobertura e adição de fertilizantes fosfatados ao sistema. A biomassa microbiana atua como minimizador da adsorção de P, imobilizando-o temporariamente, sendo, posteriormente mineralizada de forma gradual, com possibilidades interessantes de sincronismo com a marcha de absorção do nutriente pelas plantas (RHEINHEIMER et al., 2008; CONTE et al., 2002; CARNEIRO et al., 2004; MARTINAZZO et al., 2007).

### 6.3.1. Fósforo microbiano no solo na fase reprodutiva da soja

Os valores de P na biomassa microbiana na maturação fisiológica da soja apresentaram diferença, inclusive nas interações (Tabela 9). Foi observada uma diminuição do teor de P microbiano na camada de 0-5 cm e um aumento na camada de 5-10cm, em comparação aos valores da primeira amostragem de solo (Figuras 13 e 14).

Tabela 9: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa no fósforo microbiano ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>), em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço (Pi), presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) e doses de fósforo (PP) no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na forma de SFT). Fevereiro de 2011.

| Tratamentos             | P microbiano (P>Fc) |         |
|-------------------------|---------------------|---------|
|                         | 0-5 cm              | 5-10 cm |
| <b>P Inicial (Pi)</b>   | 0,000               | 0,000   |
| <b>Braquiária (B)</b>   | 0,000               | 0,000   |
| <b>P Semeadura (PP)</b> | 0,000               | 0,000   |
| <b>PI*PP</b>            | 0,001               | 0,000   |
| <b>PI*B</b>             | 0,000               | 0,000   |
| <b>PP*B</b>             | 0,000               | 0,000   |
| <b>B*PP*PI</b>          | 0,000               | 0,000   |

Na camada de 0-5 cm de solo, os teores de P microbiano com a aplicação de FNA na presença de braquiária foram aumentados, ao passo que, na ausência de braquiária, menor teor de P microbiano foi observado para os fosfatos na presença da gramínea. Na camada de 5-10 cm, na presença de braquiária, houve diminuição do teor de P microbiano com o FNA e aumento dos teores no uso de SFT. Diferindo da primeira amostragem, o efeito para o P na biomassa microbiana, na presença de braquiária, diminuiu com o SFT na camada de 0-5 cm ( $7,12 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e aumentou na camada de 5-10 cm ( $11,1 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Já com o uso de FNA, os teores de P microbiano aumentaram na camada de 0-5 cm ( $9,3 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e diminuiram na camada de 5-10 cm ( $1,7 \text{ mg dm}^{-3}$ ).

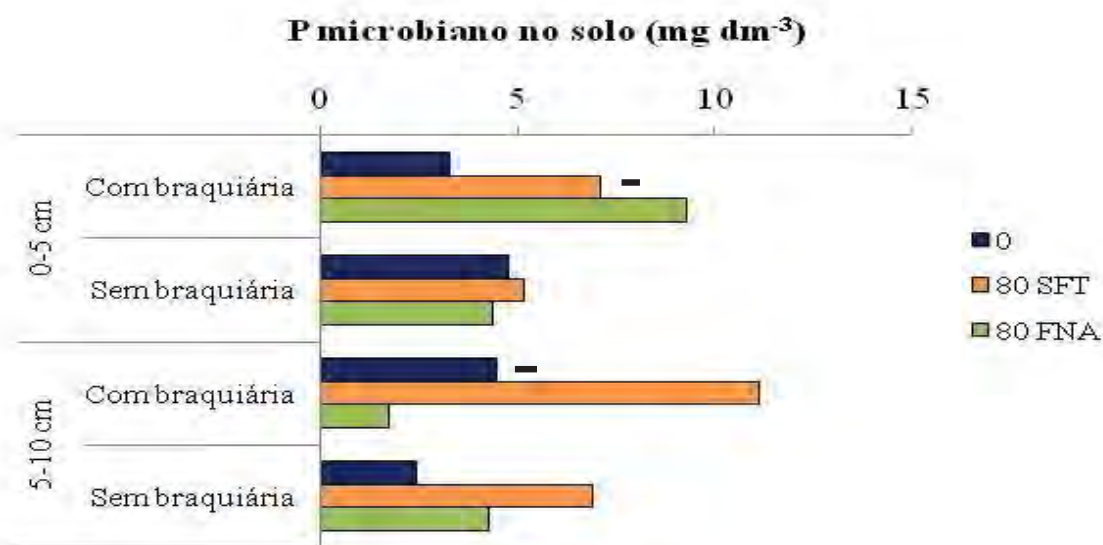


Figura 14: Valores médios de fósforo microbiano em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade), na interação ausência e presença de braquiária, em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço. Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Na presença de braquiária, na camada de 0-5 cm, o P na biomassa microbiana foi aumentado na aplicação da maior dose de P no sulco de semeadura da soja (Figura 15). Já na ausência da gramínea, o menor teor de P microbiano foi observado na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. No perfil de 5-10 cm, na presença de braquiária, não se verificou diferença para o teor de P microbiano no aumento das doses de P no sulco de semeadura da soja, enquanto, na ausência de braquiária, o maior teor de P microbiano foi na ausência de aplicação de P. A imobilização do P obtida pode vir a ser temporária, pois, conforme Martinazzo et al. (2007), essa imobilização diminui ao longo do desenvolvimento das culturas e sua variação, em virtude do tempo, não é acompanhada por variações no P extraído pela resina trocadora de ânions. A partir dessas premissas, posteriormente, o P microbiano pode ser considerado como fonte de P inorgânico para a solução do solo.

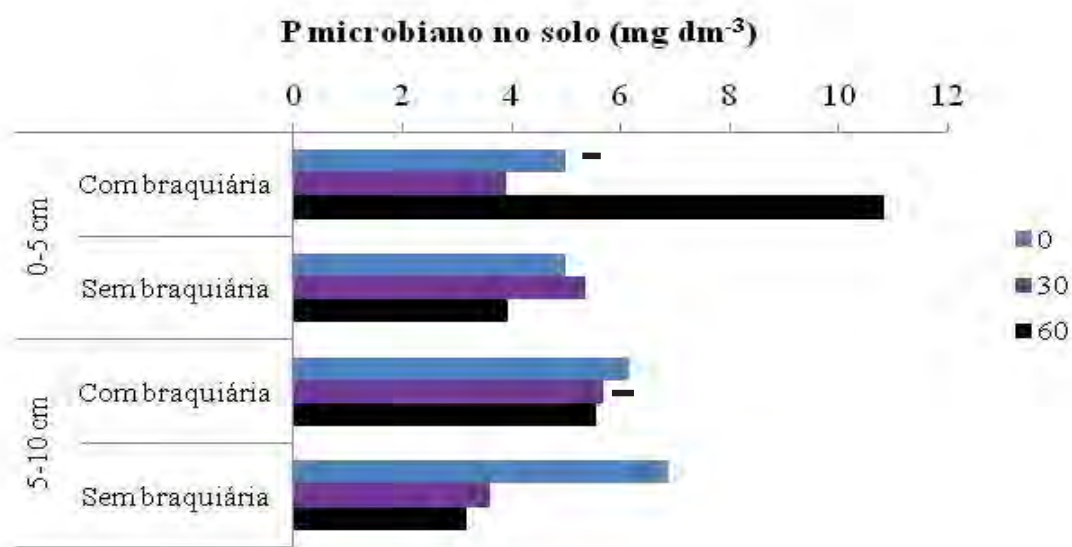


Figura 15: Valores médios de fósforo microbiano em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade), na interação ausência e presença de braquiária e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Na profundidade de 0-5 cm, o uso do P em cobertura na braquiária e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, no sulco de semeadura da soja, aumentou o teor de P microbiano no solo, independentemente da fonte fosfatada (Figura 16). Para o teor de P microbiano na profundidade de 5-10 cm, maior teor foi observado na utilização de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT aplicada a lanço, sem aplicação de P no sulco de semeadura da soja, fato que pode estar relacionado com a disponibilidade de P da fonte e o maior tempo de reação do fertilizante no solo, portanto, quando houve aplicação de P na semeadura da soja, os teores de P microbiano diminuíram (Figura 16).

A menor disponibilidade de P, na camada de 0-5 cm, com o uso de SFT (Figuras 5, 10, 11 e 12), possivelmente está associada com a assimilação do P pela microbiologia do solo, que visa a minimizar as reações de adsorção e/ou a precipitação em óxidos e hidróxidos com formas livres de ferro e alumínio. Dados semelhantes foram observados por Guerra et al. (1996), durante experimento de 5 anos, tendo como cobertura a *Brachiaria decumbens*, constatando que, quanto maior a solubilidade de P em relação à fonte

fosfatada no solo, independentemente da época de aplicação, maior será a quantidade de P na biomassa microbiana.

O aumento do teor de P microbiano na presença de gramínea foi igualmente percebido há alguns anos por Brookes et al. (1984), os quais verificaram que a taxa de renovação anual da biomassa microbiana seria de 40%. Já o fluxo anual de P, após 15 cultivos sucessivos, seria de apenas  $0,9 \text{ mg kg}^{-1}$  por ano, estimativa em que parte desse P é transferida para as novas gerações de microrganismos e não é conseqüentemente disponibilizada no sistema.

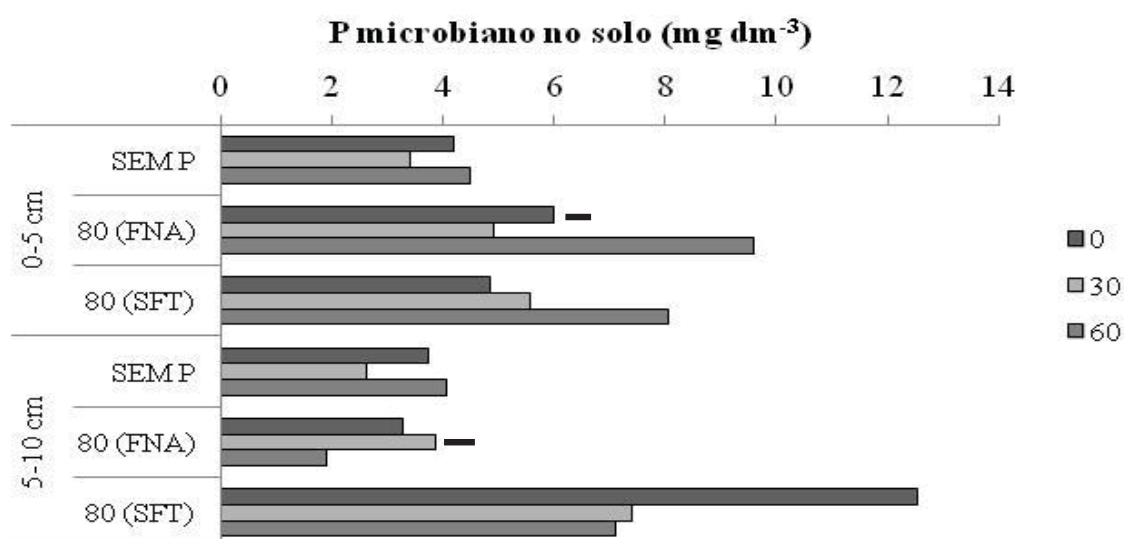


Figura 16: Valores médios de fósforo microbiano em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade), na interação fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

#### 6.4. Índice de saturação de fósforo no solo na semeadura da soja

Em função do uso de doses elevadas de fertilizantes fosfatados e a baixa disponibilidade de P dos solos tropicais, o índice de saturação de fósforo (PSI) pode ser importante na estimativa dos riscos de perdas de P em solos brasileiros e ainda ser facilmente incluído no programa de recomendação de P para as culturas, de modo a aperfeiçoar o emprego do P na agricultura e evitar as perdas do mesmo para o ambiente.

O PSI no perfil de solo analisado (0-40 cm de profundidade) foi aumentado nas camadas superficiais, com diminuição nas camadas subsuperficiais (Figura 17). Essa redução gradual em profundidade está diretamente relacionada com as quantidades de P disponível extraídas pelo método da resina, pois o solo não mostrou grande variação na quantidade de Al e Fe trocável entre os tratamentos (dados não apresentados). No cultivo de braquiária, foram observados menores PSI.

Tabela 10: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa na análise de índice de saturação de fósforo % (PSI) nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço (Pi) e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*). Novembro de 2010.

| Tratamentos    | PSI (P>Fc) |        |         |         |
|----------------|------------|--------|---------|---------|
|                | 0-5cm      | 5-10cm | 10-20cm | 20-40cm |
| P Inicial (Pi) | 0,000      | 0,001  | 0,001   | 0,000   |
| Braquiária (B) | 0,000      | 0,032  | 0,000   | 0,004   |
| Pi x B         | 0,000      | 0,292  | 0,656   | 0,059   |

Na profundidade de 0-5 cm e 20-40 cm, houve interação fosfatos e braquiária para o PSI (Tabela 10). Com a presença de braquiária, maior PSI foi notado nos tratamentos com P (Figura 17). Já na ausência da gramínea, na camada de 0-5 cm, foi obtido maior PSI com o FNA e, em 20-40 cm, o maior PSI foi com o SFT (Figura 17).

Esse índice pode ser determinado, utilizando-se os dados da capacidade máxima de adsorção de fósforo e os índices de P, Al e Fe estabelecidos por oxalato ou Mehlich. Entretanto, devido ao uso do FNA e à característica do método Mehlich de superestimar os valores de P, quando usado esse fertilizante, adotaram-se os métodos empregados no estado de São Paulo para a determinação de P disponível, Fe e Al trocável (RAIJ et al. 2001). Ainda assim, ressalta-se que o uso dessa ferramenta não descarta o de estudos específicos de perdas de P. No entanto, é uma ferramenta importante para o uso adequado do P na agricultura, frente aos desafios de produção de energia, crescente demanda alimentar global e manutenção das finitas reservas de P.

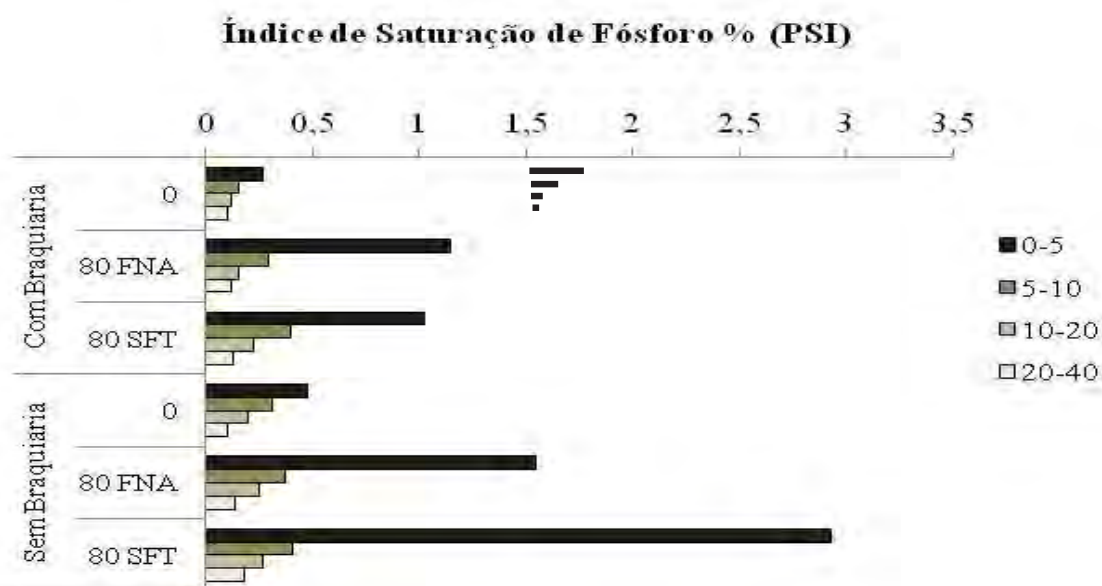


Figura 17: Valores médios do índice de saturação de fósforo (%) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

#### 6.4.1. Índice de saturação de fósforo no solo na fase reprodutiva da soja

Devido à menor disponibilidade de P, em ambas as amostragens de solo, o menor PSI na presença de braquiária era esperado, o que foi igualmente verificado por Allen e Mallarino (2006), os quais, ao estudar a aplicação de esterco suíno e de aves a longo período, observaram que, à medida que se aumentava a disponibilidade de P no solo, conseqüentemente, aumentava o PSI, variando este em valores menores de 1% até próximos a 18%.

Houve efeitos para doses, fertilizantes fosfatados e braquiária para o PSI nas duas profundidades (0-5 e 5-10 cm) (Tabela 11). O PSI não diferiu na interação braquiária x P no sulco de semeadura da soja (PP), e fertilizantes fosfatados (Pi) x P no sulco de semeadura da soja (PP), na profundidade de 0-5 cm.

Tabela 11: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa no índice de saturação de fósforo % (PSI) em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>), em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço (Pi), presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) e doses de fósforo (PP) no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de SFT). Fevereiro de 2011.

| Tratamentos             | PSI (P>Fc) |         |
|-------------------------|------------|---------|
|                         | 0-5 cm     | 5-10 cm |
| <b>P Inicial (Pi)</b>   | 0,000      | 0,000   |
| <b>Braquiária (B)</b>   | 0,000      | 0,000   |
| <b>P Semeadura (PP)</b> | 0,002      | 0,000   |
| <b>PI*PP</b>            | 0,571      | 0,000   |
| <b>PI*B</b>             | 0,000      | 0,000   |
| <b>PP*B</b>             | 0,126      | 0,020   |
| <b>B*PP*PI</b>          | 0,000      | 0,000   |

Maior PSI para o FNA, na camada de 0-5 cm, foi percebido (Figura 18). No perfil de 5-10 cm, na presença de braquiária, não houve diferença estatística para os fosfatos, ao passo que, na ausência de braquiária, o maior PSI foi para o FNA.

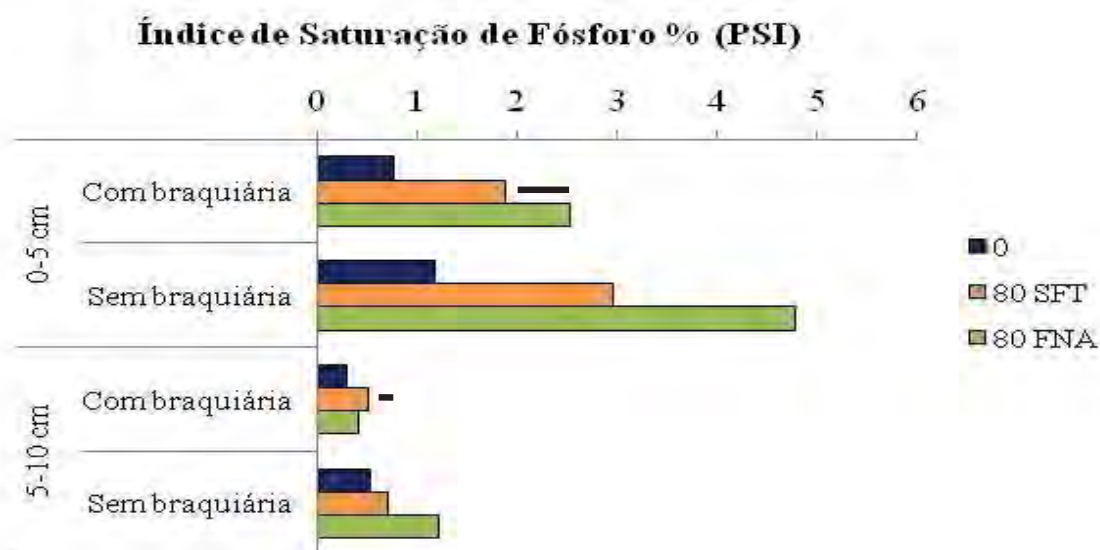


Figura 18: Valores médios de índice de saturação de fósforo (%) no solo em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade), na interação ausência e presença de braquiária, em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço. Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte a barra= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Analisando as interações de P no sulco de semeadura da soja (PP) x braquiária (B) no perfil de 5-10 cm para o PSI, constata-se que, mesmo não ocorrendo diferença nas doses de 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na presença de braquiária, obtiveram-se resultados superiores na ausência da mesma, inclusive para o tratamento sem aplicação de P, apresentando novamente a relação com a menor disponibilidade de P (Figura 19).

Na profundidade de 5-10 cm, foi observado maior PSI na utilização de FNA aplicado a lanço com 30 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco de semeadura (Figura 20). Todavia, no tratamento com SFT e testemunha, foram obtidos aumentos no PSI até a dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 20).

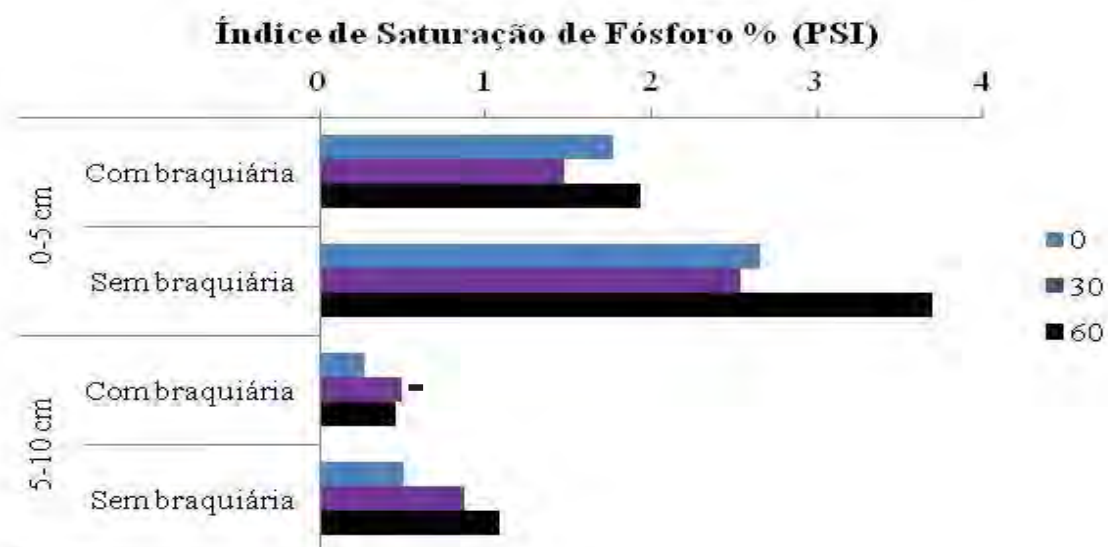


Figura 19: Valores médios de índice de saturação de fósforo (%) no solo em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade), na interação ausência e presença de braquiária e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Fevereiro de 2011. Linha na horizontal defronte a barra= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

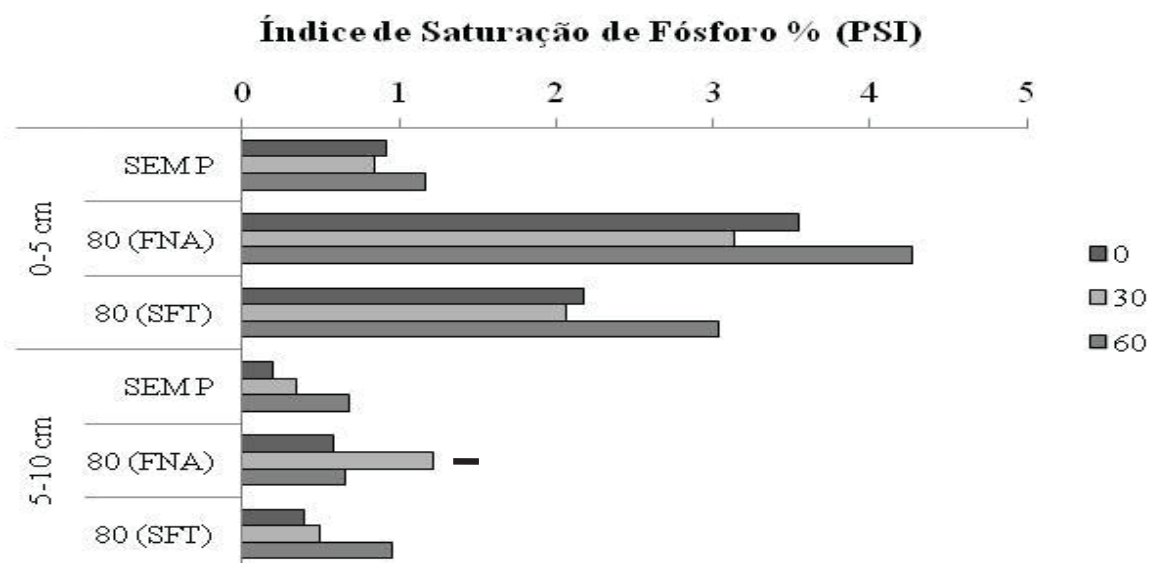


Figura 20: Valores médios de índice de saturação de fósforo (%) no solo em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) (0-5 e 5-10 cm profundidade), na interação fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Fevereiro de 2011. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

### 6.5. Capacidade máxima de adsorção de fósforo no solo

As isotermas de adsorção de fósforo demonstraram que as quantidades de fosfatos adsorvidas pelo solo aumentaram com a concentração da solução de equilíbrio, inicialmente de uma maneira mais intensa (curvas não apresentadas), porém, valores com menores intensidades a altas concentrações tendem a ser adquiridos, a despeito de as formas das isotermas serem características da adsorção química de uma monocamada aniônica (BARROW, 1961). Como descrito por Barrow (1985), na fase inicial de adsorção de P no solo, há uma atração eletrostática seguida pela adsorção por oxidróxidos, por meio de troca de ligantes.

A braquiária apresentou efeito na capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) na camada de 0-5 cm, assim como também na energia de ligação de fósforo nas camadas de 0-5 cm e 20-40 cm. Houve diferença na interação dos fosfatos e braquiária na CMAP, na profundidade de 5-10 cm e 20-40 cm, e para a energia de adsorção de fósforo, na profundidade de 0-5 cm (Tabela 12).

Tabela 12: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa na análise de capacidade máxima de adsorção de fósforo no solo ( $\text{mg g}^{-1}$ ) (CMAP) e energia de adsorção de fósforo ( $\text{L mg}^{-1}$ ) nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40cm de profundidade, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço (Pi) e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*). Novembro de 2010.

| Tratamentos                           | CMAP (P>Fc) |         |          |          |
|---------------------------------------|-------------|---------|----------|----------|
|                                       | 0-5 cm      | 5-10 cm | 10-20 cm | 20-40 cm |
| P Inicial (Pi)                        | 0,000       | 0,763   | 0,736    | 0,059    |
| Braquiária (B)                        | 0,000       | 0,081   | 0,975    | 0,081    |
| Pi x B                                | 0,330       | 0,054   | 0,970    | 0,000    |
| Energia de adsorção de fósforo (P>Fc) |             |         |          |          |
| P Inicial (Pi)                        | 0,000       | 0,381   | 0,094    | 0,000    |
| Braquiária (B)                        | 0,001       | 0,413   | 0,100    | 0,026    |
| Pi x B                                | 0,039       | 0,109   | 0,654    | 0,062    |

Aumentos na CMAP nas camadas subsuperficiais em relação às camadas superficiais foram observados, ao passo que, para a energia de adsorção de fósforo, houve decréscimo para os valores em profundidade. A presença de braquiária reduziu a CMAP em  $0,37 \text{ mg g}^{-1}$  na camada de 0-5 cm (Figura 21) com valores médios de  $1,38 \text{ mg g}^{-1}$  e maior energia de adsorção de fósforo, na faixa de  $0,09 \text{ L mg}^{-1}$  (Figura 22), o que demonstra a força de adsorção dos íons fosfatos no solo. Maior CMAP foi observada com o FNA na profundidade de 0-5 cm a uma média de  $1,7 \text{ mg g}^{-1}$ , que conseqüentemente apresentou menor energia de adsorção de fósforo ( $0,04 \text{ L mg}^{-1}$ ). No perfil de 5-10 cm, houve diminuição da CMAP na ausência de aplicação de P e braquiária (Figura 21). Como a CMAP tende a ser constante, e a “energia de adsorção” varia com a forma de disponibilidade do P no solo, imagina-se ter, na “energia de adsorção” ou em alguma medida de dessorção de P do solo, uma maneira de comparar comportamentos de P num mesmo solo, com diferentes históricos de uso (FALCÃO; SILVA, 2004).

Fato interessante foi notado em subsuperfície (20-40 cm), na interação braquiária e fosfatos (Figura 21), em que a utilização de SFT e o cultivo de braquiária apresentaram menores CMAP. Conclui-se que a presença do sistema radicular dessa gramínea minimizou a CMAP do solo, solubilizando o P para o sistema. Segundo Janegitz et al. (2011), espécies de braquiária são capazes de solubilizar o P do solo, diminuindo conseqüentemente a adsorção dos fosfatos.

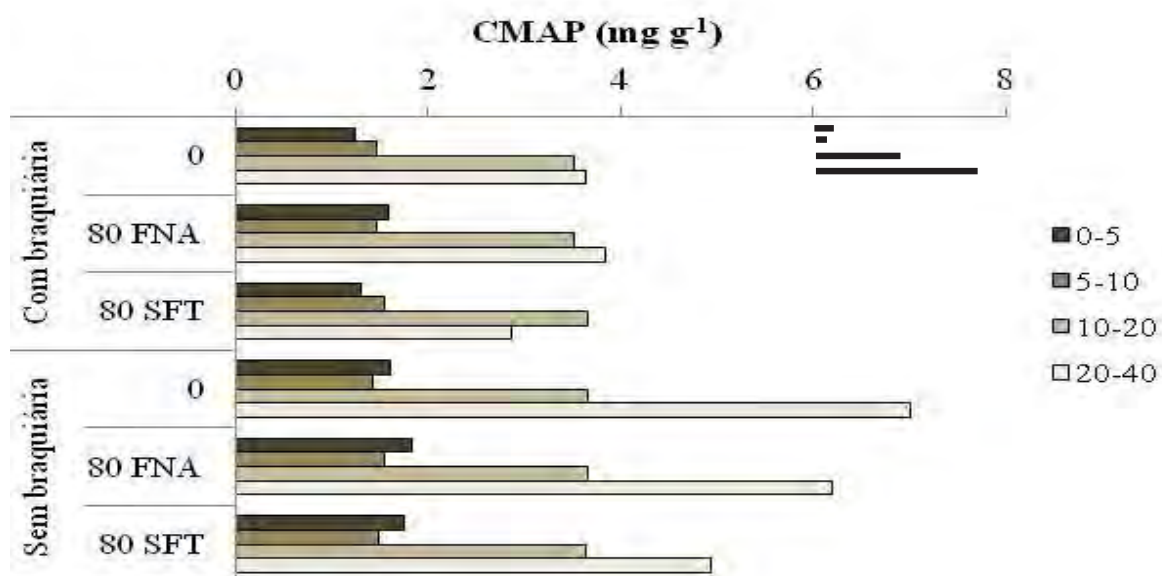


Figura 21: Valores médios da capacidade máxima de adsorção de fósforo no solo (valores expressos em mg de P por g de solo) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

O aumento da CMAP no perfil do solo analisado possivelmente está relacionado ao teor de  $Al^{+3}$  trocável (dados não apresentados), mesmo fato que também foi verificado por Coleman et al. (1960) e Syers et al. (1971), os quais observaram alta correlação entre a CMAP e o  $Al^{+3}$  no solo.

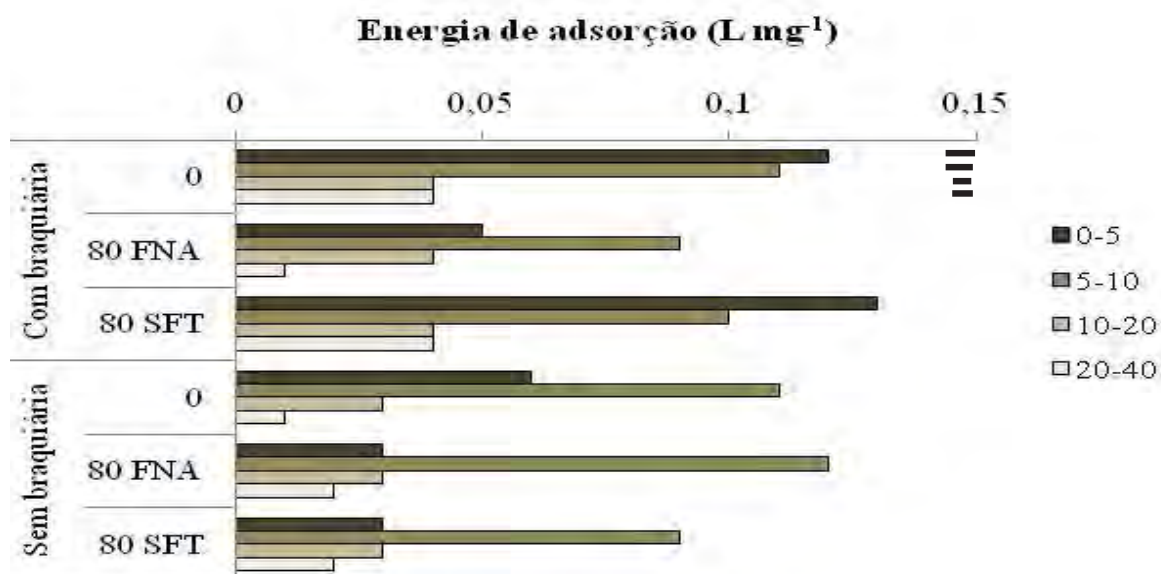


Figura 22: Valores médios de energia de adsorção de fósforo no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em função de fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e braquiária (presença e ausência). Novembro de 2010. Linha na horizontal, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

### 6.6. Avaliações de massa de matéria seca e teor de fósforo na braquiária

O maior desafio do sistema de semeadura direta, na região do Cerrado, é conseguir quantidade de massa produzida o suficiente para que haja fornecimento constante de material ao solo, até o início da semeadura da cultura subsequente (ALVARENGA et al. 2001). Contudo, para uma boa proteção do solo, são necessárias cerca de  $7t\ ha^{-1}$  de massa de matéria seca (KLUTHCOUSKI et al., 2003). Portanto, a produtividade de biomassa seca obtida neste trabalho não seria suficiente para a adoção do sistema semeadura direta (Tabela 13), além de os efeitos da baixa produção de palhada estarem relacionados a condições climáticas adversas, ocorridas no decorrer do ensaio (Figura 1), como, por exemplo, temperaturas amenas e baixos índices pluviométricos.

A maior massa de matéria seca foi obtida com FNA (Tabela 13). A explicação para esta maior massa de matéria seca pode estar ligada com a capacidade da planta em extrair o P do solo, devido ao sistema radicular abundante e produção de exsudatos capazes de acidificar a rizosfera, favorecendo posteriormente a solubilização dos fosfatos

naturais menos reativos, insolúveis em água, que necessitam de acidez para que alguma dissolução se inicie (GOEDERT et al. 1986; SOUSA et al., 2002).

Tabela 13: Valores médios de massa de matéria seca e teor de fósforo na braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) antes da dessecação. Novembro de 2010.

| Tratamentos<br>kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> | Matéria Seca<br>T. ha <sup>-1</sup> | Teor de Fósforo<br>g kg <sup>-1</sup> |
|---|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 0   | 3,94                                | 1,35                                  |
| 80 Fosfato Natural de Arad  | 6,3                                 | 1,62                                  |
| 80 Superfosfato Triplo  | 4,51                                | 1,95                                  |
| Média   | 4,92                                | 1,64                                  |
| DMS *   | 1,23 *                              | 0,22 *                                |
| CV (%)  | 30,02                               | 16,21                                 |

\*Diferença mínima significativa a 1% de probabilidade de erro pelo teste t (LSD), ns- não significativo pelo teste F.

Os teores de P encontrados na massa de matéria seca de plantas de braquiária (Tabela 13) estão caracterizados acima do nível de suficiência indicado para as gramíneas. De acordo com Malavolta (1997), o nível de suficiência se situa na faixa de 0,8 – 1,2 g kg<sup>-1</sup>, contudo, houve diferença entre os tratamentos com e sem aplicação de P. A não aplicação de P ocasionou menor teor de P na planta com médias de 1,4 g kg<sup>-1</sup>, porém, não foi menor que a faixa nutricional indicada. Sendo assim, os dados diferem dos de Olibone (2005) e Merlim (2008), que não encontraram diferença nos teores de P, quando realizada a aplicação de fertilizantes fosfatados para triticales e braquiária, respectivamente.

Os maiores teores de P obtidos para o SFT, no presente trabalho, podem estar relacionados à menor massa de matéria seca, quando comparados ao FNA (Tabela 13), e não à maior absorção do fosfato pela gramínea, pois menor quantidade de P na planta, na primeira coleta, pode ser observada na utilização de SFT, na Figura 23. Isso possivelmente está em discordância com Silva et al. (2011), que, ao avaliarem a biomassa e a absorção de P por espécies vegetais de cobertura submetidas a fertilizantes fosfatados, puderam observar maiores teores na utilização do SFT comparado ao FNA, acúmulo e índice de eficiência de uso de P nas plantas de cobertura.

### 6.6.1. Ciclagem de fósforo na braquiária

A quantidade de fósforo na palhada de braquiária apresentou diferença entre os fertilizantes fosfatados e a não aplicação de P, em todas as coletas de palha (Tabela 14), ao longo de 90 dias após a dessecação química das plantas (novembro, 2010 – fevereiro, 2011).

Tabela 14: Valores médios de quantidade de fósforo na palha de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) em consequência das diferentes coletas, referentes a 0,15, 30, 60 e 90 dias após a dessecação.

| Tratamentos<br>kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> | Quantidade de P (kg ha <sup>-1</sup> ) |           |           |           |           |
|---|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
|   | 1° Coleta                              | 2° Coleta | 3° Coleta | 4° Coleta | 5° Coleta |
| Sem P   | 5,6                                    | 5,8       | 3,6       | 2,6       | 0,9       |
| 80 Fosfato Natural de Arad  | 10,0                                   | 6,9       | 4,3       | 3,1       | 1,2       |
| 80 Superfosfato Triplo  | 9,5                                    | 7,9       | 5,0       | 3,3       | 1,5       |
| Média   | 8,4                                    | 6,9       | 4,2       | 2,0       | 1,2       |
| DMS *   | 1,99*                                  | 1,46**    | 0,61*     | 0,46**    | 0,36**    |
| CV (%)  | 28,3                                   | 25,5      | 16,8      | 18,1      | 26,5      |

\*Diferença mínima significativa a 1% de probabilidade, e \*\* 5% de probabilidade de erro pelo teste t (LSD).

Houve menor quantidade de P na ausência de aplicação de P em todas as coletas, com redução de diferença ao decorrer das amostragens (Figura 23). A ciclagem de fósforo foi maior com o uso de FNA, da primeira à quinta coleta, proporcionando um retorno ao solo de aproximadamente 9 kg ha<sup>-1</sup> de P (Figura 24).

Valor correspondente para o retorno de P no solo na presença de gramínea foi encontrado por Borkert et al. (2003), após a quantificação dos nutrientes reciclados por cinco espécies vegetais (aveia preta, mucuna preta, guandu, tremoço e ervilhaca), constatando uma ciclagem de P entre 8 a 12 kg ha<sup>-1</sup>.

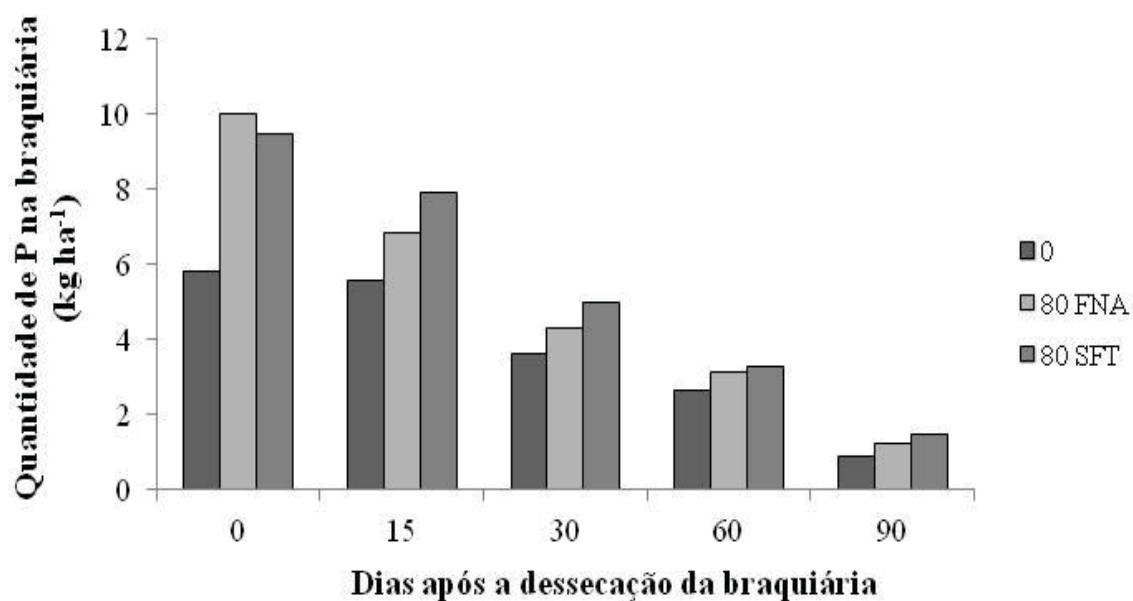


Figura 23: Valores médios de quantidade de fósforo na palha de braquiária (*Braquiária ruziziensis*), em função das diferentes coletas, referentes a 0, 15, 30, 60 e 90 dias após a dessecação.

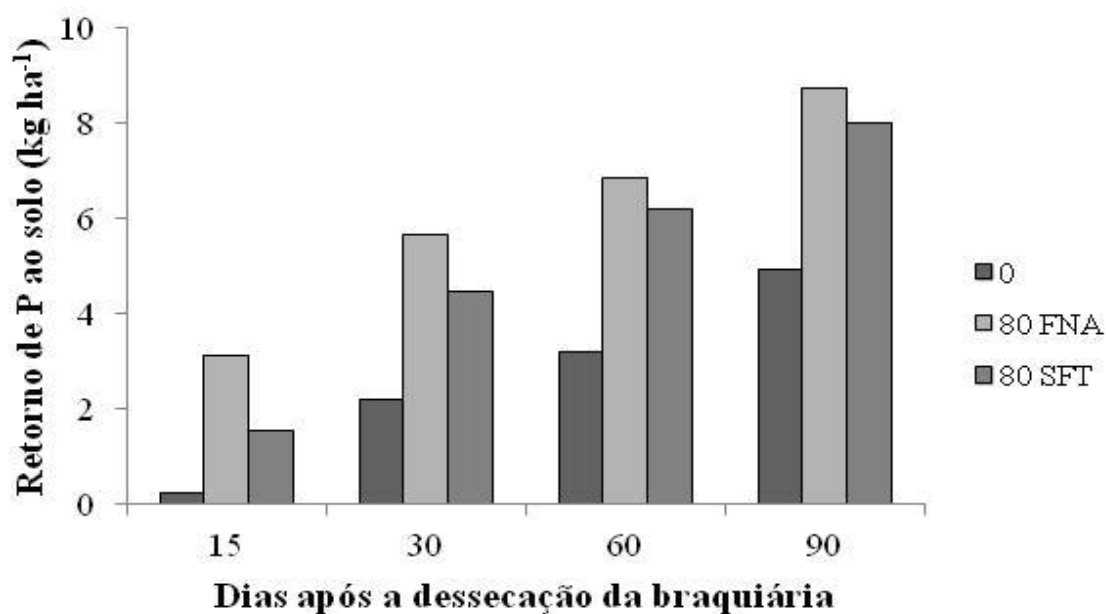


Figura 24: Valores médios de retorno de fósforo ao solo através da palha de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), em função das diferentes coletas, referentes a 15, 30, 60 e 90 dias após a dessecação.

### 6.7. Diagnose foliar para o fósforo e massa de matéria seca na soja

Na diagnose foliar da soja, os teores de macronutrientes, como Ca, Mg e K, variaram de 8,7-10,1; 3,9-4,1 e 28,2-31,0 g kg<sup>-1</sup> respectivamente. Já os teores de micronutrientes Cu, Zn, Mn, Fe foram quantificados na faixa de 11,0-11,8; 60,5-64,5; 71,1-92,3; 289,6-312,0 mg kg<sup>-1</sup>. Esses teores são considerados adequados, dentro da faixa nutricional para a cultura da soja, segundo Malavolta (1997).

A Tabela 15 apresenta o efeito da braquiária, inclusive positivo, para o teor de P nas folhas em pleno florescimento (R<sub>2</sub>), teor de P na planta e semente em plena maturação fisiológica da soja (R<sub>6</sub>), e massa de matéria seca, sendo que apenas para a última o efeito da gramínea foi negativo.

Tabela 15: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa para teor de fósforo nas folhas em pleno florescimento – 50 DAE (Estádio R<sub>2</sub>), e na planta, semente e massa de matéria seca (MS), em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>), em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço (Pi), presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) e doses de fósforo (PP) no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de SFT).

| Tratamentos             | (P>Fc)                         |          |                                |                                 |
|-------------------------|--------------------------------|----------|--------------------------------|---------------------------------|
|                         | P folhas<br>g kg <sup>-1</sup> | MS<br>kg | P planta<br>g kg <sup>-1</sup> | P semente<br>g kg <sup>-1</sup> |
| <b>P Inicial (Pi)</b>   | 0,004                          | 0,178    | 0,106                          | 0,000                           |
| <b>Braquiária (B)</b>   | 0,033                          | 0,000    | 0,004                          | 0,000                           |
| <b>P Semeadura (PP)</b> | 0,109                          | 0,001    | 0,909                          | 0,218                           |
| <b>PI*PP</b>            | 0,649                          | 0,001    | 0,004                          | 0,370                           |
| <b>PI*B</b>             | 0,007                          | 0,113    | 0,009                          | 0,024                           |
| <b>PP*B</b>             | 0,449                          | 0,472    | 0,960                          | 0,324                           |
| <b>B*PP*PI</b>          | 0,641                          | 0,000    | 0,206                          | 0,797                           |

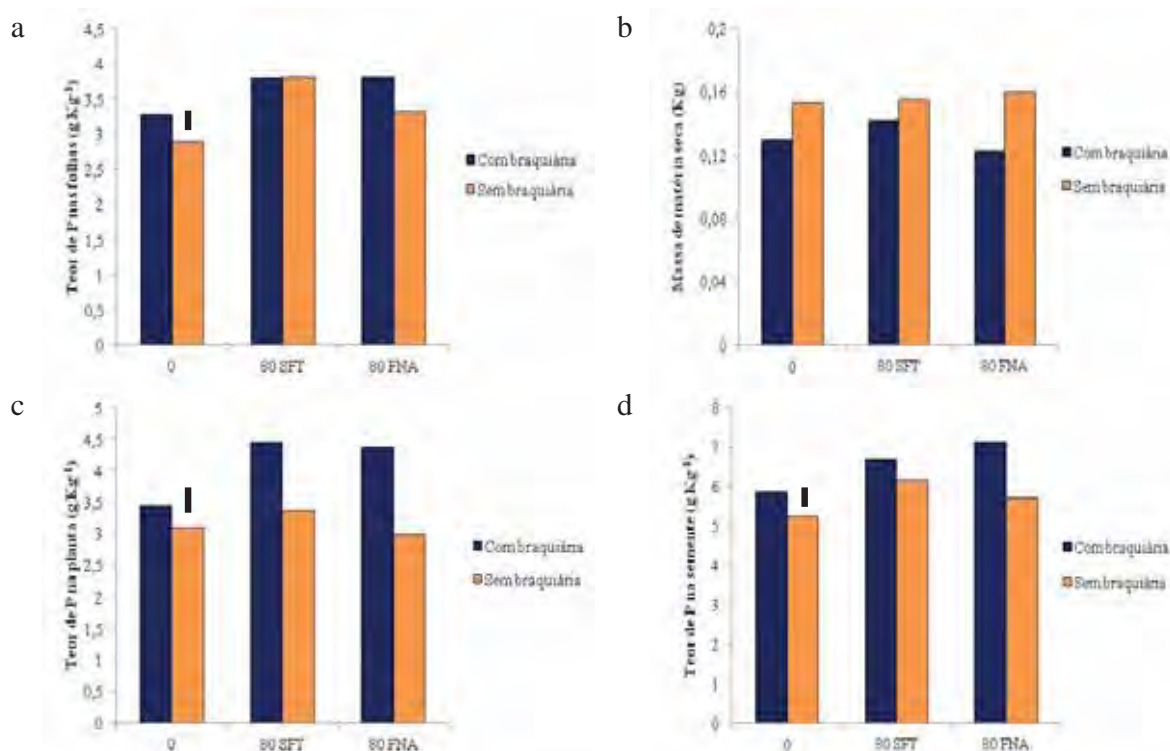


Figura 25: Valores médios de teor de fósforo nas folhas (a) em pleno florescimento – 50 DAE (Estádio R<sub>2</sub>), na planta (c), semente (d) e massa de matéria seca (MS) (b) em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>), na interação braquiária (ausência e presença), em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço. Linha na vertical, defronte as barras= DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Os mesmos comportamentos foram percebidos em função dos fertilizantes fosfatados para o teor de P na diagnose foliar em pleno florescimento (R<sub>2</sub>) e na semente na fase de maturação fisiológica (R<sub>6</sub>), de sorte que os teores de P foram menores no tratamento sem a aplicação de P, quando comparados ao uso dos fosfatos. Na ausência de braquiária, os maiores teores de P foram com o uso de SFT (Figuras 26a; d). É importante salientar que a faixa de suficiência de P indicada para a soja é de 2-5 g kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA, 1997), portanto, inclusive no florescimento, os níveis de P se encontram adequados para a cultura da soja.

Houve aumentos nos teores de P na planta (R<sub>6</sub>) nos tratamentos com aplicação de P, na presença de braquiária, no desdobramento da interação fertilizantes fosfatados e braquiária, enquanto, na ausência de braquiária, os tratamentos não diferiram entre a aplicação e a não aplicação de P (Figura 25c).

Foi notada interação das doses de P e fosfatos para a massa de matéria seca da soja (Figura 27b). A maior massa de matéria seca foi obtida com FNA mais 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A aplicação acumulada de 60kg ha<sup>-1</sup> de SFT no sulco de semeadura aumentou a MS da soja, pois não diferiu do SFT aplicado a lanço junto à aplicação no sulco de semeadura da soja, nas doses de 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 27b).

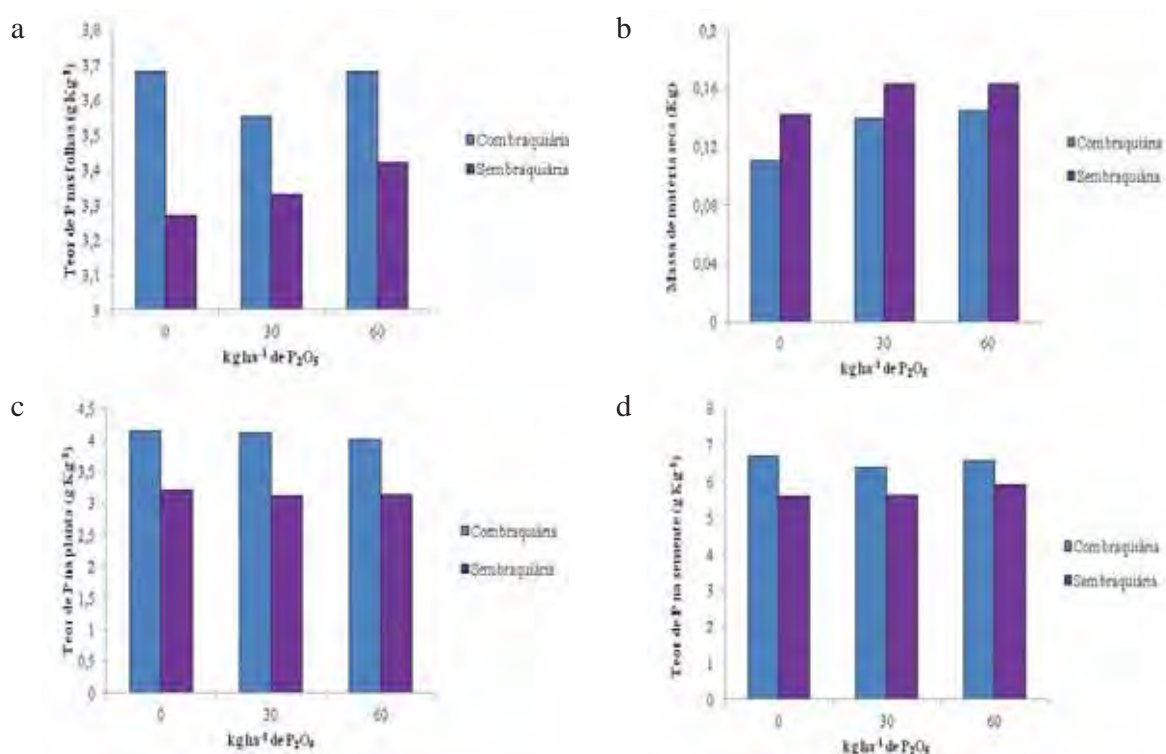


Figura 26: Valores médios de teor de fósforo nas folhas (a) em pleno florescimento – 50 DAE (Estádio R<sub>2</sub>), na planta (c), semente (d) e massa de matéria seca (MS) (b), em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>) na interação ausência e presença de braquiária e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT).

O P aplicado a lanço como SFT e FNA, sem aplicação de P no sulco de semeadura da soja, aumentou o teor de P na planta (R<sub>6</sub>). Na utilização de SFT, não houve diferença significativa dos teores de P na planta, independentemente da dose e modo de aplicação. O menor teor de P na planta ocorreu na ausência de aplicação de P no sulco de semeadura da soja (Figura 27c).

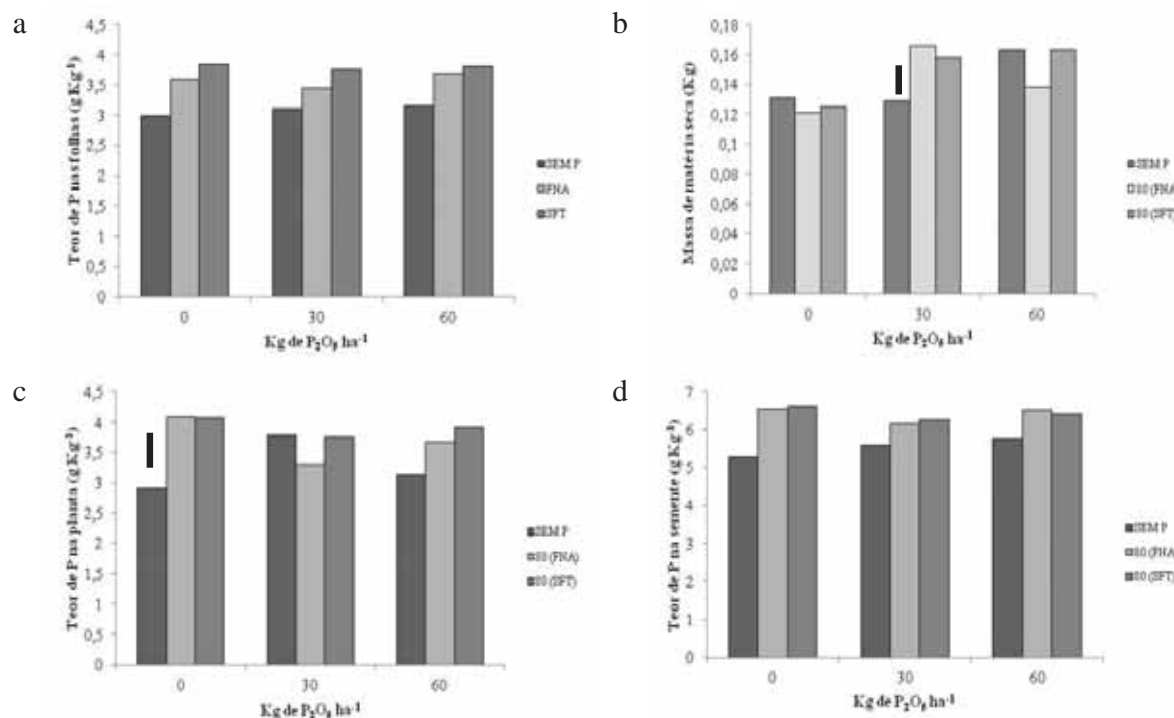


Figura 27: Valores médios de teor de fósforo nas folhas (a) em pleno florescimento – 50 DAE (Estádio R<sub>2</sub>), na planta (c), semente (d) e massa de matéria seca (MS) (b) em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R<sub>6</sub>), na interação fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Linha na vertical, defronte a barra = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Não foi encontrada correlação da absorção de P pelas plantas com os teores de P disponível no solo. Observa-se que, na presença de braquiária, foram apresentados menores teores de P disponível extraído com resina, resultado oposto aos teores de P na planta, que foram maiores na presença de braquiária. Isso pode estar relacionado ao método de extração de P, à forma de P que a soja está absorvendo ou mesmo à presença de braquiária, que auxilia para uma melhor exploração do sistema radicular da soja no solo. Por outro lado, esses resultados podem estar “ligados” a efeitos microbiológicos, como associações com micorrizas liberação de exsudatos e atividade da fosfatase ácida, análises não realizadas na presente pesquisa.

Apesar de não terem sido avaliados os teores de P orgânico no solo, possivelmente também pode ter acontecido a utilização de P dessa forma. Contudo, o P orgânico é uma fonte potencial de P para as plantas, graças à ciclagem biológica e à síntese e

exsudação de enzimas fosfatases pelos microrganismos e raízes das plantas, as quais transformam o P orgânico em P inorgânico disponível no solo (ROSS et al., 1995). Ryan et al. (2001) relataram que muitos ácidos orgânicos, tais como o citrato, o malato, o oxalato e o fumarato, são exsudados das raízes e aumentam a nutrição de P às plantas (ASMAR, 1977; KANDELER et al., 2002; GAHOONIA; NIELSEN, 2004).

### 6.7.1. Produtividade, teor e acúmulo de fósforo no grão, e índice de eficiência de utilização de fósforo

A produção de soja não foi afetada pela presença de braquiária, sendo que efeitos positivos do cultivo da gramínea foram verificados para o teor de P e acúmulo de P nos grãos, enquanto, para o índice de eficiência de utilização de P, o efeito da espécie foi negativo (Tabela 16).

Tabela 16: Probabilidade de ocorrência de diferença significativa para produção, teor de fósforo, acúmulo de fósforo no grão de soja e índice de eficiência de utilização de fósforo (EA) na colheita da soja na safra 2010/2011, em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço (Pi), presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) e doses de fósforo (PP) no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de SFT).

| Tratamentos      | (P>Fc)                          |                                 |              |       |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------|-------|
|                  | Produção<br>kg ha <sup>-1</sup> | P (grãos)<br>g kg <sup>-1</sup> | Acúmulo de P | EAP   |
| P Inicial (Pi)   | 0,001                           | 0,101                           | 0,000        | 0,000 |
| Braquiária (B)   | 0,493                           | 0,023                           | 0,002        | 0,000 |
| P Semeadura (PP) | 0,092                           | 0,131                           | 0,000        | 0,000 |
| PI*PP            | 0,000                           | 0,863                           | 0,000        | 0,000 |
| PI*B             | 0,000                           | 0,782                           | 0,000        | 0,000 |
| PP*B             | 0,000                           | 0,118                           | 0,000        | 0,000 |
| B*PP*PI          | 0,000                           | 0,759                           | 0,000        | 0,000 |

Quanto à produção de grãos de soja, houve interação para os fertilizantes fosfatados e braquiária (Tabela 16). Na presença de braquiária, ocorreu maior produção na utilização de FNA, porém, na ausência de braquiária, não foi observada diferença significativa na produção de soja para o uso de FNA e SFT (Figura 28a). Diminuição da

produção foi observada, na ausência de braquiária, para o tratamento sem aplicação de P e para o SFT, na presença de braquiária (Figura 28 a). A redução da produtividade da soja, na presença de braquiária, pode ser explicada pela imobilização do P na palhada da gramínea. Conforme Moraes (2001), para a completa liberação do nutriente presente na palha de gramínea são necessários em média de 183 dias para completa decomposição e posterior mineralização do P, entretanto, o tempo de condução do experimento não foi suficiente para se obter a ciclagem de P proveniente da palhada de braquiária, porque este durou 120 dias.

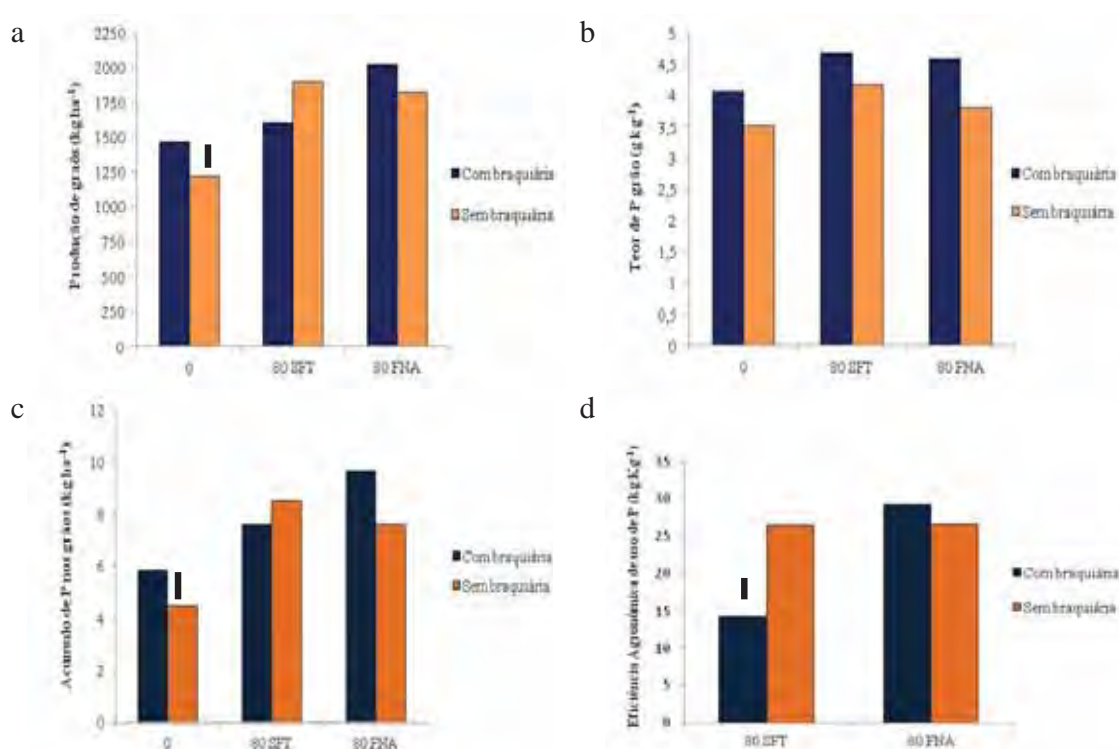


Figura 28: Valores médios de produção de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (a), teor de fósforo no grão ( $\text{g kg}^{-1}$ ) (b), Acúmulo de fósforo nos grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (c) e Eficiência Agronômica de uso de fósforo ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) (d) por ocasião da colheita da soja, na interação ausência e presença de braquiária em função de fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) aplicados a lanço. Março de 2011. Linha na vertical, defronte a barra = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

A soja cultivada posteriormente à braquiária respondeu à aplicação da maior dose de P. Acredita-se que, devido à menor disponibilidade de P no solo, na presença de braquiária, o aumento da produção de soja na presença de braquiária foi ocorrer à dose de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de SFT, comparado à ausência da gramínea, em que, na dose de  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de SFT no sulco de semeadura, já houve respostas positivas (Figura 29a).

A interação de doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (PP) e o uso dos fertilizantes fosfatados aplicados a lanço como cobertura na braquiária evidenciaram diferença negativa e positiva na produtividade da soja (Pi) (Figura 30a). Foi obtido decréscimo na produção de grãos para o tratamento com FNA aplicado a lanço na semeadura da braquiária junto à dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizada no sulco de semeadura. Já para o SFT, maiores produtividades foram observadas junto à dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco de semeadura, e produções semelhantes foram apresentadas no uso de FNA com 0 e com 30 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

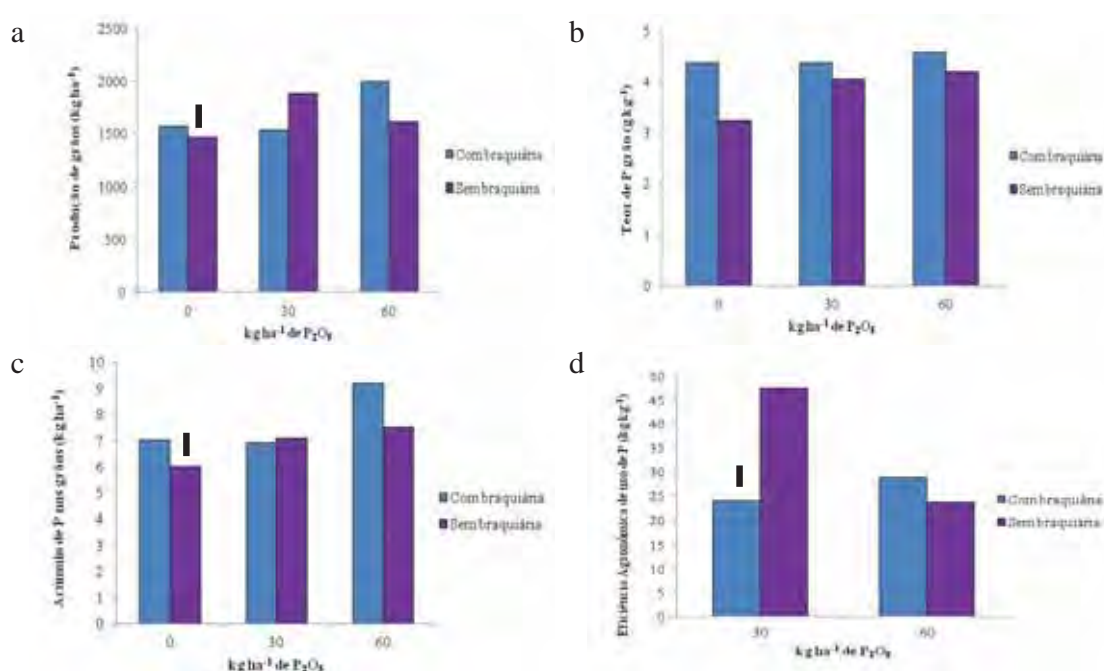


Figura 29: Valores médios de produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) (a), teor de fósforo no grão (g kg<sup>-1</sup>) (b), Acúmulo de fósforo nos grãos (kg ha<sup>-1</sup>) (c) e Eficiência Agronômica de uso de fósforo (kg kg<sup>-1</sup>) (d) por ocasião da colheita da soja, na interação ausência e presença de braquiária e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Março de 2011. Linha na vertical, defronte a barra = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Nos tratamentos sem cultivo de gramíneas, foram conseguidos, no uso de SFT, resultados superiores aos do FNA (Figura 28a, b e c). Isso caracteriza a importância de se formar palhada com gramíneas para o aumento da eficiência de fosfatos naturais no cultivo da soja em sucessão. Rodrigues et al. (2009) constataram igualmente que forrageiras, como o milheto, braquiária e sorgo, imobilizaram o P do SFT, reduzindo o efeito residual para

a soja e, quando as gramíneas forrageiras foram adubadas com o FNA, houve um aumento do efeito residual, com melhor eficiência de aproveitamento do P pela soja em sucessão às plantas de cobertura.

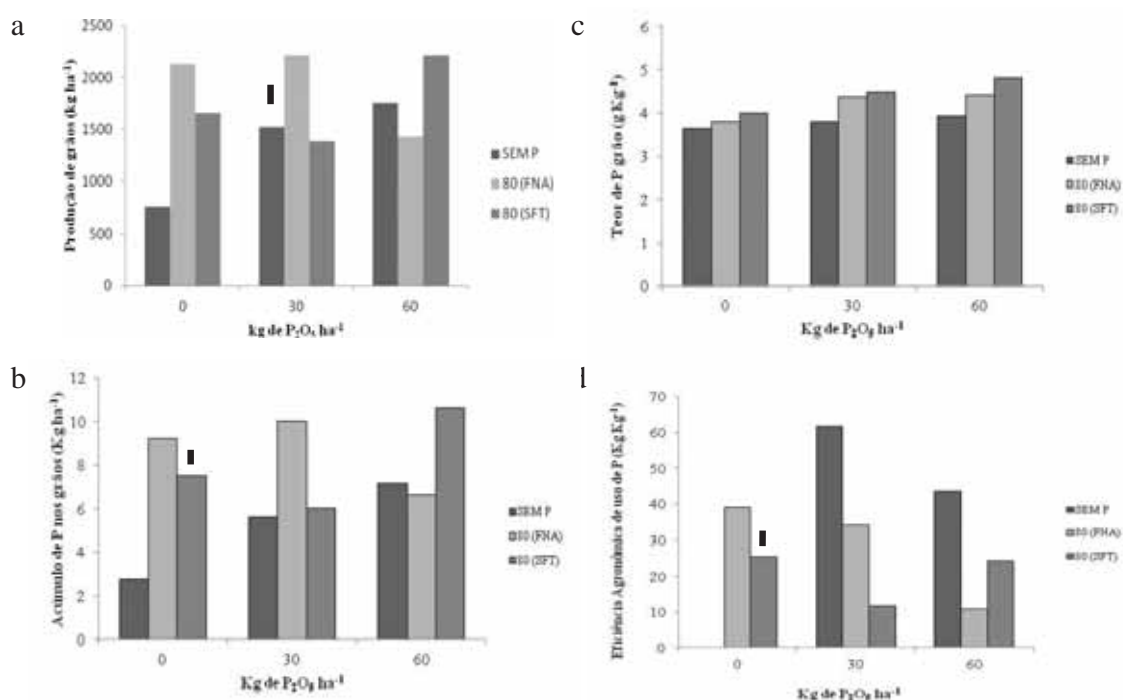


Figura 30: Valores médios de produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) (a), teor de fósforo no grão (g kg<sup>-1</sup>) (b), Acúmulo de fósforo nos grãos (kg ha<sup>-1</sup>) (c) e Eficiência Agronômica de uso de fósforo (kg kg<sup>-1</sup>) (d) por ocasião da colheita da soja, na interação fertilizantes fosfatados (solúvel e reativo) e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFT). Março de 2011. Linha na vertical, defronte a barra = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Para o acúmulo de P nos grãos, houve diferença entre os fosfatos e a não aplicação de P. O maior acúmulo de P foi verificado na utilização da maior dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicada no sulco de semeadura da soja. Salienta-se que as respostas para o acúmulo de P, nos grãos para as interações em função de braquiária, fertilizantes fosfatados e as doses de P, foram semelhantes às da produção de grãos (Figuras 29, 30, 31 a e c).

Não foram observadas interações para o teor de P no grão de soja (Tabela 16). Contudo, maiores teores de P nos grãos de soja foram obtidos em sucessão à braquiária (Figuras 29 e 30b). Não discordando de tal observação, também ficou evidenciado

por Ramos et al. (2010) maior acúmulo de P na soja cultivada em sucessão às gramíneas, em comparação ao solo sem cultivo prévio.

A eficiência agrônômica de uso de P, segundo Tyney e Webb (1946), pode ser definida como a quantidade, em unidade de nutriente exigida para produzir o aumento de uma unidade de produção. Na presença de braquiária, o efeito para a eficiência agrônômica de uso de P (EAP) foi menor. O uso de SFT diminuiu em 12,25 kg de grãos por kg de P aplicado, ao se comparar com o FNA, que mostrou maior efeito para a EAP na presença de braquiária. Não houve diferença entre as fontes fosfatadas, na ausência de braquiária, para a EAP (Figura 28d). Esses resultados correspondem aos de Ramos et al. (2010), que constataram que o cultivo prévio das gramíneas de cobertura proporcionou melhor aproveitamento do efeito residual do P pela cultura subsequente, quando a fonte usada foi de menor solubilidade (FNA), principalmente em solo arenoso, com menores teores de óxidos de Fe e Al.

Como os fosfatos solúveis reagem com maior intensidade no solo e, normalmente, fornecem P ao sistema em taxas maiores, essas são fontes fosfatadas mais eficientes do que os fosfatos naturais em curto prazo; por outro lado, os fosfatos naturais podem vir a ser mais eficientes, quando empregados em longo prazo. Por isso, a eficiência agrônômica dos fosfatos em geral está diretamente correlacionada com a sua solubilidade (GOEDERT et al., 1986; GOEDERT; SOUZA, 1984).

Na interação doses de P no sulco de semeadura da soja e cultivo de braquiária antecedente à soja (Figura 29 d), onde foi cultivada a braquiária, anteriormente, houve aumentos de EAP para a soja na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicadas no sulco de semeadura, ocorrendo imobilização do P em menor dose, enquanto, na ausência da gramínea, maior EAP foi obtida na dose de 30kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Na interação fosfatos e doses de P, foi percebido que a utilização de 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco de semeadura da soja apresentou melhor EAP na soja (Figura 30d). Ressalta-se que, quando levamos em consideração os fertilizantes fosfatados e as doses de P aplicadas no sulco de semeadura da soja, o efeito do FNA foi minimizado para a EAP em relação ao SFT aplicado no sulco de semeadura da soja (Figura 30d). O que pode explicar essa diminuição do efeito do FNA em comparação ao SFT no sulco de semeadura da soja seria o

índice de aproveitamento do fertilizante pela soja, pois este não foi absorvido pela gramínea (RAMOS et al. 2010).

## 7. CONCLUSÕES

A aplicação tanto de fosfato reativo como de superfosfato em área total sem incorporação aumenta o teor de P no perfil do solo e na planta de braquiária.

O cultivo de braquiária resulta em maior teor de P microbiano e redução na capacidade máxima de fixação de fósforo. Embora esses efeitos possam melhorar a eficiência de utilização dos fosfatos, a resposta da soja não foi modificada.

Para a eficiência agronômica de uso de P, houve diminuição do efeito para o fosfato aplicado a lanço, com melhores respostas em adubação localizada no sulco de semeadura da soja com Superfosfato Triplo.

## 8 REFERÊNCIAS

AE, N. et al. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian subcontinent. **Soil Science**, Baltimore, v. 248, n. 4954, p. 477-480, 1990.

ALLEN, B. L.; MALLARINO, A. P. Relationships between extractable soil phosphorus and phosphorus saturation after long-term fertilizer or manure application. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, n. 2, p. 454-463, 2006.

ALVARENGA, R. C. et al. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 115-123, 2004.

ASMAR, F. Variation in activity of root extracellular phytase between genotypes of barley. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 195, n. 1, p. 61-64, 1977.

BARROW, G. M. **Physical chemistry**. New York: McGraw-Hill, 1961. 694 p.

BARROW, N. J. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. **Journal of Soil Science**, London, v. 34, n. 4, p. 733-750, 1983. Doi: 10.1111/j.1365-2389.1983.tb01068.x.

BARROW, N.J. Reaction of anions and cations with variable-charge soils. **Advances in Agronomy**, Não achei a cidade, v. 38, p. 183-230, 1985.

BEKELE, T. et al. An evaluation of plant-borne factors promoting the solubilization of alkaline rock phosphates. **Plant and Soil**, Hague, v. 75, n. 3, p. 361-378, 1983.

BERKHEISER, V. E. et al. Partitioning of inorganic orthophosphate in soil-water systems. **Agricultural Experiment Station. University of Florida**, Gainesville, v. 10, n. 3, p. 179 – 224, 1980.

BHATTI, J. S.; COMEFORD, N. B.; JOHNSTON, C. T. Influence of oxalate and soil organic matter on sorption and desorption of phosphate onto a Spodic horizon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 4, p. 1089-1095, 1998.

BORKERT, C. M. et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea de culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 1, p. 143-153, 2003.

BRAUM, S. M.; HELMKE, P. A. White lupine utilizes soil phosphorus that is unavailable to soybean. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 176, n. 1, p. 95-100, 1995.

BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Phosphorus in the soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Great Britain, v. 16, n. 2, p. 169-175, 1984.

BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Great Britain, v. 14, n. 4, p. 319-329, 1982.

CALEGARI, A. **Plantas de cobertura**. In: SISTEMA plantio direto com qualidade. Londrina: IAPAR, Foz de Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p. 60-61.

CARNEIRO, R. G. et al. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 7, p. 661-669, 2004.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Netherlands, v. 41, n. 3, p. 227-234, 1995.

CLARK, R. B. **Physiology of cereals for mineral nutrient uptake, use, and efficiency**. In: BALIGAR, V. C.; DUNCAN, R. R. Crops as enhancers of nutrient use. San Diego: Academic Press, 1990. p. 131-209.

COLEMAN, N. T.; THORUP, J. T.; JACKSON, W. A. Phosphate sorption reactions that involve exchangeable al. **Soil Science**, v. 90, n. 1, p. 1-7, 1960.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 925-930, 2002.

CORRÊA, J. C. et al. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 4, p. 1583-1590, 2008.

COSTA, V. L. **Formas de fósforo e seu transporte pela enxurrada num Latossolo que recebeu lodo de esgoto**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de recursos agroambientais)-Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2008.

COUTINHO, E. L. M. et al. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para a cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 9, p. 1393-1399, 1991.

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, n. 3/4, p. 197-214, 1995.

DAMODAR REDDY, D.; SUBBA RAO, A.; SINGH, M. Crop residue addition effects on myriad forms and sorption of phosphorus in a Vertisol. **Bioresource Technology**, Nabibagh, v. 80, n. 2, p. 93-99, 2001.

DUDA, G. P. et al. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 139-147, 2003.

ECKERT, D. J. Chemical attributes of soils subjected to no-till cropping with rye cover crops. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 55, n. 2, p. 405-409, 1991.

EIRA, A. F. Solubilização microbiana dos fosfatos. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, Brasil, 1992. p 243-255.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ESTEVES, J. A. F.; ROSOLEM, C. A. Triticale, milho e adubação fosfatada para formação de palhada em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 981-990, 2011.

ESTEVES, J. A. F. **Substituição de fosfato solúvel por reativo em soja cultivada em semeadura direta em função de níveis de fósforo e modo de aplicação**. 2004. 119 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

FAGERIA, N. K.; SLATON, N. A.; BALIGAR, V. C. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. **Advances in Agronomy**, New York, v. 88, p. 63-152, 2003.

FALCÃO, N. P. S.; SILVA, J.R.A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Revista Acta Amazonica**, Manaus, v. 34, n. 3, p. 337 – 342, 2004.

FANCELLI, A. L. **Manejo do solo em plantio direto**. In: Grupo Plantio Direto. (Org.). Guia para o Plantio Direto. 1 ed. São Paulo, SP: Grupo Plantio Direto, 2000, v. 1, p. 16-29.

FARDEAU, J. C. Dynamics of phosphate in soils: an isotopic outlook. **Fertility Research**, Netherlands, v. 45, n. 2, p. 91-100, 1996.

FEHR, W. R. et al. Stages of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. Madison: **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 6, p. 929- 931, 1971.

GAHOONIA, T. S.; CARE, D.; NIELSEN, N.E. Root hairs and acquisition of phosphorus by wheat and barley cultivars. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 191, n. 2, p. 181-188, 1997.

- GAHOONIA, T. S.; NIELSEN, N. E. Root traits as tools for creating phosphorus efficient crop varieties. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 206, n. 1/2, p. 47-57, 2004.
- GALVANI, R.; HOTTA, L. F. K.; ROSOLEM, C. A. Phosphorus sources and fractions in an Oxisol under no-tilled soybean. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 415-421, 2008.
- GATIBONI, L. C. et al. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 8, p. 1085-1091, 2008.
- GATIBONI, L. C. et al. Phosphorus forms and availability assessed by <sup>31</sup>P-NMR in successively cropped soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 36, n. 19/20, p. 2625-2640, 2005.
- GOEDERT, W. J.; REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais. **Documentos EMBRAPA CPAC**, Planaltina, n. 24, 1986. 21 p.
- GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1986. p. 129-166.
- GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Uso de Fertilizantes Fosfatados. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília, DF. **Anais....** Brasília: EMBRAPA-DID, 1984. p. 255-290. (Documentos, 14).
- GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1986. p. 129-166.
- GONÇALVES, J. L. M. et al. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 107-111, 1985.
- GUERRA, J. G. M. et al. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 4, p. 291-299, 1996.
- HAYGART, P. M.; JARVIS, S. C. Transfer of phosphorus from agricultural soils. **Advances in Agronomy**, v. 66, p. 195-219, 1999.

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, n. 5, p. 970-976, 1982.

JANEGITZ, M. C. et al. Solubilização de fósforo por diferentes espécies de brachiaria. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas :**Anais...** Uberlândia:Universidade Federal de Uberlândia, 2011, p 129.

JAYACHANDRAN, K.; SCHWAB, A. P.; HETRICK, B. A. D. Mycorrhizal mediation of phosphorus availability: synthetic iron chelate effects on phosphorus solubilization. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 53, n. 6, p. 1701-1706, 1989.

JEFFRIES, P. et al. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 37, n. 1, p. 1-16, 2003.

KANDELER, E. et al. Microbial community composition and functional diversity in the rhizosphere of maize. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 238, n. 2, p. 301-312, 2002.

KLEINMAN, P. J. A.; SHARPLEY, A. N. Estimating phosphorus sorption saturation from Mehlich-3 data. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 33, n. 11/12, p. 1825-1839, 2002.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 499-522.

KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L. P.; STONE, L. F. Fazendas de referência. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 535-554.

KOCHHANN, R. A.; SELLES, F. O solo e o sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDES, J. M. et al. (Ed). **Manual de manejo conservacionista do solo para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Passo Fundo: EMBRAPA, CNPT, 1991. p. 43-51. (Documentos, 1).

KORNDORFER, G. H.; CABEZAS, W. A. L.; HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 2, p. 1-9, 1999.

LANA, R. M. Q.; VILELA FILHO, C. E.; ZANÃO JÚNIOR, L. A. Adubação superficial com fósforo e potássio para a soja em diferentes épocas em pré-semeadura na instalação do plantio direto. **Scientia Agrícola**, Curitiba, v. 4, n. 1/2, p. 53-60, 2003.

LANA, R. M. Q. et al. Doses de multifosfato magnesiano aplicados a lanço em pré-semeadura, sob sistema plantio direto - cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1654-1660, nov./dez. 2007.

LANGE, A.; CABEZAS, W. A. R. L.; TRIVELIN, P. C. O. Matéria seca e ciclagem de nutrientes na palha em solo arenoso em sistema semeadura direta no cerrado. In: FERTBIO, 2004, Lages. **Resumos...** Lages: UDESC, 2004. 1 CD-ROM.

LINDSAY, W. L.; VLEK, P. L. G.; CHIEN, S. H. Phosphate minerals. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Eds.) **Minerals in soil environments**. 2nd ed. Soil Science Society of America, Book Ser. 1. Soil Science Society of America, Madison, 1989, p.1089-1130

LOPES, A. S.; WIETHOLTER, S.; GUILHERME, L. R. G. ; SILVA, C.A. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004. 115 p.

LOPEZ HERNANDEZ, D.; SIEGERT, G.; RODRIGUEZ, J. V. Competitive adsorption of phosphate with malate and oxalate by tropical soil. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 50, n. 6, p. 1460-1462, 1986.

MACHADO, M. I. C. S.; BRAUNER, J. L.; VIANNA, A. C. T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 331-336, 1993.

MALAVOLTA, E. A. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MARTINAZZO, R. et al. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, n. 1, p. 563-570, 2007.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. (Eds). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5<sup>o</sup> Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais-CFSEMG, 1999. p.143-168.

MCDOWELL, R. W. et al. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Germany, v. 59, n. 3, p. 269-284, 2001.

MCDOWELL, R. W. et al. Connecting phosphorus loss from agricultural landscapes to surface water quality. **Chemistry and Ecology**, Ancona, v. 20, n. 1, p. 1-40. 2004.

MENEZES, L. A.; SOUTO JÚNIOR, M. L.; LEANDRO, W. M. Efeitos de coberturas verdes, com potencial de utilização em sistema de plantio direto, na variabilidade espacial de nutrientes no solo. In: FERTBIO, 2002, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: UFRRJ, 2002. 1 CD-ROM.

MERLIM, A. **Disponibilidade de fósforo para a soja cultivada sobre braquiária**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

MERLIN, A., ROSOLEM, C.A., BÜLL, J.C.L. Soil phosphorus forms after brachiaria. In: The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium, Davis, XVI. Paper 1169. 2009. <http://repositories.cdlib.org/ipnc/xvi/1169>. Acesso em 24/06/2010

MIYASAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 411-416, 1993.

MORAES, R. N. de S. **Decomposição das palhadas de sorgo e milheto, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto**. 2001. 90 p. (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

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

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.

NEUMANN, G.; ROMHBELD, V. Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus-deficient plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 211, n. 1, p. 121-130, 1999.

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

OLIBONE, D. **Variabilidade vertical de formas de fósforo em função de fontes e doses de fosfatos em semeadura direta**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

OLIBONE, D. et al. Crescimento inicial da soja sob efeito de resíduos de sorgo. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 255-261, 2006.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920. 2008.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A.; MERLIN, A. **Extratos de plantas e sua influência no fósforo do solo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2005, Recife. **Anais...Recife**. 1 CD-ROM.

PELLEGRINI, J. B. **Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do Arroio Lino – Agudo – RS**. 2005. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)- Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

PIAIA, F. L. et al. Eficiência da adubação fosfatada com diferentes fontes e saturações por bases na cultura da soja [*Glycine max* (L.) MERRILL]. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 26, n. 3, p. 488- 499, 2002.

PIERZYNSKI, G. M.; SIMS, J. T.; VANCE, G. F. Soil phosphorus and environmental quality. In: PIERZYNSKI, G. M.; SIMS, J. T.; VANCE, G. F. **Soil and environmental quality**. 2. ed. Boca Raton, 2000. 459 p.

PÖTTKER, D. Modos de aplicação de fósforo para uma seqüência de culturas em plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 53, n. 5, p. 15, 1999.

PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: IPNI, 2010. v. 1, 362 p.

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

RAIJ, B. V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Boletim Técnico IAC, Campinas, n.100,1997. 2.ed. rev. e atual, 285p.

RAMOS, S. J. et al. Efeito residual das aplicações de fontes de fósforo em gramíneas forrageiras sobre o cultivo sucessivo da soja em vasos. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 149-155, 2010.

REDDY, K. R.; WETZEL, R. G.; KADLEC, R. H. Biogeochemistry of Phosphorus in Wetlands. In: Sims, J.T.; Sharpley, A.N.; Pierzynski, G.M; Westermann, D.T.; Cabrera, M.L.; POWELL, J.M.; DANIEL, T.C. **Phosphorus: Agriculture and the Environment**. Newark. American Society of Agronomy, p. 263-316. 2005.

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

RHEINHEIMER, D. S. 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**, New York, v. 33, n.11/12, p.1853-1871, 2002.

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

RODRIGUES, C. R. et al. Crescimento e acúmulo de fósforo pela soja cultivada em sucessão a diferentes gramíneas forrageiras adubadas com super fosfato triplo e fosfato reativo de arad. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1486-1494, 2009.

ROSOLEM, C. A. **Nutrição mineral e adubação de soja**. Piracicaba: Instituto Potassa e Fosfato, 1980. 80 p. (Boletim técnico, 6).

SÁ, J. C. M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1993. 96 p.

SÁ, M.F.M. **Abordagem quantitativa na predição espacial de atributos do solo e geração de zonas de manejo agrícola**. 2011. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SÁ, J. C. M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 201-222.

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

SHER, G. M.; MOSCHLER, W. W. Continuous corn by the no-tillage and continuous tillage methods: a six-year comparison. **Agronomy Journal**, Madison, v. 58, n. 1, p. 147-148, 1969.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 249-254, 1985.

SILVA, M. L. N. et al. Rotação adubo verde-milho e adsorção de fósforo em latossolo vermelho-escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 6, p. 7, 1997.

SILVA, T. O. et al. Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1315-1326. 2011.

SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 63-67, 1990.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 387-394, 2001.

SINGH, B. R.; LAL, R. Phosphorus Management in Low-Input Agricultural Systems. In: Sims, J.T.; Sharpley, A.N.; Pierzynski, G.M; Westermann, D.T.; Cabrera, M.L.; Powell, J.M.; Daniel, T.C. **Phosphorus: Agriculture and the Environment**. Madison, American Society of Agronomy. Newark, p. 729-760. 2005.

SIQUEIRA, J. O.; NAIR, M.G.; HAMMERSCHMIDT, R.; SAFIR, G.R. Significance of phenolic compounds in plant-soil-microbial systems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Philadelphia, v. 10, n. 1, p. 63-121, 1991.

SKINNER, P. W.; MATTHEWS, M. A. A novel interaction of magnesium translocation with the supply of phosphorus to roots of grapevine ( *Vitis vinifera* L.). **Plant, Cell and Environment**, Malden, v. 13, n. 8, p. 821-826, 1990.

SOARES, I.; LIMA, S. C.; CRISÓSTOMO, L. A. Crescimento e composição mineral de mudas de gravioleira em resposta a doses de fósforo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 4, p. 343-349, 2007.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. p. 147-168.

SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. 1992. 162 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho dsitroférico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.1, p. 133-139, 2003.

SOUZA, H. A. et al. Calagem e adubação boratada na produção de feijoeiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 249-257, 2011.

SYERS, J. K. et al. Phosphate sorption parameters of representative soils from Rio Grande do Sul, Brasil. **Soil Science**, USA, v. 112, n. 4, p. 267-275, 1971.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TOKURA, A. M. et al. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1467-1476, 2002.

TYNEY, E. H.; WEEB, J. W. The relation of corn yields to nutrient balance as revealed by leaf analysis. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, v. 38, n. 2, p. 173-185, 1946.

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

VILLANI, E.M.A. **Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana: métodos de avaliação e influência da adubação fosfatada em plantações de eucalipto**. 2003, 56p. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

WHALEN, J. K.; CHANG, C. Phosphorus sorption capacities of calcareous soils receiving cattle manure applications for 25 years. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 33, n.7/8, p. 1011-1026, 2002.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2006. 726 p.

ZHANG, T. Q. et al. Soil test phosphorus and phosphorus fractions with long-term phosphorus addition and depletion. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, n. 2, p. 519-528, 2004.

## 9 APÊNDICES



Apêndice 1: Vista do ensaio (Braquiária e Milheto). Novembro de 2010.



Apêndice 2: Vista geral do ensaio em plena maturação fisiológica da soja (Estádio R6). Fevereiro de 2011.



Apêndice 3: Vista geral do ensaio no momento da colheita da soja. Março de 2011.