

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU-SP

**DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO PARA A SOJA CULTIVADA  
SOBRE BRAQUIÁRIA.**

ALEXANDRE MERLIN

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Mestre no  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia –  
Agricultura.

BOTUCATU-SP

Fevereiro-2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO PARA A SOJA CULTIVADA  
SOBRE BRAQUIÁRIA.**

**ALEXANDRE MERLIN**

Orientador Prof. Dr. CIRO ANTONIO ROSOLEM

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Mestre no  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia –  
Agricultura.

BOTUCATU - SP

Fevereiro-2008

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

**Merlin, Alexandre, 1982-**  
**M565d**      **Disponibilidade de fósforo para a soja cultivada**  
**sobre braquiária / Alexandre Merlin. - Botucatu :**  
**[s.n.], 2008.**  
**xiii, 95 f. : il. color., gráfs., tabs.**  
  
**Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual**  
**Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas,**  
**Botucatu, 2008**  
**Orientador: Ciro Antonio Rosolem**  
  
**Inclui bibliografia**  
  
**1. Soja. 2. Solos - Teor de fósforo. 3.**  
**Fertilizantes fosfatados. 4. Rotação de cultivos. 5.**  
**Capim-braquiária. I. Rosolem, Ciro Antonio. III.**  
**Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita**  
**Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências**  
**Agrônômicas. IV. Título.**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU**

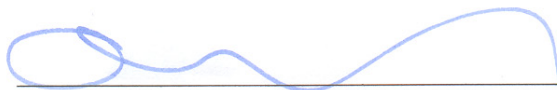
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: FORMAS DE P EM UM LATOSSOLO E RESPOSTA DA SOJA CULTIVADA  
APÓS BRAQUIÁRIA**

ALUNO: ALEXANDRE MERLIN

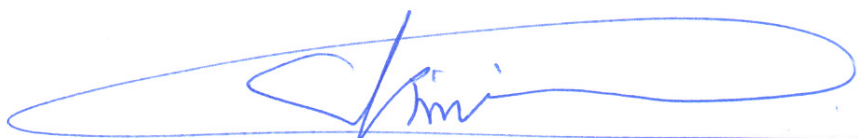
ORIENTADOR: PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM

Aprovado pela Comissão Examinadora



---

PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM



---

PROF. DR. LEONARDO THEODORO BÜLL



---

PROF. DR. LUÍS REYNALDO FERRACCIÚ ALLEONI

Data da Realização: 15 de fevereiro de 2008

### ***Dedico***

Aos meus pais, Vitor Angelo Merlin e Ivete Maria Badin Merlin, meu irmão, Eduardo Merlin e a minha “namorada”, Tatiana Rezende Pires de Almeida, pelo incentivo e confiança em mim depositados, para a concretização de mais uma etapa de nossas vidas.

## ***AGRADECIMENTOS***

A todas as pessoas, com as quais convivi, por terem me suportado e incentivado durante todos esses anos de estudo;

Aos meus tios Wilson Antonio Badin e Vilma Begossi, pelos ensinamentos e incentivos durante esta etapa da minha vida;

Ao Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem, pela orientação, ensinamentos, ética profissional e amizade;

Aos Docentes e Funcionários dos Departamentos de Agricultura, pela estrutura concedida, ensinamentos e colaboração nesta pesquisa;

Aos amigos, Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, Prof. Dr. Silvio José Bicudo, Prof. Dr. Rogério Peres Soratto e Prof. Dr. Maurício Dutra Zanotto pela amizade, convivência e ajuda incessante.

Aos funcionários da Fazenda Experimental de Ensino, Pesquisa e Extensão, especialmente o Sr. Mario de Oliveira Munhoz;

Ao amigo e técnico do laboratório de Relação Solo-Planta, Dorival Pires e a técnica de laboratório Arine Pires pelas suas sugestões e empenho na realização das análises;

Aos amigos Rodrigo Arroyo Garcia (Bulbo), Mariana Zampar Toledo (Tchutchuca), Gustavo Spadotto (Spirro), Dácio Olibone, Juliano Calonego, Paulo Sérgio Pavinato e Rodrigo Vêras pela amizade, jogos de futebol e por todas as histórias que nós ouvimos e reproduzimos fielmente;

Ao Prof. Dr. Danilo Rheinheimer pela ajuda durante as análises de fracionamento, pela amizade, motivação, conselhos, minha sincera gratidão;

Ao meu “escraviário”, Júlio Cezar Longo Büll, pela ajuda durante a execução do projeto e pelas cervejadas;

Aos amigos da Círculo Verde Assessoria Agronômica e Pesquisa, pela amizade e incentivo para a realização do mestrado

A todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho,

Meus sinceros agradecimentos!

## SUMÁRIO

|                                                                         | .páginas  |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. RESUMO.....</b>                                                   | <b>1</b>  |
| <b>2. SUMMARY .....</b>                                                 | <b>3</b>  |
| <b>3. INTRODUÇÃO .....</b>                                              | <b>5</b>  |
| <b>4. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                                    | <b>7</b>  |
| 4.1. O fósforo no solo .....                                            | 7         |
| 4.2. Fontes minerais de fósforo .....                                   | 9         |
| 4.3. Alterações nas formas de fósforo com o manejo.....                 | 11        |
| 4.4. Efeito das plantas de cobertura na disponibilidade de P.....       | 18        |
| 4.5. Sistema de semeadura direta (SSD) .....                            | 21        |
| 4.6. Adubação fosfatada na cultura da soja .....                        | 23        |
| <b>5. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                      | <b>26</b> |
| 5.1. Localização e histórico da área experimental .....                 | 26        |
| 5.2. Características edáficas da área experimental .....                | 27        |
| 5.3. Características climáticas da área experimental .....              | 28        |
| 5.4. Tratamentos e delineamento experimental .....                      | 29        |
| 5.5. Instalação e condução do experimento .....                         | 30        |
| 5.5.1. Semeadura e cultivo da braquiária.....                           | 30        |
| 5.5.2. Semeadura e cultivo da soja (Verão-2006/2007).....               | 31        |
| 5.6. Coleta e preparo das amostras .....                                | 32        |
| 5.6.1. Amostras de solo .....                                           | 32        |
| 5.6.2. Amostras de tecido vegetal .....                                 | 32        |
| 5.6.2.1. Braquiária .....                                               | 32        |
| 5.6.2.2. Soja.....                                                      | 33        |
| 5.6.2.3. Grãos de soja.....                                             | 33        |
| 5.7. Determinação dos teores de macronutrientes no tecido vegetal ..... | 33        |
| 5.8. Determinações químicas nas amostras de solo .....                  | 34        |
| 5.8.1. Acidez do solo e matéria orgânica.....                           | 34        |
| 5.8.2. Fracionamento do fósforo.....                                    | 34        |
| 5.9. Análises estatísticas .....                                        | 35        |

|                                                        |           |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                 | <b>36</b> |
| <b>6.1. Cultura da braquiária .....</b>                | <b>36</b> |
| <b>6.2. Cultura da soja .....</b>                      | <b>39</b> |
| <b>6.3. Fertilidade do solo .....</b>                  | <b>45</b> |
| <b>6.3.1. Acidez do solo.....</b>                      | <b>45</b> |
| <b>6.3.2. Matéria Orgânica .....</b>                   | <b>47</b> |
| <b>6.3.3. Fósforo .....</b>                            | <b>48</b> |
| <b>6.4. Fracionamento do Fósforo .....</b>             | <b>51</b> |
| <b>6.4.1. Fósforo lábil .....</b>                      | <b>51</b> |
| <b>6.4.2. Fósforo moderadamente lábil.....</b>         | <b>53</b> |
| <b>6.4.3. Fósforo ligado ao Ferro e Alumínio .....</b> | <b>56</b> |
| <b>6.4.4. Fósforo ligado a cálcio.....</b>             | <b>60</b> |
| <b>6.4.5. Fósforo não lábil .....</b>                  | <b>62</b> |
| <b>6.4.6. Fósforo residual .....</b>                   | <b>66</b> |
| <b>6.4.7. Fósforo inorgânico total .....</b>           | <b>68</b> |
| <b>6.4.8. Fósforo orgânico total .....</b>             | <b>70</b> |
| <b>7. CONCLUSÕES.....</b>                              | <b>74</b> |
| <b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>             | <b>75</b> |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Páginas</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Quadro 1.</b> Sistema de rotação de culturas implantado na área experimental.....                                                                                                                                                                                                         | <b>26</b>      |
| <b>Quadro 2.</b> Valores das médias gerais das características químicas e granulométricas do solo da área experimental por ocasião da instalação dos tratamentos (Março/2006). ....                                                                                                          | <b>27</b>      |
| <b>Quadro 3.</b> Teor médio de fósforo na camada de 0-20 cm em cada tratamento. Amostragem realizada em Março/2006. ....                                                                                                                                                                     | <b>28</b>      |
| <b>Quadro 4.</b> Características químicas e constituição física dos insumos utilizados nos tratamentos. ....                                                                                                                                                                                 | <b>29</b>      |
| <b>Quadro 5.</b> Ausência e presença de braquiária e suas combinações com as respectivas doses de $P_2O_5$ na semeadura da soja e o $P_2O_5$ total para tratamentos em parcelas e subparcelas. ....                                                                                          | <b>30</b>      |
| <b>Quadro 6.</b> Valores médios de produtividade de matéria seca de braquiária ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) antes da dessecação, Novembro/2006. ....                                                                                                                                    | <b>37</b>      |
| <b>Quadro 7.</b> Teor médio de fósforo na matéria seca de plantas de braquiária antes da dessecação, Novembro/2006. ....                                                                                                                                                                     | <b>37</b>      |
| <b>Quadro 8.</b> Teor médio de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio na matéria seca de plantas de braquiária antes da dessecação, Novembro/2006. ....                                                                                                                                     | <b>38</b>      |
| <b>Quadro 9.</b> Diferença mínima significativa para a variável produtividade da soja na safra 06/07 e teor de fósforo no tecido vegetal aos 50 DAE. ....                                                                                                                                    | <b>40</b>      |
| <b>Quadro 10.</b> Diferença mínima significativa para a variável pH em $CaCl_2$ nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ), Novembro/2006..... | <b>46</b>      |

**Quadro 11.** Diferença mínima significativa para a variável Matéria Orgânica ( $\text{g dm}^{-3}$ ) nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006.....**48**

**Quadro 12.** Diferença mínima significativa para a variável Fósforo disponível (resina) em  $\text{mg dm}^{-3}$  nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006.....**49**

**Quadro 13.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo inorgânico solúvel extraído pela resina trocadora de ânions (RTA), expresso em  $\text{mg dm}^{-3}$ , nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006. ....**51**

**Quadro 14.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo inorgânico e orgânico extraído com  $\text{NaHCO}_3$ , expresso em  $\text{mg dm}^{-3}$ , nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006.....**54**

**Quadro 15.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo inorgânico e orgânico extraído com  $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , expresso em  $\text{mg dm}^{-3}$ , nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006. ....**57**

**Quadro 16.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo inorgânico extraído com solução de  $\text{HCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ , expresso em  $\text{mg dm}^{-3}$ , nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006. ....**60**

**Quadro 17.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo inorgânico e orgânico extraído com NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>, expresso em mg dm<sup>-3</sup>, nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006. ....63

**Quadro 18.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo residual (mg dm<sup>-3</sup>) nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006. ....66

**Quadro 19.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo inorgânico total (mg dm<sup>-3</sup>) nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006. ....68

**Quadro 20.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo orgânico total (mg dm<sup>-3</sup>) nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006. ....70

## LISTA DE FIGURAS

páginas

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figura 1.</b> Precipitação e temperatura média mensal referente ao período do experimento (Jan/2006 a Maio/2007).....                                                                                                                                                                                                           | <b>28</b> |
| <b>Figura 2.</b> Valores médios de produtividade da soja na interação braquiária (presença; ausência) e fontes de fósforo (solúvel e reativo). Barra na vertical = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD). ....                                                                                                     | <b>41</b> |
| <b>Figura 3.</b> Valores médios de produtividade da soja na interação braquiária (presença; ausência) 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> de SFT). Barra na vertical = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....                    | <b>42</b> |
| <b>Figura 4.</b> Valores médios de produtividade da soja na interação fontes de fósforo (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> de SFT). Barra na vertical = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD). ....              | <b>43</b> |
| <b>Figura 5.</b> Valores médios de teor de fósforo na soja aos 50 DAE na interação fontes de fósforo (solúvel e reativo) e braquiária (presença; ausência). Barra na vertical = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD). ....                                                                                        | <b>44</b> |
| <b>Figura 6.</b> Valores médios de teor de fósforo na soja aos 50 DAE na interação fontes de fósforo (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> de SFT). Barra na vertical = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD). .... | <b>44</b> |

**Figura 7.** Valores médios de teor de fósforo na soja aos 50 DAE na interação 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> de SFT) e braquiária (presença; ausência). Barra na vertical = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD)......**45**

**Figura 8.** Valores médios de pH em CaCl<sub>2</sub> nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência).....**46**

**Figura 9.** Valores médios do teor de fósforo disponível (resina) no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD)......**50**

**Figura 10.** Valores médios do teor de fósforo disponível resina (Pi resina) no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD). .....**52**

**Figura 11.** Valores médios do teor de Pibic no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD). .....**55**

**Figura 12.** Valores médios do teor de Pobic no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD). .....**56**

**Figura 13.** Valores médios do teor de fósforo inorgânico não lábil (extraído com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>) no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....58

**Figura 14.** Valores médios do teor de fósforo orgânico (extraído com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>) no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....59

**Figura 15.** Valores médios do teor de fósforo ligado ao cálcio (extraído com HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>) no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....62

**Figura 16.** Valores médios do teor de fósforo inorgânico não lábil (extraído com NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>) no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....64

**Figura 17.** Valores médios do teor de fósforo orgânico (extraído com NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>) no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....65

**Figura 18.** Valores médios do teor de fósforo residual no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....67

**Figura 19.** Valores médios do teor de fósforo inorgânico total no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**69**

**Figura 20.** Valores médios do teor de fósforo orgânico total no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).....**72**

## 1. RESUMO

Os solos brasileiros são carentes em fósforo, um elemento essencial para o desenvolvimento das espécies cultivadas, sendo assim, limitante da produtividade em solos tropicais. Sistemas conservacionistas, como o sistema de semeadura direta, alteram a dinâmica do fósforo no solo, aumentando sua concentração principalmente nas camadas superficiais. A presença de determinadas espécies no sistema pode promover a solubilização de fosfatos e melhorar sua distribuição no perfil do solo. Neste trabalho objetivou-se avaliar a contribuição da braquiária na disponibilização de fósforo à soja subsequente e seu efeito nas formas de fósforo no solo.

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental Lageado (FCA/UNESP), na cidade de Botucatu, Estado de São Paulo. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-distroférrico, de textura média. Os tratamentos de doses de fosfato solúvel e natural aplicadas a lanço, com e sem cultivo de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*). No verão, foi cultivada a soja (*Glycine max* (L.) Merrill), em semeadura direta, sobre os restos da braquiária. Amostragens de solo foram realizadas, na semeadura, e foram analisadas características químicas do solo e as formas de fósforo presentes no solo, através de seu fracionamento. Na soja, foi analisado o acúmulo de fósforo, além da diagnose foliar, as produções de grãos de soja e a produção de matéria seca no sistema.

As fontes de fósforo aplicadas a lanço não interferiram na produtividade de matéria seca da braquiária. Em relação ao teor de P na matéria seca de plantas de braquiária, os teores de P encontrados estão acima da faixa de suficiência, que para as gramíneas variam, em geral, entre 0,8 a 1,2 g kg<sup>-1</sup>. A presença da braquiária promoveu a redução na produtividade da soja quando na ausência de adubação fosfatada no sulco. Os teores de P nas folhas da soja foram maiores com a aplicação de P a lanço, mas a diferença só foi significativa na presença da gramínea. O valor observado na ausência da adubação fosfatada e sem o cultivo da gramínea está abaixo do valor adequado, entre 2,0 e 5,0 g kg<sup>-1</sup>, em média.

A gramínea promoveu alterações, principalmente, nas formas lábeis de P no perfil do solo, sendo que, para P disponível, observou-se um aumento no teor de P em profundidade. Em média, as formas menos lábeis avaliadas não sofreram alterações após o cultivo da braquiária, porém, foi observada redução no teor de P-Ca na presença da braquiária, nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm. Esse efeito pode indicar uma extração desta fração de fósforo pelo sistema radicular da braquiária, podendo ser um dos fatores que contribuíram para o aumento de fósforo disponível no perfil do solo. Sendo assim, esse aumento pode ser a somatória do cultivo da gramínea mais a capacidade de dissolução de fosfatos menos disponíveis no solo, de modo que a exploração do solo pelas raízes da braquiária, seguida da extração de fosfatos de cálcio, promoveu o aumento no teor de P no tecido vegetal, devido à redistribuição do elemento na planta.

Apesar de a braquiária promover incrementos nas diversas formas de P no solo, principalmente em formas lábeis no perfil, esses valores não são suficientes para alterar a nutrição da soja. Por outro lado, sem adubação fosfatada, pode haver prejuízo na produtividade de soja na presença de braquiária.

---

**Palavras-chave:** fosfato natural, superfosfato, frações de fósforo, disponibilidade no perfil, rotação de culturas.

## **PHOSPHORUS AVAILABILITY FOR SOYBEAN GROWN OVER BRACHIÁRIA.**

Botucatu, 2008. 108 fl. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ALEXANDRE MERLIN

Adviser: CIRO ANTONIO ROSOLEM

### **2. SUMMARY**

Low soils fertility limits productivity in Brazilian tropical soils. Zero tillage modifies phosphorus dynamics in the soil thus increasing its concentration mainly in upper layers. Crop rotation with phosphorus solubilizing species may improve phosphorus fertility in the soil profile. This study aimed at evaluating the contribution of *Brachiaria ruziziensis* on P availability for the following soybean crop and its subsequent effect in P pools within the soil profile.

The experiment was carried out on Lageado Experimental Farm. Treatments consisted of soluble and reactive rock phosphate spread over the soil. Brachiaria was cropped in sub-plots with 0, 30 and 60 kg ha<sup>-1</sup> of soluble phosphate. Soybean was planted over brachiaria mulch in the summer. Soil samples were taken just before soybean planting. P pools were analyzed in the soil profile down to 60 centimeters.

Phosphorus accumulation in soybeans, foliar diagnosis, soybean production and dry matter in the system were determined.

Phosphorus sources spread over the soil did not affect brachiaria dry matter production. As to P content in brachiaria dry matter, P levels are above the range of sufficiency, from 0.8 to 1.2 g kg<sup>-1</sup>. Brachiaria caused reduction in soybean productivity without phosphate fertilization. P levels in soybean leaves were higher with sources spread over the soil, although the difference was significant only in the presence of brachiaria. The value observed without phosphate fertilization and without brachiaria is below the appropriate value, i.e., between 2,0 and 5,0 g kg<sup>-1</sup>.

Brachiaria promoted alteration, mainly, in labile P forms in the soil profile so an increase of available P in depth was observed. On average, non-labile forms evaluated were not altered after brachiaria cultivation. However, a reduction in P-Ca in soil profile was

observed when brachiaria was cultivated. This may indicate P-Ca extraction by brachiaria root system, which may have contributed to increase available P in soil profile. This may have been caused by brachiaria cultivation and capacity of phosphate dissolution of non-labile P forms. The exploration of brachiaria root system followed by dissolution of P-Ca may have promoted the increase of P content in brachiaria dry matter.

Although brachiaria led to increase in several P forms in the soil mainly labile forms, these values were not enough to affect soybean nutrition. On the other hand, without phosphate fertilization there was a reduction in soybean productivity.

---

**Key-words:** natural phosphate, super phosphate, phosphorus fractionation, P availability in soil profile, crop rotation.

### 3. INTRODUÇÃO

O fósforo (P), no solo, encontra-se em formas orgânicas e inorgânicas, retido nos argilominerais e compostos orgânicos com diferentes graus de energia, com maior concentração nos horizontes superficiais. O conteúdo total de P e sua distribuição variam em função, principalmente, do material de origem e do manejo do solo. As formas do P no solo vão desde o P ligado à rede cristalina de alguns minerais até formas orgânicas estáveis, as quais se encontram em equilíbrio dinâmico (TOKURA, 2002).

Os solos brasileiros são carentes de P, em consequência do material de origem e da forte interação do P com o solo, em que menos de 0,1% se encontra em solução. Assim, o P é um elemento limitante da produtividade de biomassa em solos tropicais. Níveis adequados de P disponíveis no solo são essenciais para a produção das culturas; por isso, a adubação fosfatada é de grande importância para a agricultura.

Sistemas conservacionistas, como o sistema de semeadura direta (SSD), alteram a dinâmica do nutriente no solo, promovendo um acúmulo na camada superficial, que pode ter concentrações de P de 4 a 7 vezes superiores às encontradas no preparo convencional (MUZILLI, 1983), com altos níveis de fósforo orgânico (Po), que podem compreender 3 a 90% do P total do solo e de 1 a 3 % da matéria orgânica. Além disso, o SSD pode promover incrementos nas formas lábeis de P em SSD (OLIBONE 2005; RHEINHEIMER, 2000).

Nesse sentido, o cultivo de espécies de cobertura no inverno ou primavera pode influenciar o aproveitamento do P, pois o acúmulo desse nutriente no tecido vegetal, reduz as perdas por precipitação e fixação assim disponibilizando-o como Po após a decomposição da palhada e do sistema radicular. Com isso, pode-se adotar a utilização de parte do fertilizante em pré-semeadura na cultura de inverno ou primavera, de modo que, após a dessecação, os nutrientes retornarão para o solo podendo ser absorvidos pela cultura principal. Baseado neste conceito de adubação em SSD, a utilização de fontes de P menos solúveis pode torna-se uma prática viável e de menor custo, desde que associada a plantas de cobertura eficientes na ciclagem e absorção de formas menos lábeis de P. Os fosfatos reativos, além de apresentarem custo inferior, apresentam no primeiro ano resultados de produção semelhantes aos obtidos com fontes solúveis (HOROWITZ & MEURER, 2004).

O uso de plantas de cobertura, como a aveia-preta, mucuna preta, ervilhaca e tremoço, eficientes na ciclagem de P, também vem sendo estudado, assim como plantas do gênero *brachiaria*. No entanto, Borket et al. (1999) demonstraram que nenhuma dessas plantas apresentou potencial para a ciclagem do P. Francisco (2002) e Segatelli (2004) avaliaram a produtividade da soja em SSD com adubação fosfatada antecipada na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn. (capim pé-de-galinha) e relataram que a adubação fosfatada antecipada proporcionou maior produção de fitomassa da planta de cobertura, não alterou a produção de grãos da soja. Entretanto, os efeitos dos resíduos vegetais sobre a dinâmica e formas de P no perfil do solo, ainda são pouco conhecidos e estudados, apesar de os benefícios promovidos pela adoção do SSD serem amplamente conhecidos e difundidos.

A avaliação de diferentes manejos da adubação fosfatada ou mesmo de rotação de culturas, sobre a disponibilidade de P pode ser realizada através da utilização do fracionamento sequencial do P. A metodologia utilizada foi desenvolvida por Hedley et al. (1982). Com o uso desta metodologia, é possível avaliar as alterações nas diferentes frações de P no solo, como: P disponível (resina); P moderadamente lábil ( $\text{NaHCO}_3$ ); P ligado ao Fe e Al (NaOH); P ligado ao cálcio (HCl); Pi total e Po total.

Considerando o que se discorreu, o presente trabalho objetiva avaliar a contribuição da braquiária na disponibilização de P à soja subsequente assim como seu efeito nas formas de P no solo.

## **4. REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1. O fósforo no solo**

Os solos podem ser considerados como fonte ou dreno de P dependendo de suas características relacionadas ao grau de intemperismo. Assim, o solo serve como fonte quando ainda apresenta reservas naturais ou pela adição de fertilizantes. Solos em estágio avançado de intemperismo apresentam características como maior eletropositividade, menor capacidade de troca de cátions, aumento da adsorção aniônica, diminuição da saturação por bases, entre outras. Neste caso, o solo compete com a planta pelo fertilizante adicionado, caracterizando-se como dreno (NOVAIS & SMYTH, 1999). Naturalmente em solos tropicais e subtropicais (“solos dreno”), o P encontra-se em concentrações muito baixas na solução do solo, sendo limitante para o desenvolvimento das culturas. 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. A participação do P orgânico aumenta, e os processos biológicos tendem a governar a disponibilidade desse nutriente à biomassa (CROSS & SCHLESINGER, 1995).

Sendo o teor de P solúvel muito baixo, há necessidade de aplicação de adubos fosfatados em quantidades superiores às necessidades das plantas, em decorrência da alta capacidade de fixação química por componentes do solo (NAHAS, 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 adsorvidos à matéria orgânica (PARFITT, 1978; RAIJ, 1991; MACHADO et al., 1993). Embora o teor total de P dos solos, de modo geral, esteja entre 200 e 3000  $\text{mg dm}^{-3}$ , menos de 0,1 % desse total encontra-se em solução. Em solos agrícolas, os valores em solução estão com maior frequência entre 0,2 e 2  $\text{mg dm}^{-3}$  (FARDEU, 1996).

No solo, o P é dividido em dois grandes grupos, P inorgânico (Pi) e P orgânico (Po), dependendo da natureza do composto a que está ligado. Dentro destes dois grupos, as formas de P são de difícil identificação devido à infinidade de reações que o elemento pode sofrer e seus compostos resultantes (GATIBONI, 2003).

O grupo do P inorgânico pode ser separado em duas partes, o P dos minerais primários ou estruturais e o P adsorvido, além do P da solução do solo, encontrado em pequenas quantidades. A identificação direta dos minerais primários fosfatados por difratometria de raios X é difícil porque perfazem apenas uma pequena parte dos minerais do solo, variando de 0,02 a 0,5% (LINDSAY et al., 1989). Já o P inorgânico adsorvido pode ocorrer em todos os minerais presentes no solo por causa de sua facilidade em formar complexos de alta energia de ligação.

O segundo grupo é o P orgânico, que é extremamente relevante nos solos tropicais, pois atua ativamente na 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. 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 (~ 3%) e outros ésteres fosfato (> 5%) (DALAL, 1977). A estabilidade destes compostos é dependente de sua natureza e de sua interação com a fração mineral, pois estes mesmos compostos são usados como fonte de carbono e elétrons pelos microrganismos, cujo resultado é a sua mineralização e disponibilização do P.

O aumento da porcentagem de P orgânico com o avanço do intemperismo dos solos, tem sido demonstrado por vários autores. Cross & Schlesinger (1995) relatam a existência de valores de 5% do P total em formas orgânicas nos Entisols e 35% nos

Oxisols. Duffera & Robarge (1996) encontraram correlação positiva entre o conteúdo de P orgânico e teores de Fe extraído por ditionito ( $\text{Fe}_d$ ), mostrando que, com o avanço do intemperismo, participação do P orgânico aumenta. Guerra et al. (1996) relatam que, em solos do Brasil Central, o P orgânico total representou valores de 13 a 47% do P total, sendo crescente com o grau de intemperismo dos solos.

#### **4.2. Fontes minerais de fósforo**

As fontes de fósforo podem ser divididas basicamente em solúveis, pouco solúveis e insolúveis. As primeiras, quando adicionadas ao solo, aumentam rapidamente a concentração do fósforo na solução do solo. Os fosfatos solúveis têm sua eficiência diminuída ao longo do tempo devido ao processo de "adsorção" ou "fixação" de P. Já os fosfatos naturais, que são insolúveis em água, se dissolvem lentamente na solução do solo e tendem a aumentar a disponibilidade do P para as plantas com o tempo. Os fosfatos naturais, em geral, apresentam menor eficiência que os fosfatos solúveis em curto prazo, porém, em longo prazo, seu efeito residual é geralmente maior. (KORNDÖRFER, 1978).

As fontes solúveis em água mais produzidas no Brasil são os superfosfatos (simples e triplo) e os fosfatos de amônio (MAP e DAP). Trata-se de produtos solúveis que, quando incorporados ao solo, possuem grande capacidade de liberação de P para as plantas e, portanto, com alta eficiência agrônômica como fertilizantes fosfatados (GOEDERT, 1986).

Os fosfatos naturais são mais reativos em solos ácidos, com alta CTC e deficientes em Ca e P (GOEDERT & LOBATO, 1980). Os fosfatos naturais são concentrados apatíticos obtidos a partir de minerais fosfáticos ocorrentes em jazidas localizados, os quais podem ou não passar por processos físicos de concentração, como lavagem e/ou flotação, para separá-los dos outros minerais com os quais estão misturados (KAMINSKI & PERUZZO, 1997).

A eficiência dos fosfatos de rocha está intimamente relacionada com o grau de substituição de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) por carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), que gera instabilidade na estrutura cristalina da rocha (LEHR & MCCLELLAN, 1972). A dureza da estrutura cristalina é tão importante que rochas fosfáticas de origem ígnea, como a maioria das rochas nacionais,

são reconhecidas por sua menor reatividade para aplicação direta como fertilizante. As rochas de origem sedimentar podem ser reativas ou não, dependendo do grau de substituição isomórfica.

Os fosfatos naturais têm baixa solubilidade em água, e assim, quanto menor o tamanho da partícula e maior o contato com o solo, maior será a liberação de fósforo (RAIJ, 1991). Trabalhos demonstraram que o fosfato natural de Gafsa, moído até que 85% de suas partículas fossem menores do que 0,074 mm, apresentaram resultados próximos ao superfosfato triplo granulado, mesmo nos primeiros cultivos (GOEPFERT & TEDESCO, 1986; BRAGA et al., 1991).

Em solo de cerrado, Rein et al. (1994) mostraram que o fosfato natural reativo de Carolina do Norte moído (85% das partículas menores do que 0,074 mm) teve eficiência equivalente ao superfosfato triplo e maior do que o mesmo fosfato natural na forma farelada (80% das partículas entre 0,15 e 0,3 mm) somente no primeiro plantio de soja; porém, na segunda e terceira semeadura, o fosfato natural na forma farelada, superou as demais fontes. Segundo Korndörfer et al. (1997), os fosfatos naturais farelados de Arad, Marrocos e Gafsa apresentaram resultados similares ao superfosfato triplo granulado já no primeiro cultivo de milho em solos de cerrado. Entretanto, Esteves et al. (2002) observaram diferença significativa entre as fontes de P na produção de tritcale, com vantagem para o superfosfato triplo em relação ao fosfato natural de Arad, em dois anos de cultivo. Em trabalho semelhante, Olibone (2005), observou maior produção do tritcale com superfosfato triplo no quarto ano do experimento, embora não houvesse diferença de produtividade para a soja cultivada em seqüência.

O uso de fosfatos reativos assume, no Brasil, especial importância, tendo em vista que a maioria de nossos solos contém baixos teores de P disponível, e os adubos industrializados apresentam alto custo energético. Contudo, a eficiência destes materiais é muito variável sendo complexo o equacionamento de seu uso (KHASAWNEH & DOLL 1978); e as fontes nacionais têm mostrado, em sua maioria, pouca eficiência (RAIJ et al., 1981).

### 4.3. Alterações nas formas de fósforo com o manejo

Como os teores de fósforo disponível em solos intemperizados de ecossistemas naturais são baixos, diversos mecanismos são utilizados pelas plantas e organismos adaptados para aumentar a eficiência de absorção de fósforo. Estas estratégias podem ser de caráter morfológico, como o aumento da relação raiz/parte aérea, as mudanças na morfologia das raízes, o aumento de pêlos radiculares e a associação com fungos micorrízicos. Os mecanismos também podem ser bioquímicos ou fisiológicos, como a redução do efluxo de fósforo, mobilização do Pi vacuolar, secreção de ácidos orgânicos, aumento da produção de fosfatases e RNases e ativação de genes para mudanças nos carregadores de fósforo, alterando seu Km e Cmin (RHAGHOTHAMA, 1999). Por outro lado, as culturas comerciais melhoradas geneticamente para aumentarem a produtividade acabam por perder características ligadas à eficiência de absorção de nutrientes, ou não desenvolvem seus mecanismos de maneira satisfatória. Por este motivo, a utilização dessas plantas em solos intemperizados requer altos investimentos em fertilizantes e corretivos de solo, para aumentar a disponibilidade e o suporte de absorção do fósforo pelas plantas.

As frações orgânicas e inorgânicas de fósforo no solo podem atuar como fonte ou dreno para a solução do solo, dependendo das suas características mineralógicas, das condições ambientais, da fertilização e do manejo do solo (NOVAIS & SMYTH, 1999). Em ecossistemas naturais, onde não há adição de fósforo, a sua disponibilidade está intimamente relacionada à ciclagem das formas orgânicas (TIESSSEN et al., 1984; BECK & SANCHES, 1994; GUGGENBERGER et al., 1996), sendo que a perturbação do sistema pela introdução de outras espécies vegetais ou pelo aumento da biomassa vegetal e adubação, pode acarretar em aumento na sua mineralização, devido a incrementos também na atividade microbiana (CONDRON & GOH, 1989; SANYAL & DATTA, 1991; MAGID et al., 1996; OBERSON et al. 1996).

Tiessen et al. (1984) observaram que, em solos pouco intemperizados, 86% do Pi extraído por resina de troca aniônica (Pirta) foi tamponado pelas frações Pi extraído por bicarbonato de sódio (Pibic) e Pi extraído por hidróxido de sódio (Pihid), enquanto em solos altamente intemperizados, 80% do Pirta foi tamponado pelo Fósforo orgânico extraído com bicarbonato de sódio a 0,5 mol L<sup>-1</sup> (Pobic). Em área submetida a 65 anos de cultivo sem

fertilização, Hedley et al. (1982) observaram que todas as formas de fósforo atuaram como fonte de fósforo, reduzindo em 29% o fósforo total do solo, quando comparado à pastagem natural. As frações inorgânicas tiveram uma redução de 26%, as orgânicas 24% e o fósforo residual 52% dos seus teores originais. Resultados semelhantes foram encontrados por Duffera & Robarge (1996), que constataram diminuição de todas as frações de fósforo com o cultivo em solos pouco intemperizados da Etiópia, sendo que as formas orgânicas diminuíram até 27% e as inorgânicas 61%, causando uma diminuição de 59% do fósforo total do solo.

Friessen et al. (1997) observaram, em solo altamente intemperizado e sob pastagem natural, que o fósforo disponível foi tamponado pelo fósforo orgânico extraído por hidróxido de sódio (Pohid) e, quando fertilizado, as frações Pibic e Pihid atuaram como dreno do fósforo aplicado. De forma similar, Linquist et al. (1997) relatam que a adição de fertilizantes fosfatados aumentou os teores de fósforo nas frações Pirta, Pibic e Pihid, e, quando da supressão da adubação, as formas Pirta, Pibic, Pihid e Po extraído por bicarbonato de sódio (Pobic) atuaram como fonte de fósforo às plantas. Também Sharpley & Smith (1985) comentam que, com o cultivo, as frações de fósforo orgânico mais resistentes diminuíram, enquanto os teores nas frações mais lábeis não foram modificados, isso porque provavelmente as formas mais resistentes de Po foram transformadas em formas mais lábeis.

Beck & Sanches (1994), estudando as mudanças nas frações do fósforo do solo após 18 anos de cultivo com e sem fertilização fosfatada, relatam alterações da dinâmica das frações de fósforo do solo por causa do manejo da adubação fosfatada. Foi observado que, com a fertilização, todas as frações, exceto o fósforo residual e fósforo orgânico extraído por NaOH + sonificação, atuaram como dreno do fósforo adicionado e, quando houve diminuição da dose aplicada, a fração Pihid atuou como fonte de fósforo. Onde não houve fertilização, as frações Pobic, Pihid e Pohid agiram como fonte, tamponando o fósforo extraído por resinas. Estimaram que, na área fertilizada, 96% do fósforo extraído por resinas foi originário das frações inorgânicas, enquanto, onde não foi fertilizado, 44% do fósforo extraído por resinas foi originário das frações orgânicas do solo. Os autores acentuaram ainda que a aplicação de calcário provocou aumento da fração de fósforo extraído por HCl, sugerindo a reação do fósforo com o cálcio (neoformação de fosfatos de cálcio), resultado também observado por Rheinheimer (2000) em Latossolos do Rio Grande do Sul. Schimidt et al. (1996) também constataram que as frações Pirta, Pibic, Pihid e Pohid atuaram

como dreno de fósforo, quando a dose aplicada foi maior que a absorção pelas plantas, ou como fonte, quando a dose foi menor que a quantidade consumida.

Guo & Yost (1998) e Guo et al. (2000) realizaram experimentos em casa de vegetação utilizando solos com moderado e alto grau de intemperismo, nos quais realizaram quatorze cultivos sucessivos de milho ou soja, com prévia adição de fósforo para elevar o teor na solução do solo a  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ . Os autores observaram que, nos solos pouco intemperizados, a redução das formas lábeis de fósforo inorgânico (extraídos por resina e  $\text{NaHCO}_3$ ) pela absorção pelas plantas foi tamponada pelas frações menos lábeis (extraídas por  $\text{HCl}$  e fósforo residual). Já nos solos altamente intemperizados, o tamponamento foi feito pelas frações Pobic e Pihid. Esses autores relatam que, a médio e longo prazo, todas as formas de fósforo do solo são disponíveis às plantas, do que se pode inferir que o fósforo adicionado pode ser inteiramente recuperado, mas não garante que as taxas de absorção sejam suficientes para manter altos rendimentos. Chen et al. (2002) observaram que há redução das formas inorgânicas lábeis e moderadamente lábeis (Pirta, Pibic e Pihid) na rizosfera (até 6 mm de distância da raiz) de plantas de pínus e azevém perene. Constataram também que houve pequeno aumento de Pobic e uma grande redução do Pihid na rizosfera de pínus, o que não ocorreu de forma tão intensa para o azevém. Este comportamento estaria associado com a alta atividade microbiana e atividade de fosfatases, observada na rizosfera de pínus, o que reforça a importância da biomassa microbiana do solo e a capacidade das plantas em exsudar fosfatases para mineralização e utilização do fósforo orgânico do solo.

Outros autores, como McKenzie et al. (1992a), McKenzie et al. (1992b), Araújo et al. (1993a), Ball-Coelho et al. (1993), Richards et al. (1995), Lindo et al. (1995), Schimidt et al. (1996), Friessen et al. (1997) e Zhang & McKenzie (1997) reportam a atuação das frações menos lábeis do fósforo do solo como fonte ou dreno do fósforo disponível, principalmente a fração Pihid, mostrando que ela é muito reativa, acumulando fósforo quando é aplicado e tamponando quando não há aplicação ou há a supressão da adubação fosfatada. Assim, a biodisponibilidade de fósforo parece controlar o caráter fonte/dreno das frações orgânicas e inorgânicas do solo. Como visto, as frações inorgânicas e orgânicas podem atuar como fonte ou dreno do fósforo disponível, dependendo do manejo do solo e da fertilização.

Quando o solo não é fertilizado e há adições de resíduos vegetais, a fração orgânica tampona o fósforo da solução do solo. Por outro lado, quando há fertilizações, ocorre o acúmulo de fósforo nas formas inorgânicas, que tamponam a solução; a fração orgânica é utilizada em menor escala, permitindo sua acumulação. Quando da adição de fertilizantes fosfatados, ocorre a redistribuição do fósforo em todas as frações do solo, porém, o acúmulo é mais pronunciado nas frações inorgânicas lábeis. Com o tempo, há aumento da energia de adsorção e o fósforo passa gradativamente para formas de menor labilidade, o que caracteriza o processo de "envelhecimento do fósforo" (BARROW, 1999; NOVAIS & SMYTH, 1999).

Araújo et al. (1993b) relatam que a fertilização e o cultivo de um solo por 25 anos provocaram aumento nos teores de fósforo orgânico e fósforo inorgânico, comparado a um solo similar sob mata nativa. Contudo, em valores relativos, houve um decréscimo no fósforo orgânico de 55% do fósforo total no solo de mata para 25% no solo cultivado, mostrando que a acumulação do fósforo adicionado ocorre preferencialmente em formas inorgânicas, comportamento também observado por Beck & Sanches (1994), Weil et al. (1988) e Sattell & Morris (1992).

Quando há a adição de resíduos orgânicos ao solo, a decomposição promovida pela biomassa microbiana faz com que ocorra mineralização do Po e o acúmulo do fósforo se dê preferencialmente nas formas inorgânicas. Por outro lado, se o resíduo for de difícil decomposição, o fósforo pode permanecer em formas orgânicas (OTABBONG et al. 1997). Quando há a adição de esterco ao solo, o acúmulo do fósforo também é mais pronunciado nas formas inorgânicas (TRAN & N'DAYEGAMIYE, 1995; RUBAEK & SIBBESEN, 1995; SUI et al., 1999), e é devido ao fato de que mais de 60% do fósforo contido nos esterco já se encontram em formas inorgânicas antes mesmo de sua aplicação (SUI et al., 1999; CASSOL et al., 2001).

Daroub et al. (2000) cultivaram plantas de soja em solução nutritiva com  $P^{33}$  e fracionaram seus resíduos após 20 dias de crescimento. O tecido apresentava 70% do P na forma inorgânica extraível por resina de troca aniônica (RTA). Esses resíduos foram então adicionados a diferentes tipos de solo e sendo imediatamente detectado aumento de  $P^{33}$  extraído por RTA. Após seis dias da adição dos resíduos, diminuiu o  $P^{33}$  na fração  $PiRTA$  e aumentou no P microbiano e nas frações extraídas por  $NaHCO_3$  e  $NaOH$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ . As

frações P microbiano e  $\text{NaHCO}_3$  apresentaram aumento no teor de  $\text{P}^{33}$  até 18 dias após a adição dos resíduos, havendo declínio após este período. Concomitantemente com o declínio do  $\text{P}^{33}$  nas frações anteriores, houve aumento deste na fração NaOH, que perdurou até o final do experimento (34 dias de incubação). A fração de P extraída por  $\text{HCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$  apresentou aumentos da concentração de  $\text{P}^{33}$  apenas no solo menos intemperizado e a fração de P residual não se modificou. Esses resultados sugerem que as formas de fósforo do solo estão intimamente ligadas e, quando é adicionado ao solo, parte dele é adsorvida em formas lábeis e parte é imobilizada pela biomassa microbiana do solo. Este é um fenômeno temporário, pois o fósforo passa a ser adsorvido com maior energia poucos dias após a sua adição. Fica claro neste trabalho que a biomassa microbiana do solo pode atuar como retardador da adsorção do fósforo adicionado, como relatado por Conte (2001), mas o efeito é de curta duração.

Com a aplicação de adubos fosfatados e conseqüente adsorção aos colóides, o manejo do solo passa a ter papel importante no prolongamento da sua labilidade, pois algumas práticas podem ser adotadas para diminuir a sua adsorção específica, como o não revolvimento do solo, controle da erosão e a manutenção da cobertura vegetal do solo. Em solos onde a fração argila é composta predominantemente por oxihidróxidos de ferro e de alumínio, a capacidade de sorção do fósforo é alta (GATIBONI, 2003). Por isso, adições de fertilizante fosfatado onde o solo é revolvido, há exposição de novos sítios de adsorção, contribuindo para a sua retenção com maior energia, como acontece no SC, exigindo doses elevadas para manter a alta disponibilidade. Do mesmo modo, a incorporação dos resíduos vegetais facilita o ataque de microrganismos, dificultando o acúmulo de matéria orgânica e de Po. Pela pulverização do solo e ausência de cobertura vegetal, a erosão é significativa, havendo perdas de nutrientes nos sedimentos transportados. Por isso, em sistemas com maior proteção do solo, como o SSD, onde não há revolvimento e os resíduos permanecem na superfície, a eficiência da adubação fosfatada é melhorada (RHEINHEIMER, 2000).

Isto foi constatado por Pavan & Chaves (1996), que observaram aumento das frações de P lábeis com o controle da erosão do solo proporcionada pelo adensamento de cafeeiros. Também, pelo não revolvimento do solo, os fertilizantes fosfatados aplicados acumulam P nas camadas superficiais e o de camadas profundas é ciclado pelas plantas para a superfície (WEIL et al., 1988; SELLES et al., 1997; RHEINHEIMER, 2000). Com isso, ocorre primeiramente a saturação dos sítios mais ávidos e o remanescente é

redistribuído em frações retidas com menor energia e, por isso, maior capacidade de dessorção, aumentando a sua disponibilidade às plantas (BARROW et al., 1998; RHEINHEIMER & ANGHINONI, 2001).

A deposição de resíduos culturais na superfície do solo diminui a sua superfície de contato com o solo e, assim, a decomposição pela biomassa microbiana é desacelerada, resultando na mineralização gradual e parcial desses compostos carbonados, aumentando o conteúdo de matéria orgânica e fósforo orgânico (RHEINHEIMER, 2000) e de ânions orgânicos, e estes podem aumentar a competição pelos sítios de adsorção, diminuindo a retenção do P (HUE, 1991). Do mesmo modo, a atividade microbiana nas camadas superficiais do SSD pode proporcionar maior disponibilidade potencial do P às plantas, ou seja, o P incorporado na biomassa dos microorganismos passa a ser uma reserva do nutriente no solo e não é adsorvido aos colóides (CONTE, 2001).

Assim, no SSD, não há perdas de fósforo por erosão e, devido à localização da adubação fosfatada, do acúmulo de matéria orgânica e do aumento da biomassa microbiana do solo, ocorre acumulação do Po. Por isso, a manutenção da cobertura do solo também por plantas vivas no SSD impede que o Po mineralizado passe para formas menos lábeis, como alertado por Tiessen et al. (1992).

Rheinheimer (2000) estudou as formas de fósforo em solos com diferentes teores de argila submetidos aos sistemas de cultivo convencional e plantio direto, cultivados com rotações de culturas distintas. Observou em todos os solos que no SSD houve aumento de P nas camadas superficiais, principalmente nas formas inorgânicas disponíveis (Pirta e Pibic) e moderadamente disponíveis (Pihid e PiHCl), permitindo a manutenção de teores de P na solução do solo mais elevados do que no SC. As sucessões de cultura estudadas não exerceram influências significativas sobre as formas inorgânicas de fósforo. Para o solo com maiores teores de argila, não houve aumento dos teores de Po sob SPD. Porém, para os solos de textura mais leve, a adoção do SSD, principalmente com utilização de rotações de culturas com grande capacidade de produção de resíduos, promoveu aumentos dos teores de Po e do P microbiano.

Devido a essa estreita relação entre Po do solo e os níveis de P disponíveis às plantas, alguns autores, como Adepetu & Corey (1976), Sharpley (1985), Sharpley et al. (1987), Thien & Myers (1992), Guerra et al. (1996) e Maroko et al. (1999)

recomendam a inclusão deste parâmetro nas análises para estimativa da sua disponibilidade, pois ela melhora a capacidade de previsão da necessidade de adubação fosfatada.

As informações sobre a influência da matéria orgânica do solo na disponibilidade de P têm relatos discordantes. Há afirmações de que os compostos orgânicos do solo podem adsorver o fosfato inorgânico, formando complexos ternários, intermediados por pontes de cátions, como o ferro e alumínio (BELDROK et al., 1997). A matéria orgânica poderia também aumentar a adsorção do fosfato, pelo impedimento da cristalização dos óxidos, o que acarreta em maior superfície de adsorção (SCHWERTMANN et al., 1986). Outros relatos afirmam que os ácidos orgânicos e outros compostos intermediários de caráter aniônico, provenientes dos resíduos vegetais em decomposição, podem competir com o fosfato pelos sítios de adsorção dos colóides do solo, diminuindo sua adsorção (SIBRANDA & YOUNG, 1986; HUE, 1991; MESQUITA FILHO & TORRENT, 1993; NZIGUHEBA et al., 1998).

Pelo exposto, observa-se que as várias formas de P no solo podem contribuir para a sua disponibilidade às plantas e que a sua dinâmica é dependente das condições naturais do solo, do ambiente e do manejo adotado.

Com isso, em solos intemperizados, a estimativa da disponibilidade do P do solo para manejo da adubação é mais difícil e assim se justifica a baixa correlação entre os teores extraídos pelos extratores de rotina e a absorção pelas plantas (ADEPETU & COREY, 1976; PIRES, 1983; ANGHINONI & VOLKWEISS, 1984; SHARPLEY, 1985; COUTO et al., 1985; SATTELL & MORRIS, 1992; KROTH, 1998). Porém, é possível que outros extratores, que atuam sobre formas menos lábeis, possam ser usados na estimativa do seu potencial de disponibilidade, ou para avaliação do andamento do processo de construção da fertilidade em solos com problemas de disponibilidade deste nutriente. Assim, faz-se necessário o conhecimento da dinâmica da dessorção das formas de fósforo retidas com maior energia e ditas menos disponíveis às plantas para incluí-las como parâmetros para estimar a disponibilidade de fósforo do solo às plantas.

#### 4.4. Efeito das plantas de cobertura na disponibilidade de P

Dentre muitos outros efeitos, algumas plantas de cobertura têm potencial para melhorar a disponibilidade de P às culturas. Essas plantas apresentam mecanismos que auxiliam na aquisição de P, seja pela modificação na solubilização-adsorção, seja na difusão do nutriente no solo. Estas estratégias se manifestam pela maior relação raiz/parte aérea e pelo aumento da superfície radicular, pela maior taxa de absorção por unidade de raiz, pelo aumento da exsudação radicular de fosfatases e outros compostos orgânicos, e pela alteração do grau de micotrofismo (LAJTHA & HARRISON, 1995).

A absorção de nutrientes e a geração de acidez na rizosfera em leguminosas, assim como a associação de bactérias diazotróficas influenciam a solubilização de P, causando modificações na quantidade absorvida do nutriente (BEKELE et al., 1983). Aguilar & Van Diest (1981) verificaram que leguminosas utilizando N fixado simbioticamente absorvem mais nutrientes catiônicos do que aniônicos, causando uma acidificação do meio e aumentando a disponibilidade de fosfatos de rocha. O guandu estimula a ocorrência de fungos e bactérias solubilizadores de fosfato (CARNEIRO et al, 2004). Em Latossolos, Alves (1988) verificou que estilosantes utilizam fosfatos de alumínio e a braquiária, além do fosfato de alumínio, também o fosfato de ferro no processo de absorção de P. Segundo esse autor, plantas micorrizadas utilizam mais eficientemente o P menos disponível no solo, principalmente as formas ligadas a Fe e Al.

Entre as plantas cultivadas, foi constatada maior presença de bactérias solubilizadoras em leguminosas do que em gramíneas (SYLVESTER-BRADLEY et al., 1982). Na rizosfera de *Trifolium alexandrinum* e *Phaseolus aureus* foi verificado maior número de microrganismos solubilizadores de fosfato do que na rizosfera de *Crotalaria juncea* e de *Sesbania aculeata* (PAUL & RAO, 1971). Nahas (2002) verificou em estudo com microrganismos produtores de fosfatases ácidas que houve diminuição de fungos e bactérias no solo cultivado com guandu quando comparou com tratamento de *Brachiaria ruziziensis*.

Marx et al. (1997) observaram que a rotação com gramíneas (*Brachiaria ruziziensis*) apresentou menor capacidade máxima de adsorção de P em relação às leguminosas em sistema de rotação com milho. Esse fato pode ter ocorrido pela menor taxa de decomposição das gramíneas em relação às leguminosas e pelas gramíneas contribuírem com

maior quantidade de ácidos fenólicos para a matéria orgânica do solo (SIQUEIRA et al. 1991). Em Oxisols, alterações no pH da rizosfera de gramíneas, promovidas por fontes de nitrogênio, alteraram as quantidades de P solubilizadas (JUNGK, 1993).

As espécies das plantas 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 espécie 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.

Algumas plantas cultivadas podem extrair o P até que a concentração deste elemento atinja  $0,1 \mu\text{mol L}^{-1}$  na solução do solo, assim formando um gradiente de concentração a seu favor para que o processo de difusão e dessorção do P aumentem (JUNGK et al., 1993).

Os ácidos orgânicos liberados pelas raízes de algumas espécies podem exercer uma função importante na utilização dos nutrientes insolúveis pelas plantas, especialmente o P (KIRK et al., 2000). Sabe-se que um grande número de ácidos orgânicos tem a capacidade de solubilizar fosfatos mediante interações com cálcio, alumínio e ferro, deixando assim o íon fosfato em estado solúvel (MONTECINOS, 1997), pois a exsudação de citrato e outros ácidos orgânicos na rizosfera radicular pode auxiliar na solubilização dos fosfatos ligados a Ca, Fe ou Al (GARDNER et al., 1983). Os ácidos orgânicos mais ativos no solo parecem ser o cítrico, oxálico, glucônico, láctico e málico.

O aumento na disponibilidade de P pode ocorrer através da dissolução de fosfatos, que os torna disponíveis para as plantas (WHITELAW, 2000). Diversos organismos do solo, incluindo bactérias, fungos e algumas plantas, possuem capacidade para solubilizar fosfatos por meio de diferentes mecanismos, especialmente pela produção de ácidos (SILVA FILHO & VIDOR, 2000; WHITELAW, 2000).

Conforme Haynes (1984), o solo pode adsorver ácidos orgânicos com grande energia, ocupando os sítios de adsorção de fosfato, aumentando a disponibilidade deste elemento para as plantas. Esses ácidos podem também formar complexos organometálicos estáveis com Fe e, ou, Al, em várias faixas de pH (SPOSITO, 1989). A eficiência desses

ácidos em melhorar a disponibilidade de P para as plantas depende do valor de pH do solo, do tipo de ânion orgânico e da persistência destes ânions no solo (KIRK, 1999).

Na adsorção competitiva entre os ácidos húmicos ou fúlvicos e o fosfato, em amostras de dois solos tropicais, Sibanda & Young (1986) encontraram redução na adsorção de fosfato, quando a concentração de ácidos húmicos foi elevada de 4 a 30 g kg<sup>-1</sup> de carbono orgânico, o que equivale a um aumento de 7,2 a 52 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica no solo. Entretanto, segundo esses autores, essa eficiência não se deve, exclusivamente, à adsorção dos grupos carboxílicos. Deve-se, também, considerar o grande poder de complexação dos ácidos húmicos sobre o Fe e o Al na solução do solo, podendo reduzir a adsorção/precipitação de fosfato.

A principal fonte de ácidos orgânicos no solo é a decomposição da matéria orgânica, mas também são importantes os exsudatos radiculares e microbianos. Tem-se detectado 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, o gênero *Lupinus* é conhecido por sua capacidade de exsudar ácido cítrico através de suas raízes (EIRA, 1992).

Minhoni et al., (1991), através da aplicação de diferentes materiais orgânicos, observaram aumento na liberação de fosfato solúvel em solo tratado com fosfato natural. Bhatti et al. (1998) observaram que a adsorção do fosfato do solo diminuiu na presença de oxalato e de matéria orgânica. Lopez Hernandez 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 para as plantas.

Fernandez (1995) observou que, em solos mais oxidicos, com grande capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), a adição prévia de sacarose aumenta o valor do P remanescente, correspondendo a uma diminuição da CMAP. De acordo com Afif et al. (1995), o efeito da matéria orgânica no bloqueio dos sítios de adsorção de fosfato é transitório, porém, na prática, tal efeito pode ser vantajosamente explorado, considerando o tempo de aplicação do fertilizante fosfatado. Esse efeito transitório deve-se à rápida mineralização de alguns ácidos orgânicos, liberando sítios de adsorção. Contudo, experimentos recentes têm

mostrado que a adsorção de citrato em hidróxidos de Fe diminui sua degradação (GEELHOED et al., 1999), indicando que a adsorção dificulta a mineralização desses ácidos e que o efeito no bloqueio dos sítios de adsorção pode perdurar por mais tempo.

A presença de ácidos orgânicos como o ácido cítrico na solução, podendo formar de cinco a seis ligações com o Al (HUE et al., 1986), aumenta a formação do complexo Al-citrato. Quanto maior a afinidade do ácido orgânico por Al, mais eficiente à ocupação dos sítios de ligação e, conseqüentemente, mais eficiente deverá ser a inibição à formação de polímeros de hidróxi-alumínio (HUANG & VIOLANTE, 1986), que proporcionam maior adsorção/precipitação de fosfato.

Algumas espécies de plantas possuem a capacidade de produzir em sua rizosfera ácidos orgânicos. Neumann & Rombeld (1999) e Roelofs et al., (2001) relatam que a escala de ácidos orgânicos exsudados por plantas de tremoço e grão de bico são variáveis, mas que o ácido cítrico, málico, malônico, aconítico, e fumárico são freqüentemente encontrados em exsudatos nas raízes destas plantas.

#### **4.5. Sistema de semeadura direta (SSD)**

A semeadura direta como um sistema de uso e manejo de solos implica na manutenção de restos vegetais na superfície, o que proporciona cobertura suficiente para dissipar a energia das gotas de chuva e barreiras para o escoamento superficial das águas, diminuindo a degradação pela erosão (RHEINHEIMER et al., 1998).

O acúmulo contínuo de resíduos das culturas, de adubos e de corretivos na superfície e o não revolvimento do solo, no SSD, determinam a formação de gradientes no sentido vertical e maior variabilidade no sentido horizontal, quando comparado ao sistema convencional. Segundo Souza (1992), esta variabilidade é caracterizada, também, pela correlação ou dependência espacial, resultante da manutenção das linhas de semeadura.

Contudo, a decomposição de restos vegetais libera ácidos orgânicos, os quais atuam na disponibilização de nutrientes para as culturas, na capacidade de troca catiônica e na complexação de elementos tóxicos e micronutrientes (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

Fernandez (1995) observou que, em solos mais oxidicos, com grande capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), a adição prévia de sacarose aumenta o valor do P remanescente, correspondendo a uma diminuição da CMAP.

Singh & Amberger (1998) avaliaram a presença de ácidos orgânicos na decomposição da palha de trigo no processo de compostagem e constataram que sua ocorrência resulta em alta solubilização do P insolúvel adicionado.

Cassiolato et al. (1999) avaliaram a eficiência de resíduos vegetais de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca na solubilidade e reatividade de fosfatos e na sua absorção pelas plantas. Concluíram que todos os tratamentos aumentaram a concentração de P disponível, sendo que as combinações entre resíduos e fontes de P aumentaram a extração do elemento em relação aos fosfatos aplicados isoladamente.

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 sorção e do favorecimento ao aparecimento da fração lábil do fósforo orgânico e inorgânico (DAMODAR REDDY et al., 2001).

Portanto, a liberação de ácidos orgânicos provenientes de resíduos vegetais e a sua ação na liberação de formas orgânicas de P mais estáveis às reações de adsorção podem permitir a movimentação vertical do nutriente (MUZILLI, 1983; SIDIRAS & PAVAN, 1985; CAIRES, 2000).

Segundo Pavinato et al. (2005), existe um efeito significativo na solubilização do P pela ação dos ácidos orgânicos das coberturas vegetais, pois, após a aplicação de extratos vegetais, a quantidade total de P disponível determinada era maior que a soma da quantidade de P existente mais a quantidade de P aplicada.

Sendo assim, os ácidos orgânicos podem exercer uma função importante na utilização dos nutrientes insolúveis pelas plantas, especialmente o P (KIRK et al., 2000). Sabe-se que um grande número de ácidos orgânicos tem a capacidade de solubilizar fosfatos mediante interações com cálcio, alumínio e ferro, deixando assim o íon fosfato em estado solúvel (MONTECINOS, 1997), pois a exsudação de citrato e outros ácidos orgânicos

na rizosfera radicular podem auxiliar na solubilização dos fosfatos ligados a Ca, Fe ou Al (GARDNER et al., 1983).

No solo, o P é sujeito a inúmeros processos biogeoquímicos que alteram sua disponibilidade. Entre esses processos, destaca-se a dissolução de fosfatos, que os torna disponíveis para as plantas (WHITELAW, 2000). Diversos organismos do solo, incluindo bactérias, fungos e algumas plantas, possuem capacidade para solubilizar fosfatos por meio de diferentes mecanismos (SILVA FILHO & VIDOR, 2000; WHITELAW, 2000).

Gerretsen (1948) demonstrou que algumas bactérias da rizosfera são capazes de aumentar a solubilização do fosfato de rocha, resultando em um melhor desenvolvimento das plantas. Algumas dessas bactérias podem solubilizar além dos fosfatos de cálcio, também os fosfatos de ferro, de alumínio e outros. Desse modo, elas podem contribuir para a solubilização de fósforo nos solos ácidos e de baixa fertilidade dos trópicos, onde predominam fosfatos de ferro e de alumínio (ALEXANDER, 1977; SOUZA & PEREIRA, 1991).

Ácidos carboxílicos, os quais são liberados pelas raízes de inúmeras plantas cultivadas, também podem afetar a dessorção de P no solo (GERKE et al., 1992).

#### **4.6. Adubação fosfatada na cultura da soja**

Os solos em que a soja é cultivada normalmente apresentam alta capacidade de adsorção de P e isto, aliado à alta exigência dessa cultura por esse nutriente, torna o estabelecimento de formas e fontes de adubação fundamental.

Com a finalidade de melhorar a eficiência das adubações com P, Goedert & Sousa (1986) definiram algumas estratégias, tais como minimização do poder de imobilização de P pelo solo, antes da aplicação do fosfato; utilização de plantas mais eficientes na absorção e aproveitamento de P; desenvolvimento de tecnologia que permita aproveitar melhor as fontes de P disponíveis, visando obter a máxima produção por unidade de P aplicada ao solo.

A utilização de fontes alternativas de custo mais baixo, como é o caso dos fosfatos reativos, aplicados com grande sucesso em pastagens tem sido também eficiente em culturas anuais (RAJAN et al., 1996). Esses fosfatos são rochas de origem sedimentar

marinha e apresentam alto grau de substituições isomórficas, o que confere à partícula uma microestrutura porosa com elevada área superficial específica interna, advindo daí a sua reatividade com o solo (CHIEN & HAMMOND, 1978).

Com o aumento do uso de SSD, novas técnicas de aplicação para essas fontes necessitam ser avaliadas, uma vez que a adoção desse sistema resulta em mudanças no ambiente edáfico.

A aplicação direta de fosfato natural é uma prática que vem sendo estudada como alternativa à aplicação de fosfatos solúveis no sulco de semeadura, comumente adotada. A eficiência dos fosfatos naturais reativos varia conforme a espécie cultivada em função da capacidade da planta em liberar prótons e assim acidificar sua rizosfera. Marschner (1991) encontrou valores de pH rizosférico até duas unidades inferiores ao solo não rizosférico, em plantas nutridas com N amoniacal. Essa forte acidificação é observada principalmente em plantas leguminosas e outras espécies fixadoras de N, de forma que estas espécies poderiam aumentar a dissolução de fosfatos naturais e, assim, serem utilizadas em rotação com outras que apresentam menor capacidade de acidificação (GILLESPIE & POPE, 1990).

Os fosfatos naturais são mais eficientes em leguminosas do que em cereais, e a eficiência relativa do fosfato natural é superior em vegetais com menor demanda de concentração de P na solução do solo, tais como as leguminosas, em relação aos cereais (CHIEN & MENON, 1995). Os ácidos orgânicos secretados por espécies de *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* foram os principais fatores influenciadores da dissolução do fosfato de Mussorie, por meio da complexação do cálcio proveniente da rocha fosfática, enquanto o pH teve menor importância.

A aplicação de fosfatos naturais reativos em culturas anuais pode apresentar resultados equivalentes ao do superfosfato triplo, tanto em solos com teores iniciais médios de P (CHOUDHARY et al., 1994), quanto naqueles com teores baixos (BRAGA et al., 1991; FOTYMA et al., 1996).

Neste sentido, Esteves (2004), substituindo fosfato solúvel, por exemplo o superfosfato triplo, por reativo em soja cultivada em semeadura direta em função de níveis de fósforo e modo aplicação, obteve em média, na safra (2001/2002), 2964, 3030 e 3328 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, sem a aplicação de P, com 80 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de fosfato natural Arad e

com 80 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de superfosfato triplo, respectivamente. Na safra 2002/2003, sob efeito residual da adubação fosfatada, obteve produtividade de 2912, 3095 e 3133 kg ha<sup>-1</sup>.

A soja é uma cultura anual muito exigente em todos os macronutrientes. Para que os nutrientes possam ser eficientemente aproveitados pela cultura devem estar presentes no solo em quantidades suficientes e em relações equilibradas (SFREDO et al., 1986).

Os insumos representam a maior parcela no custo de produção da soja e, dentre eles, o mais oneroso é o fertilizante. Dos custos operacionais diretos, incluindo insumos, só o item fertilizante pode chegar a 40 %, dependendo do sistema de produção utilizado (ROESSING et al., 1981). Sfredo et al. (1981) dizem que os fertilizantes correspondem a 25 % dos custos totais da cultura da soja. Entre esses fertilizantes, o que entra em maior quantidade é o fosfatado, pois os solos são normalmente deficientes em P e bem supridos em K.

Assim, é necessário buscar maior eficiência no aproveitamento das fontes de fosfatos, por exemplo, quando da utilização de fontes solúveis, especificamente o superfosfato triplo que possui residual ácido, quando na presença de água promove uma redução do pH. Portanto, a mistura com fosfatos naturais poderá neutralizar parte dessa acidez e solubilizar parte do fosfato natural. Aliado a isso, o uso da semeadura direta com sistema de rotação de culturas com sistema radicular distinto, promovendo um grande aporte de resíduos vegetais no solo, que, através de sua decomposição, liberam nutrientes e substâncias químicas que auxiliam na solubilização de fosfatos poderá viabilizar a aplicação de fosfatos menos solúveis em superfície.

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1. Localização e histórico da área experimental

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental Lageado (FCA/UNESP), na cidade de Botucatu, Estado de São Paulo, localizada à latitude de 22°51' S, longitude de 48°26' W Grw e altitude de 840 m.

A área vinha sendo cultivada em sistema de semeadura direta (SSD) há cinco anos, em sistema de rotação de culturas (Quadro 1). A partir da safra 2000/2001, a área recebeu os tratamentos com doses de P em parcelas (0 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total de fosfato solúvel; 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total de fosfato natural) e em subparcelas as combinações de fontes de fosfato solúvel e fosfato natural aplicados na linha de distribuição das sementes, totalizando 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> constando da mistura de: 0% de fosfato solúvel (SFT) e 100% de fosfato natural (FNA); 20% de SFT e 80% de FNA; 40% de SFT e 60% de FNA; 60% de SFT e 40% de FNA; 80% de SFT e 20% de FNA e 100% de SFT e 0% de FNA.

**Quadro 1.** Sistema de rotação de culturas implantado na área experimental.

| Estação do ano        | Safra     |             |           |             |           |            |
|-----------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|------------|
|                       | 01/02     | 02/03       | 03/04     | 04/05       | 05/06     | 06/07      |
| <b>Outono-inverno</b> | triticale | aveia preta | triticale | aveia preta | triticale | braquiária |
| <b>Primavera</b>      | milheto   | milheto     | milheto   | milheto     | milheto   | braquiária |
| <b>Verão</b>          | soja      | soja        | soja      | soja        | soja      | soja       |

## 5.2. Características edáficas da área experimental

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-distroférico (EMBRAPA, 1999), de textura média, com relevo plano a suave ondulado e com boa drenagem.

No quadro 2, encontram-se as características químicas e granulométricas do solo na área experimental. Os procedimentos de coleta e as determinações de laboratório seguiram as metodologias propostas por Raij et al. (2001) e EMBRAPA (1997).

A área experimental foi objeto de estudo de uma tese (ESTEVES, 2004) e uma dissertação (OLIBONE, 2005) onde proporções de fontes de fósforo foram aplicadas a lanço, sendo assim, amostras de terra foram coletadas para avaliar o efeito dos tratamentos empregados nos dois estudos citados acima. Não foram observadas diferenças significativas na produtividade das culturas ou nos teores de P em função das proporções de fontes de P nas subparcelas (ESTEVES, 2004; OLIBONE, 2005).

**Quadro 2.** Valores das médias gerais das características químicas e granulométricas do solo da área experimental por ocasião da instalação dos tratamentos (Março/2006).

| Características químicas        |                                |                    |                                               |         |    |      |      |     |    |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------|---------|----|------|------|-----|----|
| Profundidade                    | pH                             | M.O.               | H+Al                                          | K       | Ca | Mg   | SB   | CTC | V  |
| (cm)                            | CaCl <sub>2</sub> (0,01 mol/L) | g dm <sup>-3</sup> | -----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |         |    |      |      |     | %  |
| 0-5                             | 5,2                            | 21                 | 27                                            | 3,1     | 21 | 13,0 | 37,1 | 64  | 58 |
| 5-10                            | 5,1                            | 18                 | 28                                            | 0,8     | 17 | 11,0 | 28,8 | 57  | 51 |
| 10-20                           | 4,6                            | 19                 | 34                                            | 0,4     | 8  | 5,8  | 14,2 | 48  | 29 |
| 20-40                           | 4,0                            | 18                 | 45                                            | 1,2     | 5  | 2,6  | 8,8  | 54  | 16 |
| Características granulométricas |                                |                    |                                               |         |    |      |      |     |    |
| Profundidade                    | Areia                          | Argila             | Silte                                         | Textura |    |      |      |     |    |
| cm                              | -----g kg <sup>-1</sup> -----  |                    |                                               |         |    |      |      |     |    |
| 0-5                             | 670                            | 210                | 20                                            | Média   |    |      |      |     |    |
| 5-10                            | 670                            | 220                | 10                                            | Média   |    |      |      |     |    |
| 10-20                           | 670                            | 220                | 10                                            | Média   |    |      |      |     |    |
| 20-40                           | 630                            | 250                | 20                                            | Média   |    |      |      |     |    |

A comparação das médias dos teores de fósforo por tratamentos, feita em Março/2006 indica não haver diferença significativa entre os tratamentos (Quadro 3).

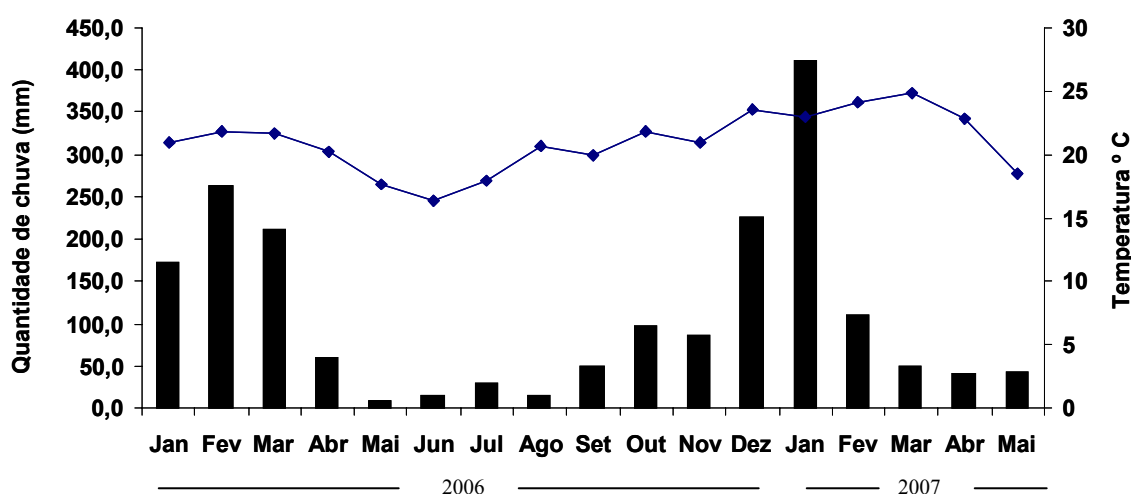
**Quadro 3.** Teor médio de fósforo na camada de 0-20 cm em cada tratamento. Amostragem realizada em Março/2006.

| Tratamentos | 0FS/100FN                      | 20FS/80FN | 40FS/60FN | 60FS/40FN | 80FS/20FN | 100FS/0FN |
|-------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|             | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |           |           |           |           |           |
| Médias      | 9,87                           | 10,22     | 8,54      | 8,29      | 11,12     | 10,3      |

### 5.3. Características climáticas da área experimental

O clima de Botucatu, baseado no sistema de classificação de Wilhelm Köppen, foi incluído no tipo Cwa. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18,0°C, e a do mês mais quente é superior a 24,1°C, com precipitação pluvial mínima mensal superior a 37,7 mm e média anual de 1358,6 mm.

Os dados climáticos da região foram obtidos junto a Estação Meteorológica da Faculdade de Ciências Agronômicas e estes se referem ao período de condução do experimento (Jan/2006 a Maio/2007).



**Figura 1.** Precipitação e temperatura média mensal referente ao período do experimento (Jan/2006 a Maio/2007).

#### 5.4. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental para os tratamentos iniciais, fontes de P e braquiária, foi em Blocos Casualizados, com 4 repetições. Os tratamentos foram aplicados em parcelas de 240 m<sup>2</sup> (30 x 8m), separadas por 9 m, e com uma área útil de 196 m<sup>2</sup> (28 x 7m).

O delineamento experimental para a soja cultivada sobre os tratamentos iniciais foi em Blocos Casualizados com os tratamentos no esquema fatorial em parcelas subdivididas, sendo fósforo aplicado a lanço (Ausência, Fosfato Natural e Fosfato Solúvel), presença ou não de braquiária (com;sem) e três doses de fósforo na semeadura da soja, com 4 repetições. Os tratamentos foram aplicados em parcelas de 40 m<sup>2</sup> (5 x 8m), separadas por 9 m, e com uma área útil de 18 m<sup>2</sup> (3 x 6m).

Em março de 2006, aplicaram-se 3 tratamentos constituindo as parcelas. Deste modo, a disposição dos tratamentos foi a seguinte:

- a) sem aplicação de fósforo;
- b) 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total de fosfato natural (Fosfato natural Arad-FNA);
- c) 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total de fosfato solúvel (Superfosfato triplo-SFT).

A aplicação do P de ambas as fontes foi a lanço em superfície, antes da semeadura da braquiária (*Brachiaria ruziziensis*).

No mês de Abril de 2006, foram instalados os tratamentos em subparcelas com as combinações de ausência e presença de braquiária. No mês de dezembro, foi semeada a soja e aplicadas três doses de P (0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total de fosfato solúvel - Superfosfato triplo-SFT), na linha de distribuição das sementes.

**Quadro 4.** Características químicas e constituição física dos insumos utilizados nos tratamentos.

| Produtos | Características                          |    |   |                     |
|----------|------------------------------------------|----|---|---------------------|
|          | P Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | Ca | S | Constituição física |
|          | -----%                                   |    |   |                     |
| SFT      | 41                                       | 13 | 1 | Pó                  |
| FNA      | 32                                       | 37 | 1 | Pó                  |

**Quadro 5.** Ausência e presença de braquiária e suas combinações com as respectivas doses de  $P_2O_5$  na semeadura da soja e o  $P_2O_5$  total para tratamentos em parcelas e subparcelas.

| TRATAMENTOS PARCELAS    |                                                                           |                                                                                            |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | Dose<br>-----kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total----- | Fonte                                                                                      |
| 1                       | 00                                                                        | -                                                                                          |
| 2                       | 80                                                                        | Fosfato Natural Arad (FNA)                                                                 |
| 3                       | 80                                                                        | Superfosfato Triplo (SFT)                                                                  |
| TRATAMENTOS SUBPARCELAS |                                                                           |                                                                                            |
|                         | Braquiária                                                                | Adubação de semeadura<br>-----kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total----- |
| 1                       | Presença                                                                  | 0                                                                                          |
| 2                       | Presença                                                                  | 30                                                                                         |
| 3                       | Presença                                                                  | 60                                                                                         |
| 4                       | Ausencia                                                                  | 0                                                                                          |
| 5                       | Ausencia                                                                  | 30                                                                                         |
| 6                       | Ausencia                                                                  | 60                                                                                         |

## 5.5. Instalação e condução do experimento

### 5.5.1. Semeadura e cultivo da braquiária

Em 12/04/06, foi semeada a braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) em semeadura direta em metade das subparcelas, sem a adição de fertilizantes. Para a semeadura da braquiária, foi utilizada uma semeadora-adubadora de fluxo contínuo desenvolvida para semeadura direta, de arrasto, com 16 linhas espaçadas a 0,17 m, equipadas com discos de corte de 16" de diâmetro, com discos duplos concêntricos sulcadores de 13" para adubo e sementes.

Na semeadura da braquiária utilizou-se o equivalente a 30 kg ha<sup>-1</sup> de sementes (Valor Cultural = 32%).

Nas parcelas onde a gramínea não foi semeada, foram realizadas 2 aplicações de glifosato (14/06/2006; 9/10/2006) para evitar o aparecimento de plantas infestantes. Nas parcelas, onde foi semeada a braquiária, o controle químico das plantas infestantes foi realizado em junho de 2006 (14/06/2006) e o herbicida utilizado foi o 2,4-D na dose de  $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ , para o controle das plantas daninhas de folhas largas. As aplicações para o controle de plantas daninhas foram realizadas com auxílio de um pulverizador costal de pressão constante ( $\text{CO}_2$ ) equipado com barra de 4 pontas, com especificação AXI 11002.

No dia 21/11/2006; efetuou-se a dessecação da área com glifosato na dose de  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  nas parcelas experimentais; a dessecação foi realizada com um pulverizador com barra de pulverização equipada com 24 bicos AXI 11002, com pressão de trabalho de 50 psi e a vazão de  $220 \text{ L ha}^{-1}$ .

#### **5.5.2. Semeadura e cultivo da soja (Verão-2006/2007)**

No dia 01/12/2006, semeou-se a soja cultivar BRS 184, utilizando-se uma semeadora de arrasto, com 6 linhas espaçadas a 0,45 m, equipada com discos de corte de 16" de diâmetro, com discos duplos concêntricos sulcadores de 13" para adubo e sementes. As sementes foram depositadas entre 3 a 4 cm de profundidade, e o adubo depositado logo abaixo, entre 5 a 6 cm de profundidade.

Utilizou-se uma densidade de semeadura de, aproximadamente, 18 sementes  $\text{m}^{-1}$  (Germinação = 91%). Junto à semeadura, foram aplicadas as doses de P na linha de semeadura e  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (via KCl). As sementes de soja foram tratadas com os fungicidas carboxin e thiram ( $0,5 \text{ L } 100 \text{ kg de semente}^{-1}$  do produto comercial), o inseticida thiametoxan ( $0,3 \text{ kg } 100 \text{ kg de semente}^{-1}$  do produto comercial) e com inoculante (Biomax, Bio Soja).

Aos 35 Dias Após a Emergência (DAE), em 10/01/2007, para controle das plantas daninhas dicotiledôneas, fez-se uma aplicação do herbicida pós-emergente inicial seletivo de ação não sistêmica bentazona ( $1,6 \text{ L ha}^{-1}$  do produto comercial). E para o controle de plantas daninhas monocotiledôneas, utilizou-se o graminicida seletivo de ação não sistêmica setoxidim ( $1,50 \text{ L ha}^{-1}$  do produto comercial).

Aos 60 DAE, no dia 07/02/2007, foram feitas duas pulverizações, sendo uma com o inseticida metamidofós ( $1,5 \text{ L ha}^{-1}$  do produto comercial), e outra com o

fungicida epoxiconazol + piraclostrobina ( $0,5 \text{ L ha}^{-1}$  do produto comercial). Aos 90 DAE, no dia 07/03/2007, aplicou-se inseticida espinosade ( $0,05 \text{ L ha}^{-1}$  do produto comercial) e fungicida tebuconazole ( $1,2 \text{ L ha}^{-1}$  do produto comercial).

Aos 128 DAE da soja, em 13/04/2007, fez-se a dessecação química das plantas de soja com o herbicida pós-emergente não seletivo Glifosato (dose de  $3,0 \text{ kg ha}^{-1}$  do produto comercial), e no dia 18/04/2007 efetuou-se a colheita com uma colhedora de parcelas automotriz da marca Wintersteiger SeedMech, modelo Nursery Master Elite .

## **5.6. Coleta e preparo das amostras**

### **5.6.1. Amostras de solo**

Com relação à variabilidade vertical de P, foram realizadas amostragens com trado tipo holandês após a dessecação da braquiária (29/11/2006), sendo coletadas amostras de solo de cada subparcela, em cinco profundidades (0-5; 5-10; 10-20; 20-40 e 40-60cm). Realizaram-se 6 amostragens simples para cada tratamento, constituindo-se assim uma amostra composta para cada uma das quatro profundidades. Essas amostras foram colocadas em sacos plásticos e secas ao ar. Após secagem, foram moídas em moinho elétrico desenvolvido para destorroar o solo. Em seguida, o solo foi peneirado (malha de 2 mm) para posterior análise química.

### **5.6.2. Amostras de tecido vegetal**

#### **5.6.2.1. Braquiária**

Para as avaliações da produção de matéria seca, foram coletadas aleatoriamente 6 amostras por parcela, utilizando-se um quadro de madeira com  $0,25 \text{ m}^2$  ( $0,5 \times 0,5 \text{ m}$ ). O material vegetal, após manipulação para coleta de dados e tomadas subamostras de 300 g para a realização de análise, foi restituído ao seu local de origem. O material coletado foi seco em estufa de ventilação forçada à temperatura de  $65^\circ \text{ C}$  por 72 horas, efetuando-se posteriormente a pesagem das amostras. Em seguida, as amostras foram moídas, passando por

peneiras de 1 mm de malha, acondicionadas em sacos de papel, armazenadas em local apropriado, para realização da análise química.

#### **5.6.2.2. Soja**

Para a diagnose foliar da soja, foram coletadas 30 folhas, aleatoriamente, em cada unidade experimental, aos 50 DAE da soja, na fase R<sub>2</sub> (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 aeração forçada a 60°C por 48h, e moídas para posterior análise química.

#### **5.6.2.3. Grãos de soja**

Depois da dessecação química da soja e da vegetação remanescente, colheram-se três linhas de 8 m de comprimento (10,80 m<sup>2</sup>) de cada parcela experimental com uma colhedora de parcelas automotriz. Após a colheita mecânica, determinaram-se as massas das amostras de grãos com balança eletrônica de precisão (0,01g) e, em seguida, amostras de grãos foram colocadas em estufa de aeração forçada a 105°C para correção da produtividade considerando o teor de 13% de água. Após estas determinações, retiraram-se alíquotas das amostras para a determinação da exportação de fósforo pelos grãos de soja. Amostras foram secas em estufa de aeração forçada (60°C), até atingirem massa constante, e foram moídas em moinhos de planta elétricos tipo “Willey”. Depois de moídas (malha de 1 mm), as amostras foram acondicionadas em sacos de papel para serem analisadas.

### **5.7. Determinação dos teores de macronutrientes no tecido vegetal**

O tecido vegetal da parte aérea da braquiária foi analisado os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). As folhas e os grãos de soja foram determinados os teores de P, de acordo com Malavolta et al. (1997).

## **5.8. Determinações químicas nas amostras do solo**

### **5.8.1. Acidez do solo e matéria orgânica**

Para a determinação da acidez do solo e do teor de matéria orgânica do solo, foi utilizada a metodologia proposta por Raij et al. (2001).

### **5.8.2. Fracionamento do fósforo**

O fracionamento do fósforo inorgânico tem como princípio a determinação de formas de fósforo ligadas ao solo, através de sucessivas extrações, formas estas como o P-solúvel, P-Al, P-Fe, P-Ca e o P-ocluído na forma de fosfato de ferro e alumínio. A metodologia adotada foi a de Hedley et al. (1982) com algumas modificações propostas por Condron et al. (1985).

Cross & Schlesinger (1995) agruparam as suposições de vários autores sobre quais formas de fósforo são extraídas na sequência do fracionamento proposto por Hedley. De forma geral, assume-se que a resina trocadora de ânions em lâmina (RTA) extrai formas lábeis de Pi. O  $\text{NaHCO}_3$  0,5 mol  $\text{L}^{-1}$  extrai formas lábeis de Pi e Po. Ao  $\text{NaOH}$  0,1 mol  $\text{L}^{-1}$  extrai formas de P ligados a óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), caracterizado como formas moderadamente lábeis. Também, com o  $\text{NaOH}$  0,1 mol  $\text{L}^{-1}$  é extraído o Po moderadamente lábil. O extrator  $\text{HCl}$  1,0 mol  $\text{L}^{-1}$  extrai formas de P ligadas ao cálcio (Ca) e fortemente adsorvidos. O último extrator utilizado, o  $\text{NaOH}$  0,5 mol  $\text{L}^{-1}$ , em substituição a ultrasonificação do método original, extrai formas de fósforo orgânico e inorgânico química e fisicamente protegidos nas superfícies internas dos microagregados do solo. As digestões do solo com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  são utilizadas para a determinação do fósforo residual e total inorgânico. O fósforo total orgânico é obtido através da diferença entre o solo ignificado e não ignificado.

Todas as análises do fracionamento foram realizadas em triplicata, sendo este procedimento adotado para maior confiabilidade dos dados obtidos

### **5.9. Análises estatísticas**

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de médias LSD a 5% de probabilidade (FERREIRA, 2000).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Cultura da braquiária

Não houve diferença entre as doses e fontes de P para a produtividade de matéria seca da braquiária (Quadro 6).

A ausência do efeito de fontes de P no cultivo da braquiária é semelhante aos dados obtidos por Horowitz & Meurer (2004), que não observaram diferenças quando compararam fontes naturais e solúveis de fosfato em gramíneas do gênero *Brachiaria*. No entanto, Rodrigues (2006), em experimento conduzido em vaso, avaliando fontes de P aplicadas a lanço em braquiária brizantha, milheto e sorgo forrageiro, observou que a aplicação de FNA reduziu a massa de matéria seca da parte aérea e, para a braquiária reduziu também a massa de matéria seca do sistema radicular.

A ausência de efeito do P no presente experimento pode ser atribuída aos níveis iniciais encontrados na área experimental,  $9,7 \text{ mg dm}^{-3}$  em média.

**Quadro 6.** Valores médios de produtividade de matéria seca de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) antes da dessecação, Novembro/2006.

| <b>Tratamentos</b>                      | <b>Matéria seca</b>       |
|-----------------------------------------|---------------------------|
| <b>Kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> | <b>Kg ha<sup>-1</sup></b> |
| <b>0</b>                                | 4518                      |
| <b>80 Fosfato Natural de Arad</b>       | 4568                      |
| <b>80 Superfosfato Triplo</b>           | 4846                      |
| <b>Média</b>                            | 4644                      |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b>               | 604,5 <sup>ns</sup>       |
| <b>C.V (%)</b>                          | 15,37                     |

<sup>(1)</sup> \*Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD);

<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F

Todavia, não se constatou diferença significativa no teor de P na matéria seca de braquiária, corroborando os dados obtidos por Olibone (2005) que também não observou diferenças nos teores de P na matéria seca e grãos de triticle (Quadro 7).

Resultados semelhantes também foram obtidos por Rodrigues (2006) onde não houve efeito significativo nos teores de P entre os tratamentos com FNA e SFT na matéria seca de braquiária.

Assim, reafirma-se o relato de Garcia et al. (2004), que plantas do gênero *Brachiaria* possuem boa adaptação a solos de baixa fertilidade natural e podem ser ótima opção para a produção de palhada em SSD, com a utilização de fontes P de menor custo.

Em relação ao teor de P na matéria seca de plantas de braquiária, os teores de P encontrados estão acima da faixa de suficiência, que para as gramíneas variam, em geral, entre 0,8 a 1,2 g kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA et al., 1997).

**Quadro 7.** Teor médio de fósforo na matéria seca de plantas de braquiária antes da dessecação, Novembro/2006.

| <b>Tratamentos</b>                      | <b>Teor de fósforo</b>   |
|-----------------------------------------|--------------------------|
| <b>Kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> | <b>g kg<sup>-1</sup></b> |
| <b>0</b>                                | 2,0                      |
| <b>80 Fosfato Natural de Arad</b>       | 2,1                      |
| <b>80 Superfosfato Triplo</b>           | 2,1                      |
| <b>Média</b>                            | 2,10                     |
| <b>DMS*</b>                             | 0,20 <sup>ns</sup>       |
| <b>C.V (%)</b>                          | 11,5                     |

<sup>(1)</sup> \*Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD);

<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F

Considerando a quantidade de P na matéria seca da braquiária, pode-se observar que não houve redução significativa quando o adubo fosfatado não foi utilizado e que os teores observados para os tratamentos com FNA e STF são iguais.

Não foram observadas diferenças para os teores médios de N, K, Ca e Mg no tecido vegetal de braquiária para os tratamentos avaliados e suas interações (Quadro 8). Independente dos tratamentos aplicados, os teores de N, K, Ca e Mg são considerados adequados por Malavolta et al. (1997).

**Quadro 8.** Teor médio de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio na matéria seca de plantas de braquiária antes da dessecação, Novembro/2006.

| Tratamentos                                                   | Teores                        |                   |                   |                   |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                                               | Nitrogênio                    | Potássio          | Cálcio            | Magnésio          |
| Fósforo Inicial                                               | -----g kg <sup>-1</sup> ----- |                   |                   |                   |
| 0 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>        | 12,7                          | 19,4              | 6,2               | 4,0               |
| 80 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (FNA) | 12,8                          | 16,8              | 6,3               | 4,4               |
| 80 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (SFT) | 12,8                          | 17,7              | 6,5               | 4,5               |
| <b>Média</b>                                                  | 12,7                          | 18,0              | 6,3               | 4,3               |
| <b>DMS*</b>                                                   | 0,9 <sup>ns</sup>             | 3,3 <sup>ns</sup> | 3,3 <sup>ns</sup> | 0,8 <sup>ns</sup> |
| <b>C.V (%)</b>                                                | 8,9                           | 22,0              | 12,8              | 22,8              |

<sup>(1)</sup> \*Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD);

<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F

## 6.2. Cultura da soja

Embora, em média, o P aplicado a lanço tenha influenciado a produção de soja, esse efeito foi dependente da aplicação de P na semeadura e da presença de braquiária (Quadro 9). Desta forma, a soja produziu mais quando havia P aplicado a lanço, mas a resposta somente foi significativa na presença da braquiária, demonstrando que a gramínea, provavelmente, consumiu P do solo que faltou para a soja em seguida no tratamento sem P a lanço (Figura 2). Vários autores relatam que o principal efeito benéfico do cultivo de gramíneas antes de leguminosas é a melhora de características químicas e físicas do solo, devido ao crescimento vigoroso do sistema radicular dessas gramíneas (BROCH, 1997; PITOL et al., 2001; KLUTHCOUSKI & STONE, 2003). No presente trabalho fica demonstrado que, pelo menos para o P, isso não ocorre.

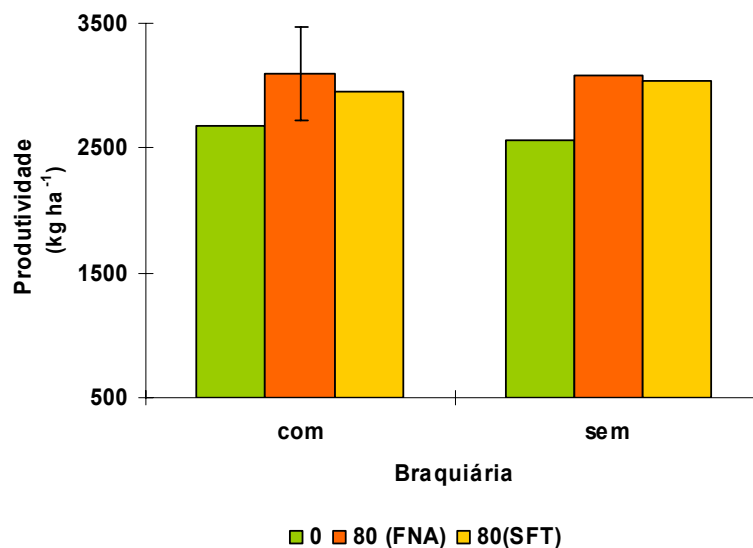
**Quadro 9.** Diferença mínima significativa para a variável produtividade da soja na safra 06/07 e teor de fósforo no tecido vegetal aos 50 DAE.

| Tratamentos             | Produtividade        | Teor de Fósforo    |                    |
|-------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
|                         | Kg ha <sup>-1</sup>  | g kg <sup>-1</sup> |                    |
|                         |                      | Folhas de soja     | Grãos de soja      |
| DMS <sup>(1)</sup>      |                      |                    |                    |
| Fósforo Inicial (PI)    | 368,02 *             | 0,20 *             | 0,35 <sup>ns</sup> |
| Braquiária (B)          | 210,05 <sup>ns</sup> | 0,14 *             | 0,21 <sup>ns</sup> |
| Fósforo no Plantio (PP) | 257,26 <sup>ns</sup> | 0,17 <sup>ns</sup> | 0,13 <sup>ns</sup> |
| PI x B                  | 363,82 <sup>ns</sup> | 0,25 <sup>ns</sup> | 0,47 <sup>ns</sup> |
| PI x PP                 | 445,81 *             | 0,30 <sup>ns</sup> | 0,32 <sup>ns</sup> |
| B x PP                  | 363,82 *             | 0,24 <sup>ns</sup> | 0,28 <sup>ns</sup> |
| CV (%)                  |                      |                    |                    |
| Fósforo Inicial         | 17,95                | 13,62              | 9,39               |
| Braquiária              | 15,25                | 14,40              | 17,45              |

<sup>(1)</sup>\*Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD);

<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F

Motomiya et al., (2003) também não observaram diferença na produtividade de soja quando comparado o fosfato reativo (Gafsa) e o superfosfato triplo. O mesmos autores explicam que os bons resultados obtidos com a aplicação de fosfato reativo (Gafsa) na superfície do solo se deve ao fato de que, apesar de proporcionar menor contato do fosfato reativo com as frações do solo, se comparado à sua incorporação, esse contato é maior do que o obtido com sua aplicação no sulco de semeadura (SWART et al., 1987; RAJAN et al., 1996; CHOUDHARY et al., 1996). Braga et al. (1991) observaram que o fosfato natural incorporado e moído (até que 85 % de suas partículas fossem menores que 0,074 mm) apresentou resultados próximos ao superfosfato triplo granulado aplicado a lanço, mesmo nos primeiros cultivos. No entanto, Chien & Menon (1995) não encontraram resultados semelhantes. Em pesquisa conduzida em casa de vegetação com dois cultivos consecutivos de milho até 21 dias cada, utilizando um Latossolo Vermelho distrófico típico, corrigido para pH 5,5, Horowitz & Meurer (2003) constataram que, no primeiro cultivo de milho, o fosfato natural de Gafsa finamente moído (< 0,074 mm) apresentou maior índice de eficiência agrônômica em relação mesmo fosfato na forma farelada.

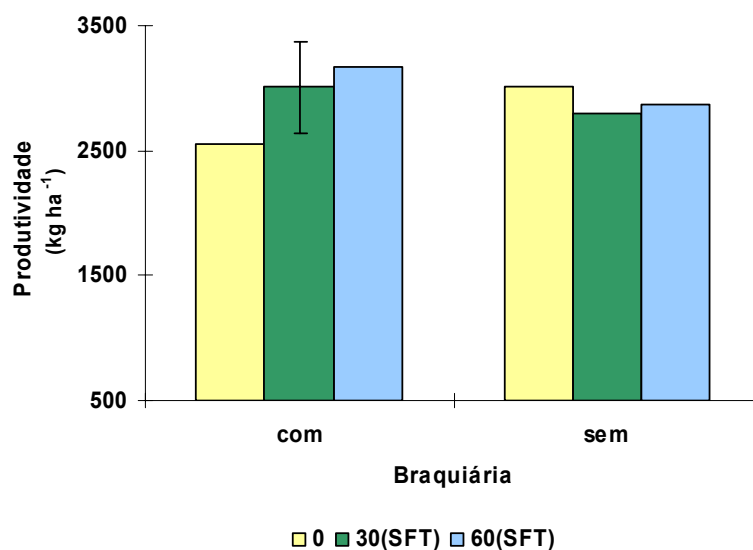


**Figura 2.** Valores médios de produtividade da soja na interação braquiária (presença; ausência) e fontes de fósforo (solúvel e reativo). Barra na vertical = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

O efeito semelhante entre as fontes também pode ser devido ao fato de que a soja é um grande dreno de Ca, o que possivelmente favorece a dissolução do fosfato natural (NOVAIS & SMYTH, 1999). Espécies com sistema radicular desenvolvido, com alta demanda de Ca e com habilidade de complexar este nutriente, devido à abundância em suas raízes de agentes complexantes como citratos e oxalatos, podem ter alta eficiência de absorção de P dos fosfatos naturais, pois estas características auxiliam na dissolução (MARWAHA, 1989).

Na figura 3, observa-se que a presença da braquiária promoveu a redução na produtividade quando não houve a adição de fertilizante fosfatado no sulco de semeadura. No entanto, Rodrigues (2006) havia observado um acréscimo na produtividade da soja cultivada após braquiária, milho e sorgo. A redução na produtividade da soja nesse tratamento pode ser explicada pela imobilização do P na palhada da gramínea. Moraes (2001) relata que a taxa de mineralização de algumas gramíneas, como por exemplo o sorgo e o milho, são de 93% e 83%, respectivamente. A completa liberação do nutriente presente na palha ocorre 168 dias após o início da decomposição, sendo necessários 182 a 183 dias para completa decomposição e posterior mineralização do P. Kluthcouski et al. (2003) relatam que

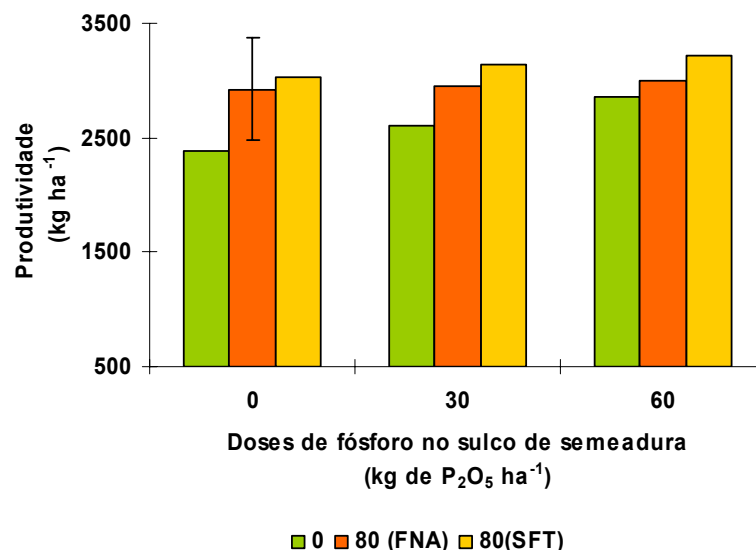
a palhada de plantas do gênero *Brachiaria* apresenta alta longevidade, ou seja, uma baixa taxa de decomposição e conseqüentemente uma lenta liberação do P. A soja foi cultivada por 128 DAE; com isso, o período total de cultivo não foi suficiente para a completa mineralização do P acumulado na palhada da braquiária. Esse efeito não é mais observado quando ocorre a adição de fertilizante fosfatado no sulco de plantio.



**Figura 3.** Valores médios de produtividade da soja na interação braquiária (presença; ausência) 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> de SFT). Barra na vertical = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

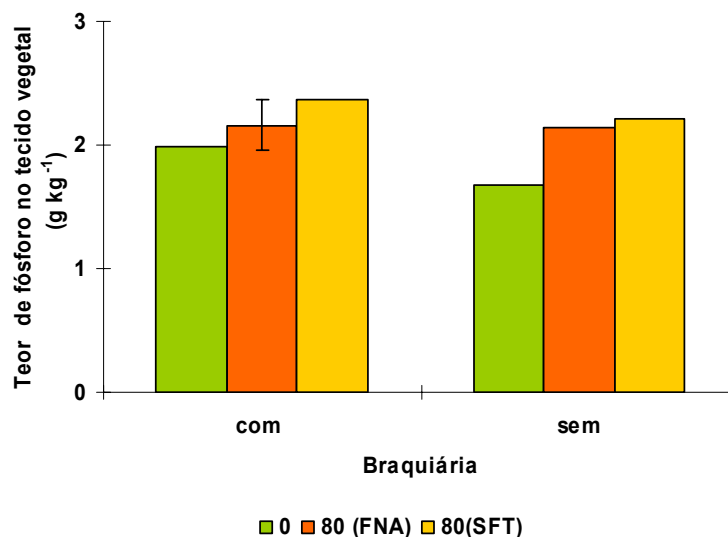
Na ausência de fósforo no sulco de semeadura, houve diferença significativa na produtividade da soja (Figura 4). Após a aplicação de uma forma de fertilizante fosfatado, seja ele a lanço ou no sulco de semeadura, a diferença entre as produtividades não é mais significativa. Esse fato demonstra o efeito residual dos adubos fosfatados aplicados à lanço antes da semeadura da braquiária, independentemente da fonte empregada. Com a utilização das doses de fósforo no sulco de semeadura, as diferenças entre os tratamentos diminuem conforme a dose de fósforo no sulco de plantio aumenta.

Analisando os fatos apresentados sobre as influências das fontes de fósforo a lanço, a presença e ausência da braquiária e as doses de fósforo no sulco de semeadura, pode-se inferir que em SSD direto para a cultura da soja, a fosfatagem não trouxe tantos benefícios, pois a maior dose de P no sulco de semeadura eliminou as diferenças que existiam entre os tratamentos realizados com as fontes de P e a utilização ou não da fosfatagem inicial a lanço.

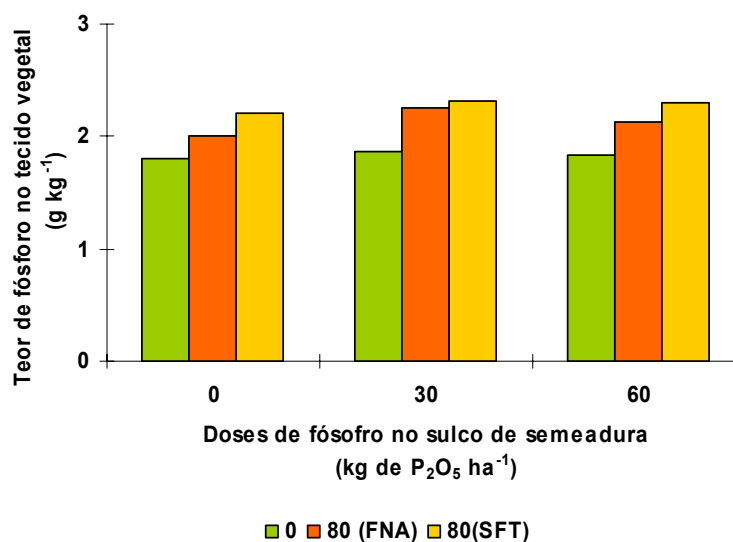


**Figura 4.** Valores médios de produtividade da soja na interação fontes de fósforo (solúvel e reativo) e doses de fósforo no sulco de semeadura da soja (0;30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de SFT). Barra na vertical = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Outro fato que pode ser colocado é que sobre a palhada de gramíneas em sistema de semeadura direta a adubação fosfatada no sulco de semeadura é imprescindível, pois a mineralização do fósforo presente no tecido vegetal da cobertura não é imediata. Da mesma forma que observado na produtividade da soja (Figura 2), os teores de P no tecido foram maiores com a aplicação de P a lanço, mas a diferença só foi significativa na presença da gramínea (Figura 5). O valor observado na ausência da adubação fosfatada e sem o cultivo da gramínea está abaixo do valor adequado proposto por Malavolta (1997), que são valores entre 2,0 e 5,0 g kg<sup>-1</sup>, em média.

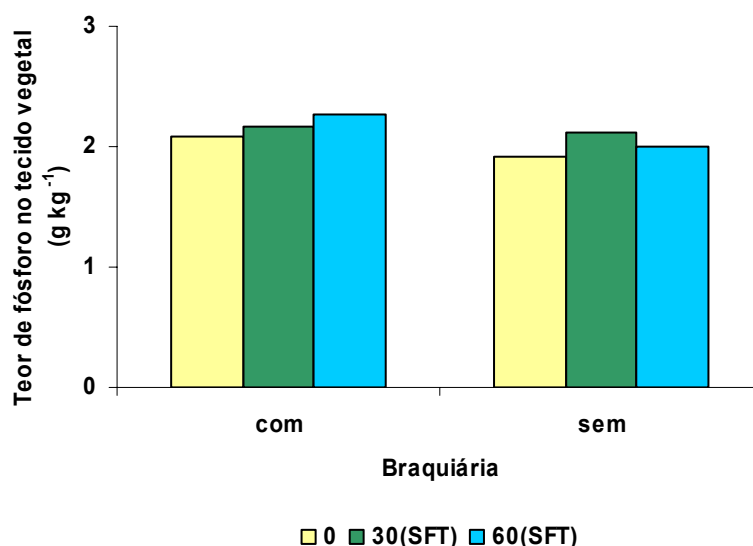


**Figura 5.** Valores médios de teor de fósforo na soja aos 50 DAE na interação fontes de fósforo (solúvel e reativo) e braquiária (presença; ausência). Barra na vertical = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).



**Figura 6.** Valores médios de teor de fósforo na soja aos 50 DAE na interação fontes de fósforo (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> de SFT). Barra na vertical = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

As doses de P no sulco de semeadura e a braquiária não influenciaram os teores de P no tecido. (Figura 6 e 7).



**Figura 7.** Valores médios de teor de fósforo na soja aos 50 DAE na interação 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> de SFT) e braquiária (presença; ausência). Barra na vertical = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

### 6.3. Fertilidade do solo

#### 6.3.1. Acidez do solo

Os sistemas conservacionistas, SSD e o cultivo mínimo, quando associados à rotação de culturas anuais, alteram as propriedades químicas do solo (FONTANA et al., 2006), aumentando os teores de matéria orgânica (PAIVA., 1997), variando o pH do solo, a capacidade de troca catiônica (SOUZA & ALVES, 2003), bem como bases trocáveis e o P disponível (SELLES et al., 1997), além da diminuição do alumínio tóxico. No entanto, no presente trabalho, não foram observadas alterações nos valores de pH em função das fontes de P e da braquiária (Quadro 10). Entretanto, que os valores de pH foram maiores na superfície (Figura 8). Tal situação pode ser explicada, em parte, pelo não incremento significativo de

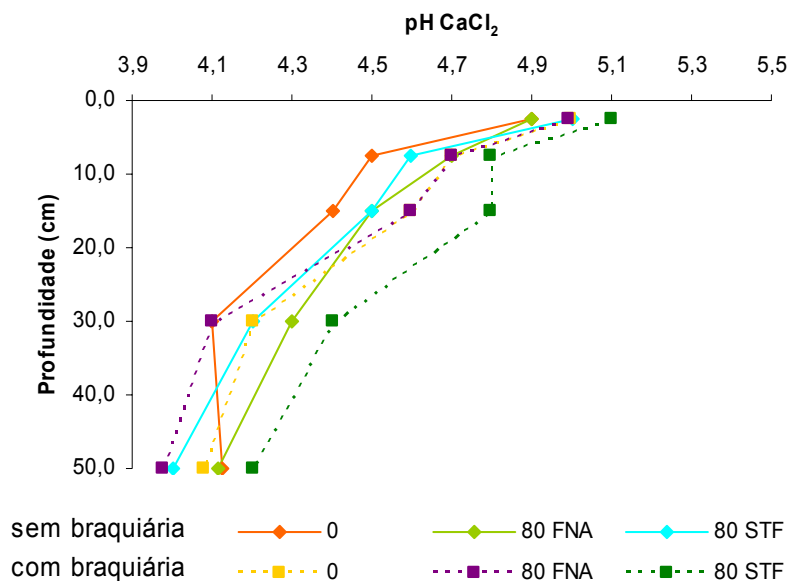
matéria orgânica em profundidade (Quadro 11), o que poderia reduzir a acidez, visto que o sistema não recebe calagem desde sua implantação (safra 1998/1999).

**Quadro 10.** Diferença mínima significativa para a variável pH em  $\text{CaCl}_2$  nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006.

| Tratamentos               | pH ( $\text{CaCl}_2$ ) |                    |                    |                    |                    |
|---------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                           | 0 a 5 cm               | 5 a 10 cm          | 10 a 20 cm         | 20 a 40 cm         | 40 a 60 cm         |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b> |                        |                    |                    |                    |                    |
| Fósforo Inicial (PI)      | 0,19 <sup>ns</sup>     | 0,19 <sup>ns</sup> | 0,33 <sup>ns</sup> | 0,14 <sup>ns</sup> | 0,11 <sup>ns</sup> |
| Braquiária (B)            | 0,23 <sup>ns</sup>     | 0,10 <sup>ns</sup> | 0,18 <sup>ns</sup> | 0,19 <sup>ns</sup> | 0,12 <sup>ns</sup> |
| PI x B                    | 0,21 <sup>ns</sup>     | 0,32 <sup>ns</sup> | 0,36 <sup>ns</sup> | 0,31 <sup>ns</sup> | 0,21 <sup>ns</sup> |
| <b>CV (%)</b>             |                        |                    |                    |                    |                    |
| Fósforo Inicial           | 5,90                   | 8,28               | 12,13              | 6,40               | 5,44               |
| Braquiária                | 6,48                   | 7,02               | 11,04              | 8,15               | 5,21               |

<sup>(1)</sup>\*Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD)

<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F



**Figura 8.** Valores médios de pH em  $\text{CaCl}_2$  nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência).

Apesar da ausência de efeito dos tratamentos nos valores de pH nas profundidades estudadas, sabe-se que a distribuição das formas de P depende de várias propriedades do solo, entre as quais se destaca o pH.

A reação de fertilizantes fosfatados com os constituintes do solo e a formação de fósforo não-lábil dependem da disponibilidade desses constituintes e, por sua vez, do valor de pH do solo. Além de influenciar diretamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas, o pH da solução do solo indica possíveis formas de fosfatos presentes no solo, ou seja, em pH ácido predomina o fosfato de alumínio, em pH intermediário predomina o fosfato de ferro e em pH próximo a neutralidade predomina os fosfatos de cálcio originando compostos pouco solúveis (LINDSAY et al., 1989; JAYACHANDRAN et al., 1989).

No presente experimento, espera-se que predominem os fosfatos de ferro e alumínio devido a acidez nas profundidades estudadas, além da redução de formas lábeis devido ao pH próximo a 5,0, sendo que a maior disponibilidade de P é observada com pH em torno de 6,5, segundo Malavolta (1980).

### **6.3.2. Matéria Orgânica**

A matéria orgânica do solo é influenciada diretamente pelo sistema de manejo e pela quantidade de resíduo vegetal depositada a cada cultivo, que por sua vez afeta o teor de fósforo orgânico do solo, que é mais elevado quanto maior o teor de matéria orgânica (RHEINNHEIMER, 2000). Solos sob semeadura direta com acúmulo de matéria orgânica pela deposição superficial de restos culturais, principalmente os de relação C/N alta, apresentam altos teores de fósforo orgânico. No presente trabalho, a matéria orgânica do solo, avaliada após a dessecação da braquiária, não apresentou diferença entre as fontes de P para todas as camadas estudadas (Quadro 11). Mostrou-se maior na superfície, com média de  $22 \text{ g dm}^{-3}$  e de  $13 \text{ g dm}^{-3}$  em subsuperfície (40 a 60 cm).

Considerando que houve efeito do P aplicado, seria esperado que a maior produção de biomassa resultasse em maior aporte de matéria orgânica ao solo, o que não ocorreu. É possível que o carbono adicionado ao sistema pela maior biomassa tenha sido mineralizado rapidamente, uma vez que a maioria das espécies empregadas na rotação, como a soja, milheto e tritcale não tem alta relação C/N.

A matéria orgânica influencia diretamente a dinâmica do fósforo no solo. Sendo assim, apesar de não terem sido observados efeitos dos tratamentos com braquiária nos teores de matéria orgânica na safra 06/07, a continuação da rotação de culturas na área experimental possa proporcionar diferenças cultivos futuros, pois, segundo Thomas (1986), as razões para a eficiência da aplicação superficial de P podem ser atribuídas ao maior teor de água, necessário para a difusão de P na camada superficial do solo e ao maior teor de matéria orgânica nessa camada, promovendo menor atividade de  $Al^{3+}$ , além do P ligado ao Al nessa matéria orgânica ser mais solúvel que o P ligado às colóides do solo.

**Quadro 11.** Diferença mínima significativa para a variável Matéria Orgânica ( $g\ dm^{-3}$ ) nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006.

| Tratamentos               | Matéria Orgânica ( $g\ dm^{-3}$ ) |                    |                    |                    |                    |
|---------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                           | 0 a 5                             | 5 a 10 cm          | 10 a 20 cm         | 20 a 40            | 40 a 60 cm         |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b> |                                   |                    |                    |                    |                    |
| Fósforo Inicial (PI)      | 1,02 <sup>ns</sup>                | 0,82 <sup>ns</sup> | 0,83 <sup>ns</sup> | 1,49 <sup>ns</sup> | 1,62 <sup>ns</sup> |
| Braquiária (B)            | 0,68 <sup>ns</sup>                | 0,93 <sup>ns</sup> | 0,91 <sup>ns</sup> | 1,06 <sup>ns</sup> | 0,88 <sup>ns</sup> |
| PI x B                    | 1,93 <sup>ns</sup>                | 1,38 <sup>ns</sup> | 1,27 <sup>ns</sup> | 1,79 <sup>ns</sup> | 1,78 <sup>ns</sup> |
| <b>CV (%)</b>             |                                   |                    |                    |                    |                    |
| Fósforo Inicial           | 7,69                              | 11,68              | 13,49              | 16,50              | 7,24               |
| Braquiária                | 12,71                             | 9,25               | 5,25               | 5,14               | 5,25               |

<sup>(1)\*</sup>Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD)

<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F

### 6.3.3. Fósforo

Os efeitos da aplicação de adubos fosfatados aplicados a lanço foram observados em todas as profundidades estudadas. A presença da braquiária influenciou os teores de P nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm. Ao avaliar a interação das fontes de P e a braquiária, os efeitos observados foram significativos até a camada de 20 cm de profundidade (Quadro 12).

Os valores médios de P no solo foram obtidos através da metodologia proposta por Raij et al., 2001. Os efeitos das fontes de fósforo e do cultivo da braquiária podem ser observados na figura 9, sendo que as diferenças entre os teores na camada de 0 a 5

cm são atribuídas à aplicação dos fertilizantes fosfatados no ano de 2006, não sendo observada diferença entre as fontes de fósforo, havendo redução nos valores observados nas camadas de 5 a 10 e 10 a 20.

As interações do fósforo com o solo são amplamente discutidas e estudadas, sendo a fixação e a adsorção as grandes preocupações durante o manejo da adubação das culturas, onde o elemento fica limitado às camadas superficiais.

**Quadro 12.** Diferença mínima significativa para a variável Fósforo disponível (resina) em  $\text{mg dm}^{-3}$  nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006.

| Tratamentos               | Fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) |           |                    |                    |                    |
|---------------------------|---------------------------------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                           | 0 a 5                           | 5 a 10 cm | 10 a 20 cm         | 20 a 40            | 40 a 60 cm         |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b> |                                 |           |                    |                    |                    |
| Fósforo Inicial (PI)      | 5,51 *                          | 3,84 *    | 0,79 *             | 0,48 *             | 0,25 *             |
| Braquiária (B)            | 2,35 *                          | 2,21 *    | 1,55 <sup>ns</sup> | 0,76 <sup>ns</sup> | 0,35 <sup>ns</sup> |
| PI x B                    | 5,77 *                          | 4,31 *    | 1,96 *             | 0,99 <sup>ns</sup> | 0,38 <sup>ns</sup> |
| <b>CV (%)</b>             |                                 |           |                    |                    |                    |
| Fósforo Inicial           | 13,65                           | 17,7      | 17,83              | 8,43               | 9,03               |
| Braquiária                | 8,71                            | 13,57     | 20,23              | 17,42              | 11,69              |

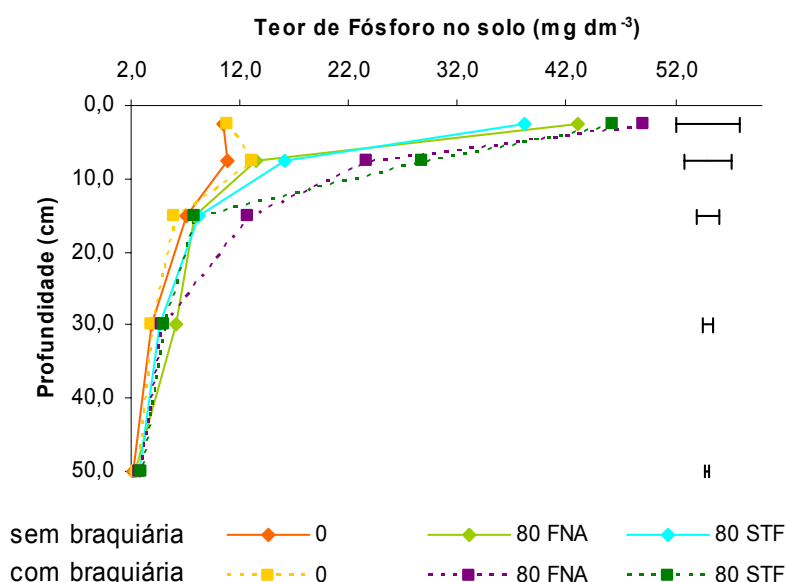
<sup>(1)</sup>\*Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD)

<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F

Observam-se efeitos das fontes de fósforo e do cultivo da braquiária até a camada de 20 cm de profundidade, onde foram observados incrementos nos teores de fósforo disponíveis, quando comparados com os tratamentos sem o cultivo da gramínea (Figura 9). Dado semelhante foi obtido por Olibone (2005) que observou melhor distribuição do fósforo no perfil do solo após o cultivo da soja. Esteves et al. (2002) observaram incrementos nos teores de P do solo nas camadas de 5 a 10 cm de profundidade com a aplicação superficial de superfosfato triplo. Por sua vez, Pearse et al. (2007) estudando o efeito da aplicação de fertilizantes fosfatados em superfície, observaram incrementos significativos nos teores de P-lábil até 10 cm de profundidade e uma tendência no aumento dos teores até 30 cm.

Embora em média, a nutrição da soja não tenha sido alterada pelos incrementos dos teores de P, o incremento desse elemento no perfil pode ser explicado pelo

cultivo da gramínea, de modo que a distribuição das raízes da braquiária no perfil do solo promoveu uma redistribuição do elemento durante o cultivo. Um dos principais benefícios das plantas de cobertura em SSD, além da produção de biomassa da parte aérea que servirá de palhada para proteção do solo, é a produção de biomassa do sistema radicular (BERNARDI et al., 2003). A maior exploração do volume de solo pelas raízes das plantas pode favorecer a estruturação do solo e também resulta no maior volume de solo rizosférico, melhorando a distribuição da matéria orgânica e dos nutrientes (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).



**Figura 9.** Valores médios do teor de fósforo disponível (resina) no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

O uso de FNA proporciona aumento da produção de raízes como resposta fisiológica à deficiência de P (LAJTHA & HARRISON, 1995). Os efeitos da utilização de FNA no sistema radicular de espécies vegetais também foram observados por Marschner (1995). No entanto, de acordo com Rodrigues (2006), a utilização de FNA reduziu a matéria seca do sistema radicular do braquiarão e do sorgo forrageiro, sendo que esses efeitos observados pelo autor podem ser resultados de um efeito do vaso utilizado para a condução do experimento.

## 6.4. Fracionamento do Fósforo

### 6.4.1. Fósforo lábil

Observam-se efeitos significativos para as fontes de fósforo, aplicadas antes da semeadura da braquiária, até 10 cm de profundidade, sendo também observada uma interação significativa da braquiária com as fontes de fósforo até 20 cm de profundidade. Não houve efeito significativo dos tratamentos com braquiária de forma isolada (Quadro 13).

A fração extraída pela RTA representa pouco do total de fósforo contido nos solos, além de ser a fração mais influenciada pela adubação fosfatada (RAIJ, 1991; RHEINHEIMER et al., 2000).

**Quadro 13.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo inorgânico solúvel extraído pela resina trocadora de ânions (RTA), expresso em  $\text{mg dm}^{-3}$ , nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006.

| Tratamentos               | Fósforo inorgânico resina ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) |                    |                    |                    |                    |
|---------------------------|---------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                           | 0 a 5                                             | 5 a 10 cm          | 10 a 20 cm         | 20 a 40            | 40 a 60 cm         |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b> |                                                   |                    |                    |                    |                    |
| Fósforo Inicial (PI)      | 4,79 *                                            | 3,95 *             | 1,86 <sup>ns</sup> | 3,67 <sup>ns</sup> | 2,26 <sup>ns</sup> |
| Braquiária (B)            | 2,92 <sup>ns</sup>                                | 2,95 <sup>ns</sup> | 1,58 <sup>ns</sup> | 1,43 <sup>ns</sup> | 2,08 <sup>ns</sup> |
| PI x B                    | 5,01 *                                            | 2,94 *             | 2,60 <sup>ns</sup> | 2,82 <sup>ns</sup> | 3,42 <sup>ns</sup> |
| <b>CV (%)</b>             |                                                   |                    |                    |                    |                    |
| Fósforo Inicial           | 19,83                                             | 16,55              | 18,10              | 23,17              | 13,67              |
| Braquiária                | 14,40                                             | 16,32              | 20,44              | 18,35              | 17,84              |

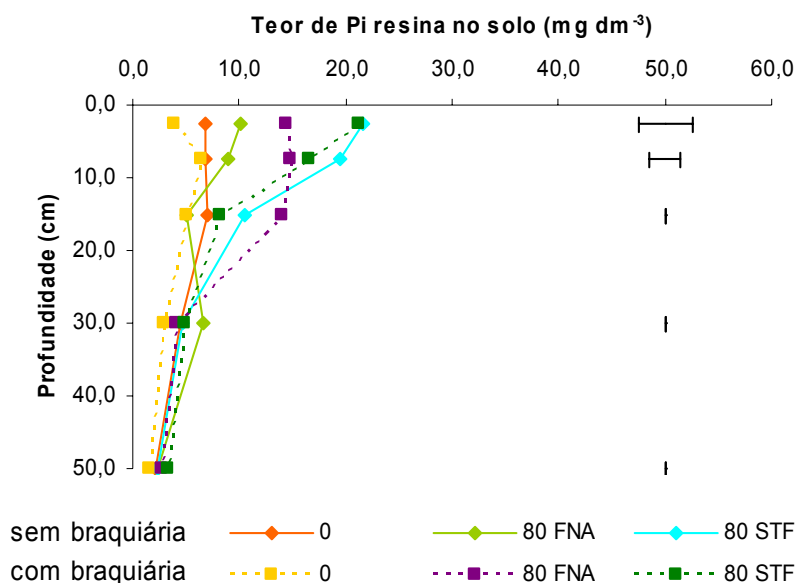
<sup>(1)</sup>\*Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD)

<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F

Os teores obtidos com a RTA em lâmina, metodologia proposta por Hedley et al. (1982), não podem ser comparados com os teores obtidos com a resina RTA em pérolas apresentados na figura 9, metodologia proposta por Raij et al. (2001) para o Estado de São Paulo. Em teste paralelo durante a realização do experimento em questão, 10 solos padrão fornecidos pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC) foram analisados para a variável fósforo com as duas resinas. Para a RTA em laminam, as dimensões das lâminas eram de 1,5 x

1,0 cm e para RTA em pérolas a quantidade empregada foi de  $2,5 \text{ cm}^{-3}$ , sendo que a RTA em lâmina extraiu 30% menos fósforo quando comparada com a RTA em pérola. Esse fato provavelmente pode ser explicado pela menor superfície de contato da RTA em lâmina, uma vez que o polímero responsável pela extração está presente apenas em uma das faces da resina. Imagina-se que esse problema poderia ser solucionado apenas aumentando as dimensões da RTA em lâmina, mas esse estudo não foi conduzido.

Fica ainda reafirmada a diferença entre as metodologias de determinação do P lábil no solo, quando se comparam os valores obtidos nas camadas superficiais. As médias obtidas para os tratamentos com a aplicação de P a lanço com a resina em lâmina estão entre  $10$  e  $22 \text{ mg dm}^{-3}$ , sendo que as obtidas com a resina em pérola estão entre  $38$  e  $47 \text{ mg dm}^{-3}$ .



**Figura 10.** Valores médios do teor de fósforo disponível resina (Pi resina) no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Fica demonstrado que a dimensão proposta por Hedley et al. (1982) da RTA em lâminas não foi suficiente para extrair todo o fósforo disponível, dificultando observar efeitos entre os tratamentos.

#### **6.4.2. Fósforo moderadamente lábil**

Na sequência de extrações, os extratores RTA em lâmina e bicarbonato estimam o fósforo inorgânico disponível (Pirta e Pibic). O bicarbonato estima também fósforo orgânico (Pobic). A estreita relação entre estas frações sugere que esses compartimentos são sensíveis à diminuição do conteúdo de fósforo na solução do solo e que, juntos, compõem o chamado fósforo lábil do solo. A alta labilidade da fração bicarbonato é relatada pela maioria dos autores que trabalharam com fracionamento de fósforo, indicando que os teores extraídos pela RTA não representam todo fósforo disponível do solo (HEDLEY et al., 1982; GUO & YOST, 1998; YOST et al., 2000), devido à grande importância na disponibilidade para as plantas das frações inorgânicas e orgânicas extraídas por bicarbonato, foi sugerido que essas formas fossem incluídas como parâmetros de disponibilidade de fósforo em sistemas com baixa disponibilidade e baixa adição de fertilizantes (TIESEN et al. 1994; GUERRA et al. 1996; MAROKO et al. 1999).

No presente trabalho, não foram observados efeitos da adubação a lanço com fontes de P na fração Pibic. Observa-se também que o cultivo da gramínea não alterou a fração inorgânica de P extraída com bicarbonato (Quadro 14). No entanto, existem relatos de que a adubação fosfatada influencia na fração Pibic, principalmente quando são empregadas fontes solúveis de P (GATIBONI, 2003; RODRIGUES, 2006). Houve efeito do cultivo da gramínea na fração Pobic nas profundidades estudadas, efeitos observados também para as fontes de P (Quadro 14). Esses efeitos podem ser explicados pela absorção de  $P_i$  pelas plantas de braquiária, favorecendo o acúmulo de  $P_o$  no perfil do solo, evidenciando também a absorção preferencial de formas lábeis de P. Provavelmente os efeitos observados com o cultivo da gramínea são decorrentes da maior disponibilidade de  $P_i$  através das fontes de P.

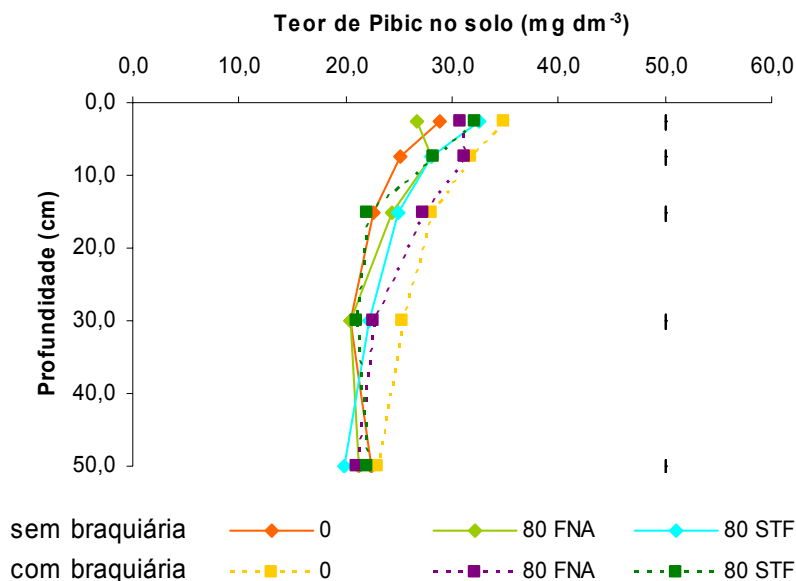
**Quadro 14.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo inorgânico e orgânico extraído com  $\text{NaHCO}_3$ , expresso em  $\text{mg dm}^{-3}$ , nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006.

| Tratamentos               | Fósforo inorgânico moderadamente lábil ( $\text{mg dm}^{-3}$ )         |                    |                    |                    |                    |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                           | 0 a 5 cm                                                               | 5 a 10 cm          | 10 a 20            | 20 a 40            | 40 a 60            |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b> |                                                                        |                    |                    |                    |                    |
| Fósforo Inicial (PI)      | 5,71 <sup>ns</sup>                                                     | 9,22 <sup>ns</sup> | 6,07 <sup>ns</sup> | 7,56 <sup>ns</sup> | 6,40 <sup>ns</sup> |
| Braquiária (B)            | 7,50 <sup>ns</sup>                                                     | 3,52 <sup>ns</sup> | 4,82 <sup>ns</sup> | 4,69 <sup>ns</sup> | 3,67 <sup>ns</sup> |
| PI x B                    | 12,06 <sup>ns</sup>                                                    | 7,01 <sup>ns</sup> | 7,97 <sup>ns</sup> | 8,06 <sup>ns</sup> | 6,48 <sup>ns</sup> |
| <b>CV (%)</b>             |                                                                        |                    |                    |                    |                    |
| Fósforo Inicial           | 15,47                                                                  | 21,45              | 20,28              | 20,43              | 23,42              |
| Braquiária                | 20,02                                                                  | 13,42              | 21,63              | 23,63              | 17,85              |
| Tratamentos               | Fósforo orgânico extraído com $\text{NaHCO}_3$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) |                    |                    |                    |                    |
|                           | 0 a 5                                                                  | 5 a 10 cm          | 10 a 20 cm         | 20 a 40            | 40 a 60 cm         |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b> |                                                                        |                    |                    |                    |                    |
| Fósforo Inicial (PI)      | 3,08 *                                                                 | 3,56 *             | 5,01 <sup>ns</sup> | 5,46 *             | 3,68 *             |
| Braquiária (B)            | 2,44 *                                                                 | 2,38 *             | 2,53 <sup>ns</sup> | 3,01 *             | 4,28 *             |
| PI x B                    | 4,04 *                                                                 | 4,04 <sup>ns</sup> | 4,73 *             | 5,29 <sup>ns</sup> | 6,95 <sup>ns</sup> |
| <b>CV (%)</b>             |                                                                        |                    |                    |                    |                    |
| Fósforo Inicial           | 18,58                                                                  | 20,50              | 17,43              | 14,56              | 19,26              |
| Braquiária                | 19,51                                                                  | 19,52              | 18,36              | 15,92              | 13,11              |

<sup>(1)</sup>\*Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD)

<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F

O Pibic corresponde ao P-lábil, ou seja, P disponível (HEDLEY et al., 1982). A adubação fosfatada é responsável por alterações em Pibic, sendo que as fontes solúveis proporcionam maiores aumentos em relação às fontes naturais ou reativas (DOBBERMANN et al., 2002; SANTOS, 2005). Embora, em média, as fontes de P tenham influenciado a fração P disponível, determinado por resina, esses efeitos não são observados para a fração Pibic (Figura 11). Os resultados obtidos no presente trabalho diferem dos resultados observados por Conte et al. (2003) e Souza (2005). Em que a aplicação de fosfatos solúveis aumentou a proporção de Pi em relação a Po. Esse aumento é explicado devido à utilização do adubo.

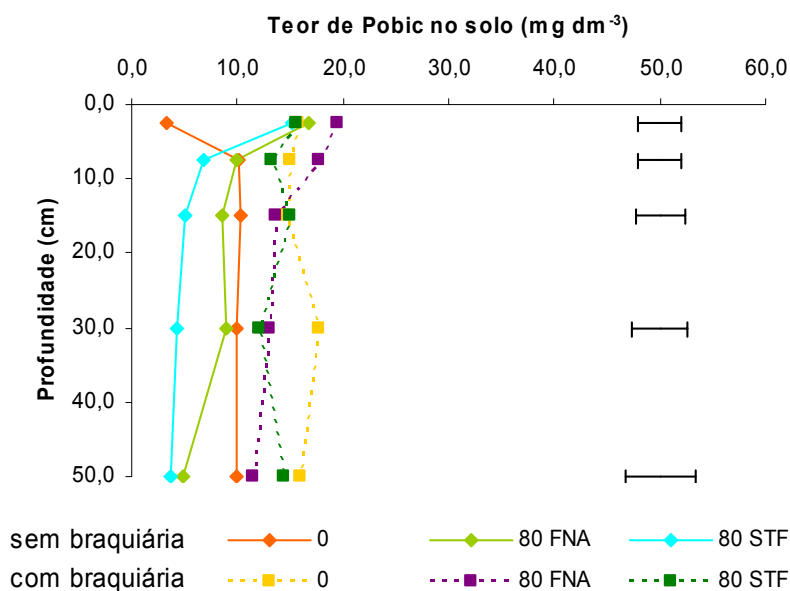


**Figura 11.** Valores médios do teor de Pibic no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Plantas utilizam P de fontes orgânicas quase tão eficientemente como de fontes minerais, dada a hidrólise de P orgânico, liberando P inorgânico (TARAFDAR & CLAASSEN, 1988). O fósforo orgânico do solo pode atuar como fonte ou dreno do P disponível, dependendo do manejo do solo e fertilização (NOVAIS & SMYTH, 1999). O aumento na disponibilidade de P na superfície com a adoção do sistema plantio direto pode resultar em uma maior transformação do Pi em Po.

No presente trabalho, observa-se o acúmulo de Po em superfície (Figura 12). Esse efeito pode ser explicado pelo acúmulo de resíduos vegetais provenientes da rotação de culturas, reafirmando os benefícios da adoção do SSD. Embora os teores de Po tenham sido afetados pelo acúmulo de palha em superfície, os valores de matéria orgânica na superfície não foram afetados. Observa-se acúmulo de Po onde foi cultivada a braquiária em relação às parcelas onde não ocorreu o cultivo. O cultivo de braquiária como planta de cobertura proporciona maiores valores de Po em relação a Pi (SANTOS, 2005). Esses mesmos autores atribuem os baixos teores de Pibic, após o cultivo da braquiária, devido à maior

extração das formas lábeis de P, proporcionando o acúmulo de formas orgânicas, conseqüentemente aumentando a fração Po.



**Figura 12.** Valores médios do teor de Póbio no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Observa-se também um maior acúmulo de Po no perfil do solo, após o cultivo da braquiária, quando não houve a aplicação de fertilizante fosfatado. Isso pode ser um indicativo de que, mesmo na ausência do fertilizante, a planta absorve preferencialmente formas inorgânicas de P de maior labilidade, favorecendo o acúmulo de formas orgânicas no perfil.

#### 6.4.3. Fósforo ligado ao Ferro e Alumínio

O fósforo inorgânico é extraído pelos ânions  $\text{OH}^-$  da solução extratora que dissolvem uma porção do nutriente ligado ao ferro e alumínio nos colóides, hidrolizando-os (FIXEN & GROVE, 1990). A extração do fósforo orgânico pelo NaOH também ocorre por ação dos ânions  $\text{OH}^-$ , que provocam a hidrólise parcial dos compostos orgânicos (DALAL,

1977). Como as formas inorgânicas lábeis já foram retiradas pelos extratores anteriores, o fósforo extraído por NaOH é de labilidade intermediária e provavelmente seja aquele que está associado aos colóides inorgânicos, principalmente os óxidos e caulinita, em ligações do tipo monodentado e bidentado. Já o fósforo orgânico extraído por NaOH pode ser das formas monoéster, diéster, fosfonatos e polifosfatos (TATE & NEWMAN, 1982). Os fosfatos monoéster perfazem a maior parte do Po extraído por este método nos solos do Rio Grande do Sul (RHEINHEIMER et al., 2002) e são caracterizados pela alta interação com os colóides do solo e, portanto, de baixa acessibilidade ao ataque microbiano.

Observa-se efeito do fósforo aplicado a lanço até a profundidade de 40 cm na forma inorgânica da fração, não sendo observado efeito do cultivo da braquiária (Quadro 15). Embora, em média, as fontes de P não tenham influenciado a forma orgânica da fração, houve efeito do tratamento apenas na camada de 0 a 5 cm.

**Quadro 15.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo inorgânico e orgânico extraído com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, expresso em mg dm<sup>-3</sup>, nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006.

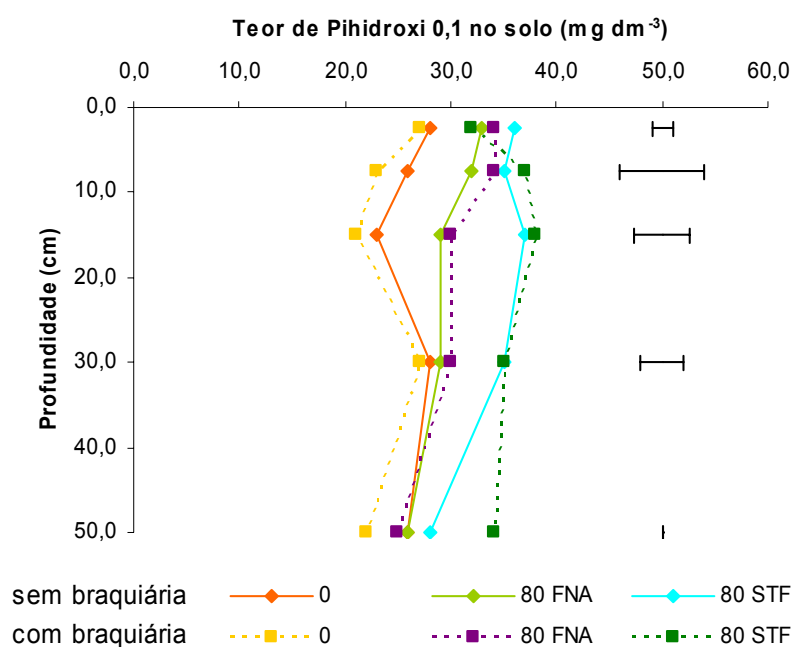
| Tratamentos               | Fósforo inorgânico ligado ao ferro e alumínio (mg dm <sup>-3</sup> ) |                     |                     |                    |                     |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
|                           | 0 a 5 cm                                                             | 5 a 10 cm           | 10 a 20             | 20 a 40            | 40 a 60             |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b> |                                                                      |                     |                     |                    |                     |
| Fósforo Inicial (PI)      | 1,92 *                                                               | 8,06 *              | 5,29 *              | 4,05 *             | 12,19 <sup>ns</sup> |
| Braquiária (B)            | 5,59 <sup>ns</sup>                                                   | 4,17 <sup>ns</sup>  | 6,23 <sup>ns</sup>  | 5,45 <sup>ns</sup> | 7,12 <sup>ns</sup>  |
| PI x B                    | 8,90 <sup>ns</sup>                                                   | 7,47 <sup>ns</sup>  | 10,09 <sup>ns</sup> | 9,75 <sup>ns</sup> | 12,34 <sup>ns</sup> |
| <b>CV (%)</b>             |                                                                      |                     |                     |                    |                     |
| Fósforo Inicial           | 7,66                                                                 | 21,12               | 15,94               | 12,12              | 13,99               |
| Braquiária                | 14,95                                                                | 14,49               | 15,85               | 21,61              | 16,32               |
| Tratamentos               | Fósforo orgânico extraído com NaOH (mg dm <sup>-3</sup> )            |                     |                     |                    |                     |
|                           | 0 a 5                                                                | 5 a 10 cm           | 10 a 20 cm          | 20 a 40            | 40 a 60 cm          |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b> |                                                                      |                     |                     |                    |                     |
| Fósforo Inicial (PI)      | 9,03 *                                                               | 6,99 <sup>ns</sup>  | 6,63 <sup>ns</sup>  | 3,56 <sup>ns</sup> | 3,66 <sup>ns</sup>  |
| Braquiária (B)            | 6,97 <sup>ns</sup>                                                   | 7,22 <sup>ns</sup>  | 7,58 <sup>ns</sup>  | 3,53 <sup>ns</sup> | 3,90 <sup>ns</sup>  |
| PI x B                    | 11,59 <sup>ns</sup>                                                  | 11,69 <sup>ns</sup> | 12,16 <sup>ns</sup> | 5,74 <sup>ns</sup> | 6,30 <sup>ns</sup>  |
| <b>CV (%)</b>             |                                                                      |                     |                     |                    |                     |
| Fósforo Inicial           | 17,24                                                                | 16,87               | 16,16               | 11,12              | 13,19               |
| Braquiária                | 17,35                                                                | 13,07               | 14,47               | 14,59              | 18,64               |

<sup>(1)</sup>\*Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD)

<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F

Como era esperado, não houve efeito das fontes de P na forma orgânica extraída com NaOH 0,1; resultados semelhantes foram obtidos por Gatiboni (2003), que não observou alterações nessa fração após a adição de fertilizantes.

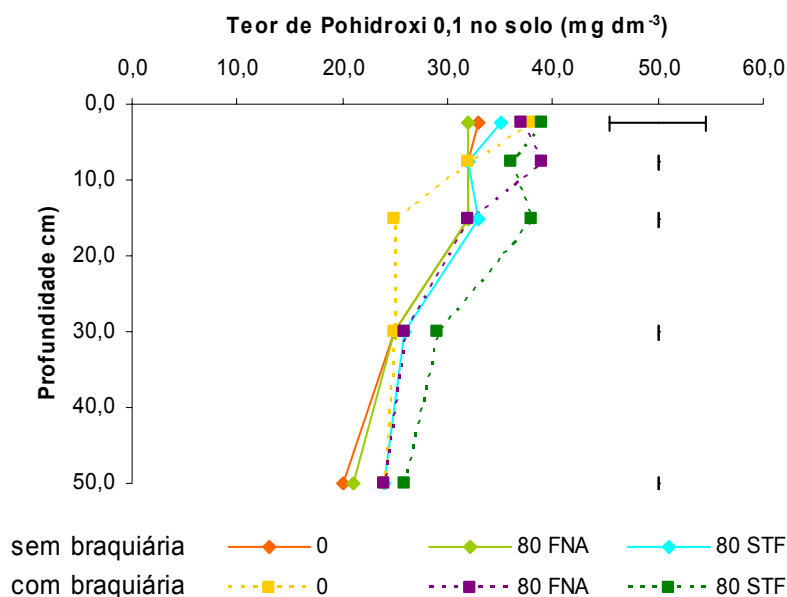
Observa-se na figura 13 o efeito das fontes aplicadas a lanço no teor de Píhdroxi no perfil do solo e ausência de efeito significativo do cultivo da braquiária para essa fração de P do solo. O efeito das fontes fica claro quando se observam os teores de P nos tratamentos sem a aplicação de P a lanço, devido à redução nos valores até 20 cm de profundidade.



**Figura 13.** Valores médios do teor de fósforo inorgânico não lábil (extraído com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>) no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Não houve efeito do cultivo da gramínea, independente da forma de P analisada. Rodrigues (2006) observou que, após o cultivo da braquiária na presença de FNA, houve reduções significativas na fração de P extraída com NaOH 0,1; esse efeito foi atribuído à maior absorção de P pela cultura. Essa diferença nos resultados obtidos pode ser explicada pelo sistema de condução do experimento, sendo que o presente trabalho foi conduzido a

campo, sendo assim uma possível limitação do sistema radicular decorrente do uso de vasos para a condução das culturas não pode ser considerada. Esse fato, devido ao crescimento vigoroso do sistema radicular da braquiária, o cultivo da mesma em um sistema fechado (vaso), pode ter exaurido formas lábeis e moderadamente lábeis de P forçando a cultura a utilizar formas de menor labilidade, fato esse não observado em um sistema aberto, campo. Os dados apresentados pelo autor confirmam a capacidade da braquiária em utilizar formas de menor labilidade, sendo no presente trabalho efeitos esses observados apenas na fração de P-Ca (Quadro 16).



**Figura 14.** Valores médios do teor de fósforo orgânico (extraído com  $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença; ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Embora, em média, o P inicial aplicado a lanço não tenha influenciado a forma orgânica da fração, observa-se uma redução nos valores de Pohidroxi nas camadas subsuperficiais, sendo esse efeito dependente das diferentes arquiteturas do sistema radicular das culturas cultivadas na rotação (Figura 14).

#### 6.4.4. Fósforo ligado a cálcio

O fosfato de cálcio determinado nesta fração pode ser proveniente dos minerais primários do solo, de fosfatos de cálcio formados “in situ” (MAGID, 1993), e também da adição de fertilizantes fosfatados sem solubilização prévia. Essa fração é considerada uma fração praticamente indisponível no solo para a maioria das espécies (TIESSEN et al., 1984). O fósforo contido nessa fração só se tornará disponível no solo se ocorrer uma redução nos valores de pH e, ou dos teores de P e Ca em solução, o que pode ser observado na região da rizosfera.

Em SSD, Kunishi et al. (1982) observaram que os fertilizantes aplicados em superfície permanecem por mais tempo como fosfatos de cálcio, devido à diminuição da adsorção com os colóides minerais. Essa fração tem sido considerada não-lábil (SELLES et al., 1997; GUO & YOST, 1998).

Observa-se o efeito de fontes de fósforo aplicadas na braquiária apenas na camada de 0-5 cm de profundidade. Pode ser observado o efeito significativo da interação entre a gramínea e as fontes de fósforo (Quadro 16).

**Quadro 16.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo inorgânico extraído com solução de HCl a  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ , expresso em  $\text{mg dm}^{-3}$ , nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006.

| Tratamentos               | Fósforo inorgânico ligado ao cálcio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) |                    |                    |                    |                    |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                           | 0 a 5                                                       | 5 a 10 cm          | 10 a 20 cm         | 20 a 40            | 40 a 60 cm         |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b> |                                                             |                    |                    |                    |                    |
| Fósforo Inicial (PI)      | 1,94 *                                                      | 6,44 <sup>ns</sup> | 0,97 <sup>ns</sup> | 0,91 <sup>ns</sup> | 0,80 <sup>ns</sup> |
| Braquiária (B)            | 2,21 *                                                      | 2,51 <sup>ns</sup> | 0,42 <sup>ns</sup> | 1,47 <sup>ns</sup> | 1,11 <sup>ns</sup> |
| PI x B                    | 3,55 *                                                      | 4,96 *             | 2,17 *             | 2,34 <sup>ns</sup> | 1,78 <sup>ns</sup> |
| <b>CV (%)</b>             |                                                             |                    |                    |                    |                    |
| Fósforo Inicial           | 7,45                                                        | 19,74              | 7,00               | 8,67               | 9,86               |
| Braquiária                | 11,24                                                       | 15,39              | 11,79              | 18,34              | 18,00              |

<sup>(1)</sup>\*Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD)

<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F

Catani & Bataglia (1968), avaliando Latossolos dos Estados de São Paulo e Paraná, encontraram valores de fósforo ligado a cálcio entre 45,3 a 162,5  $\text{mg dm}^{-3}$ , o

que é explicável tendo em vista os valores de pH que variaram de 6,0 a 6,5. Contudo, neste trabalho, foram observados valores que não superaram em média  $25,4 \text{ mg dm}^{-3}$ , fato que pode ser explicado, em parte, pelos valores de pH que se encontravam ao redor de 4,5 a 5,5 em  $\text{CaCl}_2$ . Por sua vez, Fassbender (1975) encontrou valores de fósforo ligados a cálcio para solos do Maranhão, Bahia e Amazonas entre 10 e  $31 \text{ mg dm}^{-3}$ , correspondentes a 3,2% do fósforo total.

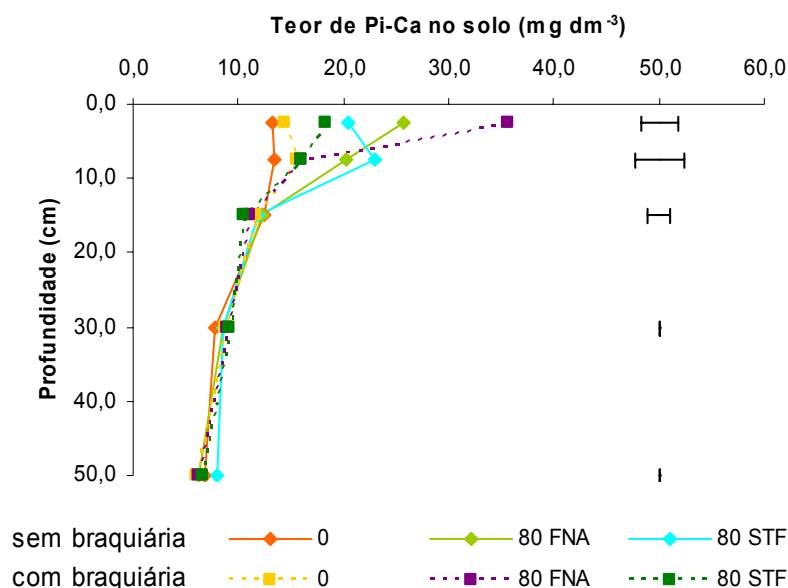
Foram observados maiores valores da fração Pi (HCl) quando se empregou o fosfato natural. Isto é explicável, em parte, pela maior quantidade de cálcio presente na composição química do FNA (37%) em relação ao SFT (13%) favorecendo a formação de fosfatos de cálcio.

Os teores de P-Ca foram reduzidos na presença da braquiária, o que pode ser claramente observado nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm (Figura 15). Esse efeito pode indicar uma extração desta fração de fósforo pelo sistema radicular da braquiária, podendo ser um dos fatores que contribuíram para o aumento de fósforo disponível no perfil do solo (Figura 9). Sendo assim, esse aumento pode ser a somatória do cultivo da gramínea mais a capacidade de dissolução de fosfatos menos disponíveis no solo, de modo que a exploração do solo pelas raízes da braquiária, seguida da extração de fosfatos de cálcio, promoveu o aumento no teor de P no tecido vegetal, devido à redistribuição do elemento na planta.

Após a morte das raízes durante o processo de mineralização microbiana, houve a liberação dos compostos fosfatados orgânicos em formas inorgânicas disponíveis, corroborando os resultados obtidos por Bertrand et al. (1999), Morel & Hinsinger (1999) e Pearse et al. (2006, 2007). Resultados semelhantes foram obtidos por Hinsinger & Gilkes (1996, 1997) que observaram diferenças nas quantidades extraídas de fósforo ligado a cálcio entre nabo (*Brassica napus* L.) e milho (*Zea mays* L.), sendo essa diferença atribuída simplesmente a uma diferença no pH rizosférico das culturas.

O aumento da eficiência na absorção de formas de P, oriundas de fontes menos lábeis do solo, é relatado por alguns autores (HINSINGER 2001; RAGHOTHAMA 1999), sendo que um dos possíveis mecanismos para esse aumento na eficiência é a acidificação da rizosfera (HINSINGER et al. 2003; NEUMANN et al., 1999; TANG et al. 2004). Outro mecanismo estudado é a exsudação de compostos carboxílicos

(NEUMANN et al., 1999; RYAN et al. 2001; WANG et al. 2007). Além disso, a atividade de enzimas nos mecanismos de dissolução de fosfatos menos solúveis como por exemplo as fosfatases ácidas e alcalinas também são avaliadas e, para algumas espécies, os efeitos dessas enzimas são comprovados (TABATABAI et al., 1969; RENGEL & MARSCHNER 2005).



**Figura 15.** Valores médios do teor de fósforo ligado ao cálcio (extraído com HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>) no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença; ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

#### 6.4.5. Fósforo não lábil

O quinto extrator do fracionamento, NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>, dissolve formas orgânicas e inorgânicas de fósforo similares às extraídas pelo NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, porém não estimadas por este por estarem fisicamente protegidas no interior de microagregados (CROSS & SCHLESINGER, 1995). Assim, a utilização dessa solução com concentração superior, aliada ao tempo de agitação, apenas completa a extração iniciada pelo NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> (CONDRON et al., 1985).

Os efeitos observados nesta fração, nas camadas superficiais, são atribuídos a aplicação a lanço dos fertilizantes fosfatados, sendo que os efeitos nas demais camadas estudadas são reflexo da atividade radicular da braquiária na fração Pihidroxi 0,5. Embora, em média, as frações orgânicas não tenham sofrido alterações ao longo do perfil, observa-se efeito da aplicação de P a lanço na camada superficial (Quadro 17). A ausência de efeitos no Po pode ser atribuídas à baixa labilidade desta fração no solo devido à alta força iônica exercida pelo extrator NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>. Hedley et al. (1982) colocam que essa fração é considerada complementação das formas inorgânicas e orgânicas obtidas através do extrator NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>.

**Quadro 17.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo inorgânico e orgânico extraído com NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>, expresso em mg dm<sup>-3</sup>, nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006.

| Tratamentos               | Fósforo inorgânico não lábil (mg dm <sup>-3</sup> )       |                    |                     |                     |                     |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                           | 0 a 5 cm                                                  | 5 a 10 cm          | 10 a 20             | 20 a 40             | 40 a 60             |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b> |                                                           |                    |                     |                     |                     |
| Fósforo Inicial (PI)      | 3,31 *                                                    | 7,02 <sup>ns</sup> | 4,62 <sup>ns</sup>  | 4,38 *              | 4,96 *              |
| Braquiária (B)            | 4,29 *                                                    | 4,42 *             | 5,16 *              | 3,40 <sup>ns</sup>  | 4,02 <sup>ns</sup>  |
| PI x B                    | 3,64 *                                                    | 7,58 *             | 8,26 *              | 5,64 *              | 6,63 <sup>ns</sup>  |
| <b>CV (%)</b>             |                                                           |                    |                     |                     |                     |
| Fósforo Inicial           | 9,88                                                      | 23,42              | 9,54                | 11,22               | 23,42               |
| Braquiária                | 13,96                                                     | 17,53              | 17,99               | 9,21                | 17,85               |
| Tratamentos               | Fósforo orgânico extraído com NaOH (mg dm <sup>-3</sup> ) |                    |                     |                     |                     |
|                           | 0 a 5                                                     | 5 a 10 cm          | 10 a 20 cm          | 20 a 40             | 40 a 60 cm          |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b> |                                                           |                    |                     |                     |                     |
| Fósforo Inicial (PI)      | 3,98 *                                                    | 4,99 <sup>ns</sup> | 14,67 <sup>ns</sup> | 15,06 <sup>ns</sup> | 15,69 <sup>ns</sup> |
| Braquiária (B)            | 2,02 <sup>ns</sup>                                        | 5,19 <sup>ns</sup> | 7,08 <sup>ns</sup>  | 8,48 <sup>ns</sup>  | 12,09 <sup>ns</sup> |
| PI x B                    | 3,64 <sup>ns</sup>                                        | 8,64 <sup>ns</sup> | 12,91 <sup>ns</sup> | 14,83 <sup>ns</sup> | 20,09 <sup>ns</sup> |
| <b>CV (%)</b>             |                                                           |                    |                     |                     |                     |
| Fósforo Inicial           | 6,96                                                      | 8,84               | 21,87               | 16,59               | 15,46               |
| Braquiária                | 4,53                                                      | 12,29              | 16,41               | 19,84               | 12,68               |

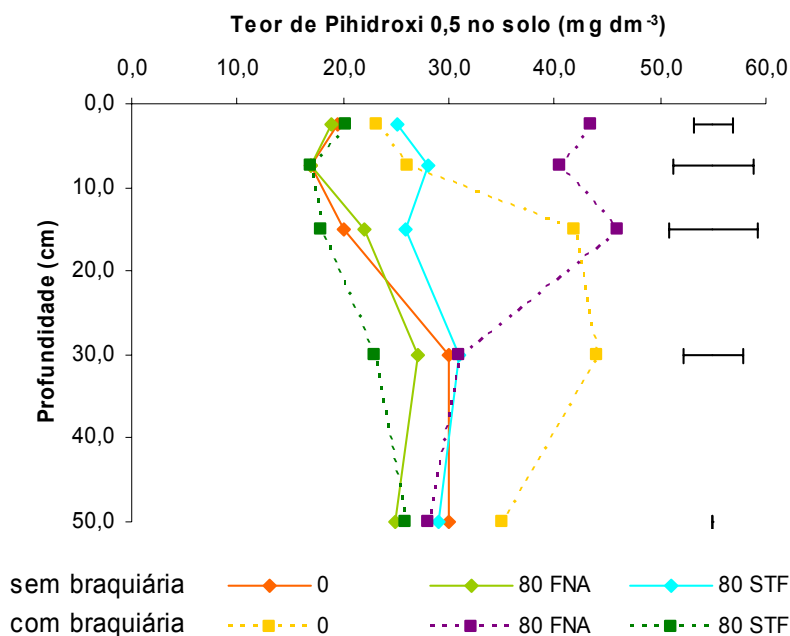
<sup>(1)</sup>\*Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD)

<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F

As alterações no Pi NaOH 0,5 nas camadas subsuperficiais podem ser reflexo dos baixos valores de pH apresentados na figura 8, pois em pH

abaixo de 4,5 a fração funciona como dreno de P (RHEINHEIMER et al., 2001; TOKURA, 2002). Os mesmos autores relatam que o efeito dreno da fração é observado em solos com alto teor de Fe e Al.

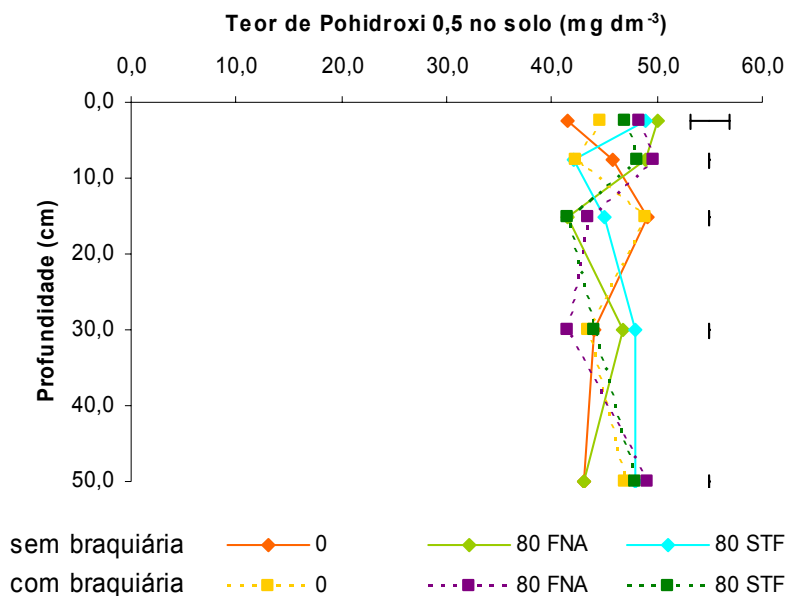
De maneira geral, a fração orgânica do extrator em questão não foi alterada pelos tratamentos. Esse fato pode ser explicado devido à maior interação da fração com o solo (HEDLEY et al., 1982; GATIBONI, 2003)



**Figura 16.** Valores médios do teor de fósforo inorgânico não lábil (extraído com NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>) no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

O cultivo da gramínea aliado à baixa disponibilidade de P, devido à ausência do fertilizante fosfatado ou presença do fosfato natural, houve um aumento da fração não lábil em subsuperfície (Figura 16). No entanto, na ausência da gramínea, não houve incremento na fração em profundidade. Há uma tendência no aumento de P não lábil a partir da profundidade de 20 cm, confirmando a influência da redução nos valores de pH na fração, que, de acordo com a figura 8, os valores de pH abaixo de 20 cm são iguais ou inferiores a 4,5.

O cultivo da braquiária com a fonte solúvel de fosfato não alterou significativamente a fração. Rodrigues (2006) não observou o mesmo resultado, sendo que, com a utilização do fosfato solúvel, houve um incremento da fração comparada à utilização de fosfato natural; essa diferença nos resultados obtidos pode ser explicada pelo local de condução dos experimentos, pois o autor citado conduziu o experimento em vaso.



**Figura 17.** Valores médios do teor de fósforo orgânico (extraído com NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>) no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

De maneira geral, não houve efeito dos tratamentos na fração orgânica, embora na camada superficial houve um efeito das fontes de P aplicadas a lanço, independentemente da fonte aplicada (Figura 17). A ausência de efeito dos tratamentos na fração pode ser um indicativo da absorção preferencial de formas inorgânicas, favorecendo um acúmulo gradativo de formas orgânicas no SSD, formando um possível estoque de P a longo prazo.

#### 6.4.6. Fósforo residual

A fração fósforo residual do fracionamento é obtida pela digestão sulfúrica do solo e é constituída do fósforo remanescente que não foi extraído pelos extratores seletivos do fracionamento de Hedley. Nesta fração, estão incluídas formas inorgânicas e orgânicas de alta recalcitrância que geralmente não participam ativamente na disponibilidade de fósforo às plantas (STEWART & SHARPLEY, 1987), embora alguns autores mostrem que em sistemas com alta carência essa fração pode ser fonte de fósforo às plantas (GUO & YOST, 1998; GUO et al., 2000). Em trabalho realizado em Latossolos dos Estados de São Paulo e Paraná, Catani & Bataglia (1968) encontraram-se valores de fósforo ocluso entre 470,8 a 850,8 mg dm<sup>-3</sup>.

Não houve efeito da aplicação de P a lanço ou da braquiária, nas profundidades estudadas (Quadro 18). A baixa mobilidade do P e maior disponibilidade desta fração na camada superficial do solo é decorrente da aplicação anual de fertilizantes fosfatados a lanço, da liberação de P orgânico através da decomposição dos resíduos vegetais deixados na superfície e da maior intensidade de adsorção em uma pequena porção do solo com constituintes inorgânicos passíveis de alta adsorção, os óxidos, oxi-dróxi e hidróxidos de Fe e Al (SÁ, 1999; SOUSA & LOBATO, 2000).

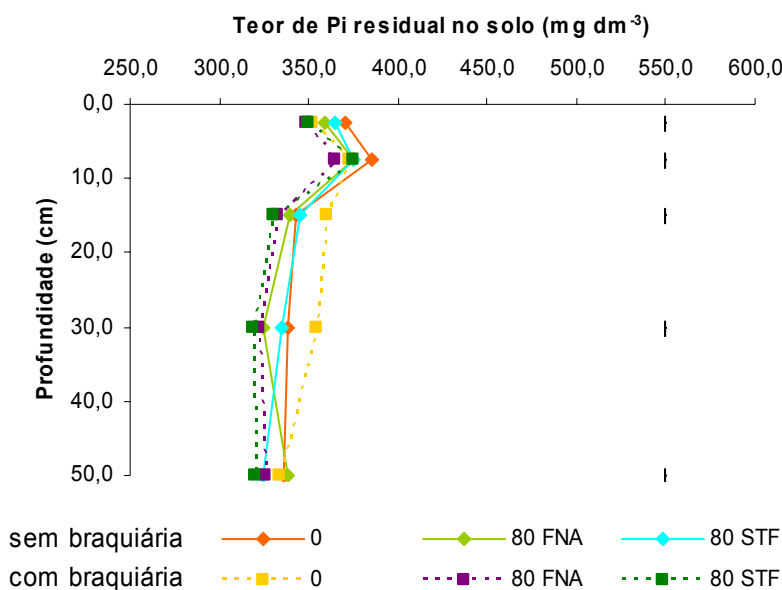
**Quadro 18.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo residual (mg dm<sup>-3</sup>) nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006.

| Tratamentos               | Fósforo residual (mg dm <sup>-3</sup> ) |                     |                     |                     |                     |
|---------------------------|-----------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                           | 0 a 5                                   | 5 a 10 cm           | 10 a 20 cm          | 20 a 40             | 40 a 60 cm          |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b> |                                         |                     |                     |                     |                     |
| Fósforo Inicial (PI)      | 32,07 <sup>ns</sup>                     | 20,05 <sup>ns</sup> | 42,56 <sup>ns</sup> | 27,86 <sup>ns</sup> | 14,93 <sup>ns</sup> |
| Braquiária (B)            | 16,32 <sup>ns</sup>                     | 22,47 <sup>ns</sup> | 12,06 <sup>ns</sup> | 19,39 <sup>ns</sup> | 25,02 <sup>ns</sup> |
| PI x B                    | 30,25 <sup>ns</sup>                     | 29,86 <sup>ns</sup> | 22,25 <sup>ns</sup> | 37,07 <sup>ns</sup> | 33,48 <sup>ns</sup> |
| <b>CV (%)</b>             |                                         |                     |                     |                     |                     |
| Fósforo Inicial           | 17,28                                   | 12,36               | 9,01                | 5,69                | 3,26                |
| Braquiária                | 12,08                                   | 9,26                | 13,24               | 7,86                | 6,32                |

<sup>(1)\*</sup>Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD)

<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F

Os teores de P residual não foram alterados pelos tratamentos, sendo que houve tendência de redução dos teores nos tratamentos com braquiária na ausência da adubação fosfatada (Figura 18). Gatiboni (2003) observou que não houve alteração na fração P residual pela adição de doses de fertilizantes, indicando que o fósforo adicionado é acumulado preferencialmente nas frações de maior labilidade, sendo esta constituída principalmente pelo fósforo nativo do solo. Segundo o autor, o P residual apresentou modificações expressivas após doze e quinze cultivos. Isso mostra que o P residual é preservado enquanto as formas de labilidade intermediária têm capacidade de repor formas mais lábeis. Quando as formas intermediárias diminuíram sua capacidade de reposição, o P residual passou a ser a fonte de fósforo para o sistema. Resultado semelhante foi obtido por Pavinato (2007), que também não observou alterações na fração P residual. No entanto, Rodrigues (2006), em experimento conduzido em vaso, observou redução na fração quando comparados tratamentos com e sem cultivo de braquiária adubada com FNA.



**Figura 18.** Valores médios do teor de fósforo residual no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

#### 6.4.7. Fósforo inorgânico total

De modo geral, não houve diferença significativa no teor de Pi total. Por outro lado, os maiores valores foram encontrados nas camadas superficiais, independente da fonte aplicada, o que provavelmente ocorreu por causa da manutenção do teor de matéria orgânica (Quadro 11) e da aplicação dos tratamentos em superfície (Figura 10), resultados esses semelhantes aos observados por Silva et al.(1997).

Em sistemas conservacionistas, os valores de P-total são maiores com o decorrer do tempo, favorecendo a ciclagem dos nutrientes ao solo, aumentando a atividade dos microrganismos e, conseqüentemente, a mineralização do P orgânico. Assim, os fatores intemperismo do solo e presença de plantas parecem ser mais importantes na dinâmica de P que a própria adubação fosfatada. Esse fato foi comprovado pela interação das fontes de fósforo e braquiária nas camadas superficiais (Quadro 19).

**Quadro 19.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo inorgânico total ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006.

| Tratamentos               | Fósforo inorgânico total ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) |                     |                     |                     |                     |
|---------------------------|--------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                           | 0 a 5                                            | 5 a 10 cm           | 10 a 20 cm          | 20 a 40             | 40 a 60 cm          |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b> |                                                  |                     |                     |                     |                     |
| Fósforo Inicial (PI)      | 38,90 *                                          | 22,65 *             | 37,14 <sup>ns</sup> | 25,02 <sup>ns</sup> | 17,13 <sup>ns</sup> |
| Braquiária (B)            | 17,31 *                                          | 24,71 <sup>ns</sup> | 15,60 <sup>ns</sup> | 19,14 <sup>ns</sup> | 12,94 <sup>ns</sup> |
| PI x B                    | 32,38 *                                          | 42,79 <sup>ns</sup> | 29,62 <sup>ns</sup> | 31,87 <sup>ns</sup> | 21,59 <sup>ns</sup> |
| <b>CV (%)</b>             |                                                  |                     |                     |                     |                     |
| Fósforo Inicial           | 11,28                                            | 17,47               | 9,27                | 6,27                | 4,39                |
| Braquiária                | 2,98                                             | 23,48               | 5,16                | 6,36                | 4,45                |

<sup>(1)</sup>\*Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD)

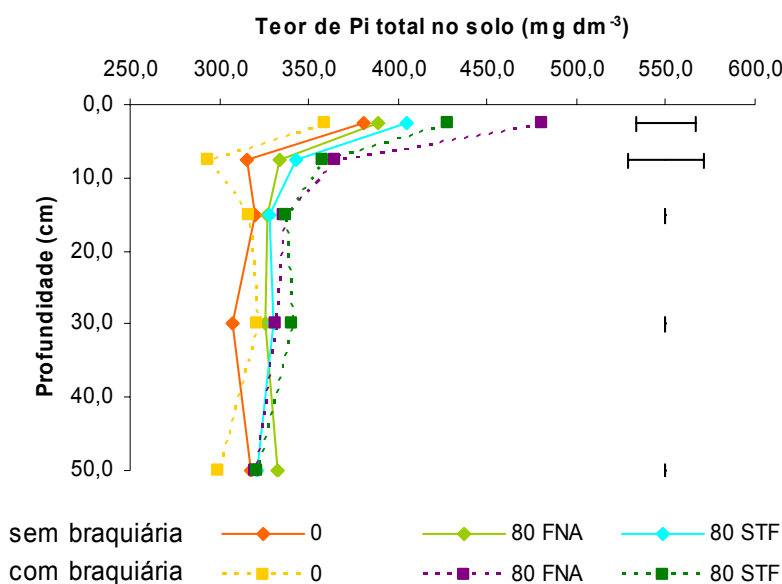
<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F

Esses efeitos nas quantidades de P total podem ser explicados, em parte, considerando que o solo estudado apresenta, em média,  $22 \text{ g dm}^{-3}$  de matéria orgânica em superfície, fornecendo fontes orgânicas de P, como fosfolipídios, fitina, ácidos nucleicos e nucleoproteínas. Sá (1999), com base em vários trabalhos, desenvolvidos no exterior e nos de Guerra (1993) e Sá (1995), no Brasil, explica que esse comportamento é respaldado no

argumento de que a fração orgânica de P poderia ser o reservatório principal de reabastecimento do íon fosfato para a solução do solo no SSD.

Em trabalho realizado por Catani & Bataglia (1968) foram verificados valores de fósforo total entre 741,0 a 1493,0 mg dm<sup>-3</sup> em Latossolos dos Estados de São Paulo e Paraná. De acordo com os mesmos autores, os valores de fósforo orgânico variaram de 347,2 a 511,0 mg dm<sup>-3</sup> para esses mesmos latossolos.

Embora, os maiores valores de P total sejam observados na camada de 0 a 5 cm de profundidade, a presença da braquiária proporcionou maiores valores da fração, independentemente da fonte de P empregada (Figura 19).



**Figura 19.** Valores médios do teor de fósforo inorgânico total no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

Rheinheimer & Anghinoni (2001), estudando solos do Rio Grande do Sul, constataram que o P-total varia de menos de 100 até mais de 1000 mg dm<sup>-3</sup>, dependendo do material de origem e do grau de evolução genética do solo. Portanto, a distribuição das formas inorgânicas de P varia de acordo com a mineralogia do solo. Os mesmos autores

encontram em SSD, os valores de 1085, 1068 e 897 mg dm<sup>-3</sup> nas camadas 0-2,5; 2,5-7,5 e 7,5-17,5 cm, respectivamente. Para um Podzólico, estes autores encontraram valores de P-total que variaram de 468 a 759 mg dm<sup>-3</sup>.

No SSD, os fertilizantes aplicados em superfície do solo sem a posterior incorporação têm aumentado os teores de P total na camada superficial. No entanto, o aumento nas formas orgânicas não acompanha o rápido incremento no P total (SELLES et al., 1997; RHEINHEIMER et al., 1998). Também, tem-se observado que podem ocorrer aumentos nos teores de C e N total sem alterar os teores de P orgânico (KINGERY et al., 1996). Isto indica que a ciclagem de P é menos eficiente do que a do N e do C, pois sofre reações de adsorção, e é mineralizado preferencialmente, o que resulta em acúmulo pronunciado de P inorgânico na camada superficial. Kuniski et al. (1982), também constataram que o P adicionado na superfície permaneceu como fosfato de Ca, tornando-se menos adsorvido pelos colóides do solo sob SSD, por três anos.

#### 6.4.8. Fósforo orgânico total

Os efeitos da aplicação dos fertilizantes fosfatados em superfície foram observados até 10 cm de profundidade. No tratamento com braquiária, não houve efeito significativo. Quando se analisa a interação do fertilizante fosfatado e braquiária, o efeito dos tratamentos ocorreu apenas na camada superficial (Quadro 20).

**Quadro 20.** Diferença mínima significativa para a variável fósforo orgânico total (mg dm<sup>-3</sup>) nas profundidades 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e da presença e ausência de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), Novembro/2006.

| Tratamentos               | Fósforo orgânico total (mg dm <sup>-3</sup> ) |                     |                     |                    |                     |
|---------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
|                           | 0 a 5                                         | 5 a 10 cm           | 10 a 20 cm          | 20 a 40            | 40 a 60 cm          |
| <b>DMS <sup>(1)</sup></b> |                                               |                     |                     |                    |                     |
| Fósforo Inicial (PI)      | 6,59 *                                        | 9,42 *              | 15,17 <sup>ns</sup> | 5,56 <sup>ns</sup> | 13,51 <sup>ns</sup> |
| Braquiária (B)            | 12,65 <sup>ns</sup>                           | 11,33 <sup>ns</sup> | 12,66 <sup>ns</sup> | 5,78 <sup>ns</sup> | 8,53 <sup>ns</sup>  |
| PI x B                    | 20,01 *                                       | 19,62 <sup>ns</sup> | 21,92 <sup>ns</sup> | 9,35 <sup>ns</sup> | 14,60 <sup>ns</sup> |
| <b>CV (%)</b>             |                                               |                     |                     |                    |                     |
| Fósforo Inicial           | 6,78                                          | 9,12                | 14,39               | 4,78               | 12,09               |
| Braquiária                | 17,23                                         | 14,53               | 15,31               | 6,57               | 10,11               |

<sup>(1)</sup>\*Diferença mínima significativa a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD)

<sup>ns</sup> não-significativo pelo teste F

Em estudo de fracionamento de P em Latossolo Vermelho-escuro foi constatado aumento de 33% de P lábil no plantio direto em relação ao convencional, sendo este resultado atribuído à elevação do P orgânico e à ausência de revolvimento do solo (SELLES, et al., 1997). Os mesmos autores verificaram também que, no cultivo mínimo e plantio direto, poderia haver mais P disponível para as plantas em função da mineralização lenta e contínua, realizada pela população microbiana, resultando na liberação de compostos orgânicos que atuam reduzindo a competição pelos sítios de adsorção.

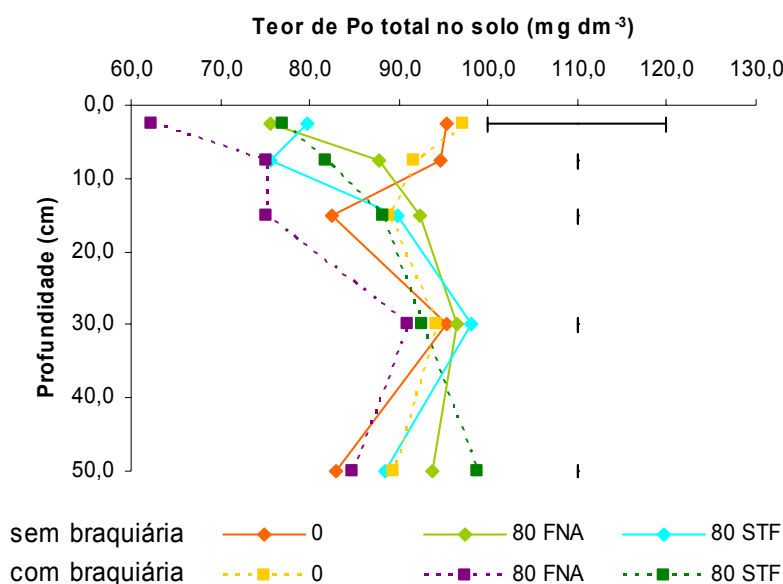
Quando o solo não é adubado e há adições de resíduos vegetais, a fração orgânica tampona o fósforo da solução do solo. Por outro lado, a adubação promove o acúmulo de fósforo nas formas inorgânicas, que tamponam a solução; a fração orgânica é utilizada em menor escala, permitindo sua acumulação. Quando da adição de fertilizantes fosfatados, ocorre a redistribuição do fósforo em todas as frações do solo, porém, o acúmulo é mais pronunciado nas frações inorgânicas lábeis. Com o tempo, há aumento da energia de adsorção e o fósforo passa gradativamente para formas de menor labilidade, o que caracteriza o processo de "envelhecimento do fósforo" (NOVAIS & SMYTH, 1999). Entretanto, no presente experimento, não foram observados efeitos da adoção do SSD. Na ausência da adubação fosfatada, independente da presença ou ausência da braquiária, não houve diferença significativa nos teores de fósforo orgânico total que indiquem um possível tamponamento da solução. Caso este fato tivesse ocorrido, reduções na fração orgânica seriam observadas com o cultivo da gramínea.

Observa-se que, na camada de 0 a 5 cm de profundidade, com braquiária, houve redução no teor de fósforo orgânico total com o fosfato reativo (Figura 20). Esse fato pode ser explicado pela baixa eficiência agronômica do fertilizante, fazendo com que a fração orgânica do solo tamponasse o fósforo presente em solução. Tiessen et al. (1984) demonstraram a participação das frações inorgânicas (fósforo geoquímico) e orgânicas (fósforo biológico) na manutenção da disponibilidade de P para as plantas. Dados semelhantes foram obtidos por Araújo et al. (1993b), Guerra et al. (1996).

Esses teores observados na fração de fósforo orgânico do solo, quando mineralizados pela população microbiana (ADEPETU & COREY, 1977), fornecem fósforo inorgânico ao solo, sendo o P-lábil dependente do fósforo orgânico. Beck & Sanches (1994), encontraram 44% do P orgânico respondendo pelos aumentos em P-lábil, e Tiessen et al.

(1984), encontraram, em 29 Ultissolos de diferentes áreas, 80% da variação de P-solução explicada pelo P orgânico.

Esse fato pode explicar a ausência de efeito dos fertilizantes fosfatados na produção de matéria seca, onde a fração orgânica foi utilizada como fonte de P pela cultura em questão (Quadro 6). Essa capacidade de utilização pelas plantas foi relatada por Tarafdar & Claassen (1988), onde plantas utilizam P de fontes orgânicas quase tão eficientemente como de fontes minerais, dada a hidrólise de P orgânico, liberando P inorgânico.



**Figura 20.** Valores médios do teor de fósforo orgânico total no solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 em função de fontes de fósforo aplicadas a lanço e braquiária (presença;ausência). Barra na horizontal = DMS a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t (LSD).

De acordo com Guerra et al., (1996) que encontraram valores médios de Po total de 50 mg dm<sup>-3</sup>, pode-se observar variação de 7 até 272 mg dm<sup>-3</sup>. Por sua vez, Condrón et al. (1990) obtiveram valores que atingiram 88 mg dm<sup>-3</sup> em amostras de solos da África e do Nordeste do Brasil, mas inferiores aos observados por Neptune et al. (1975) que obtiveram valores médios de 145 mg dm<sup>-3</sup> para amostras de solos de São Paulo e Paraná.

Correlacionando as frações fósforo total inorgânico e orgânico, observa-se que, na camada de 0 a 5 cm de profundidade, a fração orgânica corresponde em

média a 27 % do fósforo total e na camada de 0 a 10 e 10 a 20, o fósforo orgânico corresponde em média a 42% do fósforo total.

## 7. CONCLUSÕES

Embora a braquiária tenha absorvido mais P na presença de adubação a lanço, não houve resposta em termos de acúmulo de matéria seca, independentemente do fosfato aplicado.

Apesar de a braquiária promover incrementos nas diversas formas de P no solo, principalmente em formas lábeis no perfil, esses valores não são suficientes para alterar a nutrição da soja. Por outro lado, sem adubação fosfatada, pode haver prejuízo na produtividade de soja na presença de braquiária.

A utilização da fosfatagem não trouxe benefícios para o sistema, pois a maior dose de P no sulco de semeadura eliminou as diferenças que existiam entre os tratamentos realizados.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEPETU, J. A.; COREY, R. B. Organic phosphorus as a predictor of plant-available phosphorus in soils of southern Nigeria. **Soil Science**, Baltimore, v. 122, p. 159-164, 1976.

ADEPETU, J. A.; COREY, R. B. Changes in N and P availability and P fractions in two soils from Nigeria under intensive cultivation. **Plant and Soil**, v.46, p.309-316, 1977.

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

AFIF, E.; BARRON, V.; TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by cerrado soils from Brazil. **Soil Science**, Baltimore, v. 159, p. 207-211, 1995.

AGUILAR, S. A.; VAN DIEST, A. Rock-phosphate mobilization induced by the alkaline uptake pattern of legumes utilizing symbiotically fixed nitrogen. **Plant and Soil**, Hague, v. 61, p. 27-42, 1981.

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York: Wiley and Sons, 1977. p. 333-339.

ALVES, G. L. N. **Micorriza vesicular-arbusculares no crescimento e utilização do fósforo do solo pela braquiária e estilosantes**. 1988. 42 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1988.

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

ANGHINONI, I.; VOLKWEISS, S. J. Recomendações de uso de fertilizantes no Brasil. In: I SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília, DF: EMBRAPA, 1984. p.179-204.

ARAUJO, M.S.B.et al. Efeito fertilizações fosfatadas anuais em solo cultivado com cana-de-açúcar. I. Intensidade e formas de acumulação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v 17, p. 389-396, 1993a.

ARAUJO, M. S. B.et al. Efeito fertilizações fosfatadas anuais em solo cultivado com cana-de-açúcar. II. Formas disponíveis e efeito residual do P acumulado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v 17, p. 397-403, 1993b.

BALL-COELHO, B. et al. Short- and long-term phosphorus dynamics in a fertilized ultisol under sugarcane. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 57, p. 1027-1034, 1993.

BARROW, N.J. The four laws of soil chemistry: the Leeper lecture 1998. **Australian Journal of Soil Science**, Oxford, v. 37, p. 787-829, 1999.

BARROW, N.J. et al. Effect of previous additions of superphosphate on sorption of phosphate. **Australian Journal of Soil Research**, Oxford, v 36, p. 359-372, 1998.

BAYER, J.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.308-352.

BECK, M. A.; SANCHEZ, P. A. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a typic paleudult. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 1424-1431, 1994.

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

BELDROCK, C. N.; CHESHIRE, M.V.; SHAND, C. A. The involvement of iron and aluminum in the bonding of phosphorus to soil humic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 28, p. 961-971, 1997.

BERNARDI, AC.C. et al. **Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2003. 22 p. (Documentos, 46).

BERTRAND, I. et al. Dynamics of phosphorus in the rhizosphere of maize and rape grown on synthetic, phosphated calcite and goethite. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.211, p.111–119, 1999.

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, p.1089-1095, 1998.

BRAGA, N. R. et al. Eficiência agronômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 315-319, 1991.

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

BORKET, C.M. et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea de culturas de cobertura de solo para semeadura direta com rotação de culturas (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, Brasília,DF, 1999. **Anais...** Brasília,DF: SBSC;EMBRAPA;CPAC,1999.

BROCH, D. L. Soja PD em brachiária. **Direto no Cerrado**, Brasília, DF, v. 2, v. 4, p. 8-9, 1997.

CAIRES, E. F. Manejo da fertilidade do solo nos sistema plantio direto: experiências no Estado do Paraná (compact disc).Santa Maria,RS. In: FERTBIO 2000, Santa Maria, RS, 2000.

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.

CASSIOLATO, M.E. et al. Avaliação da eficiência de resíduos vegetais na solubilidade e reatividade de fosfatos na absorção pela plantas (compact disc). Brasília, DF. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1999, Brasília, DF, 1999.

CASSOL, P. C.; GIANELLO, C.; COSTA, V. E. U. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 635-644, 2001.

CATANI, R. A.; BATAGLIA, O. C. Formas de ocorrência do fósforo no solo latosólico roxo. In: **Anais...** E.S.A. "Luiz de Queiroz", Vol. XXV, p.99-119, 1968.

CHEN, C. R. et al. Phosphorus dynamics in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and radiata pine (*Pinus radiata* D. Don.). **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 34, p. 487-499, 2002.

CHIEN, S. H.; HAMMOND, L. L. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potencial of phosphate rocks for direct application. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, p. 935-939, 1978.

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

CHOUDHARY, M. et al. Longterm comparison of rock phosphate with superphosphate on crop yield in two cereal-legume rotations. **Canadian Journal of Plant Science**, Harrow, v. 74, p. 303-310, 1994.

CHOUDHARY, M.; BAILEY, L. D.; PECK, T. R. Effects of rock phosphate and superphosphate on crop yield and soil phosphorus test in long-term fertility plots. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, n. 18-20, p.3085-3099, 1996.

CONDRON, L. M.; GOH, K. M. Molecular weight distribution of soil organic phosphorus under irrigated pasture in New Zealand. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 40, p. 873-878, 1989.

CONDRON, L. M. et al. Chemical nature of organic phosphorus in cultivated and uncultivated soils under different environmental conditions. **Journal of Soil Science**, Oxford, v 41, p.41-51, 1990.

CONDRON, L. M.; GOH, K. M.; NEWMAN, R. H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by  $^{31}\text{P}$  nuclear magnetic resonance analysis. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 36, p. 199-207, 1985.

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

COUTO, W.; LEITE, G. G.; KORNELIUS, E. The residual effect of P and lime on the performance of four tropical grasses in a high P-fixing oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, p. 539-542, 1985.

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.

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

DAROUB, S. H.; PIERCE, F. J.; ELLIS, B. G. Phosphorus fractions and fate of phosphorus-33 in soils under plowing and no-tillage. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 64, p. 170-176, 2000.

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, p. 93-99, 2001.

DOBERMANN, A.; GEORGE, T.; THEWS, N. Phosphorus fertilizer effects on soil phosphorus pools in acid upland soils. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 66, p. 652-660, 2002.

DUFFERA, M.; ROBARGE, W. P. Characterization of organic and inorganic phosphorus in the highland plateau soils of Ethiopia. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 27, p. 2799-2814, 1996.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília,DF. Rio de Janeiro, 1999, 412 p.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília,DF. Rio de Janeiro, 1997, 212 p..

ESTEVES, J. A. de F. et al. Produção de tritcale em função da aplicação de fontes de fósforo(compact disc) .Rio de Janeiro, RJ, 2002 In: FERTBIO 2000, Rio de Janeiro,RJ, 2002.

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

FARDEAU, J. C. Dynamics of phosphate in soils: na isotopic outlook. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 45, p. 91-100, 1996.

FASSBENDER, H. W. **Química de Suelos**. Turrialba, IICA, 1975. 398 p.

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

FERNANDEZ, I. E. J. **Reversibilidade de fósforo não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica ou química**. 1995. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa,MG, 1995.

FERREIRA, D. F.; Análises estatísticas por meio do SISVAR par Windows versão 4.0 In: **REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMATRIA**, 45, 2000, São Paulo. **Anais...** São Carlos: UFSCAR, 2000, p. 225-258,.

FIXEN, P. E.; GROVE, J. H. Testing soils for phosphorus. In: WESTERMAN, R. L. (Ed.). **Soil testing and plant analysis**, 3 rd ed. Madison: WI SSSA, 1990, p. 141-180.

FONTANA, A. et al. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília,DF, v. 41, p. 847-853, 2006.

FOTYMA, M.; HAMMOND, L.; KESIK, K. Suitability of North Carolina natural phosphate to Polish agriculture. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 43, p. 83-86, 1996.

FRANCISCO, E. A. B. **Antecipação da adubação da soja na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn em sistema de plantio direto**. Piracicaba, SP, 58p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

FRIESSEN, D. K. et al. Phosphorus acquisition and cycling in crop and pasture systems in low fertility tropical soils. **Plant and Soil**, v.196, p. 289-294,1997.

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, p. 181-188, 1997.

GARCIA, R. et al. Forrageiras utilizadas no sistema integrado agricultura pecuária. In: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A. A. da; AGNES, E. L. **Manejo integrado: integração agricultura pecuária**. Viçosa: UFV;DFP;DFT, 2004. p. 331-352.

GARDNER, W. K.; BARBER, D. A.; PARBERY, D. G. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. III. The probable mechanism by which phosphorus movement in the soil/root interface is enhanced. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 70, p. 107-124, 1983.

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

GERRETSEN, F. C. The influence of microorganisms on the phosphate intake by the plant. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 1, p. 51-81, 1948.

GERKE, J. HERMANN, R. Adsorption of orthophosphate to humic-Fe-complexes and to amorphous Fe-oxide. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, Weinheim, v. 155, p. 233-236, 1992.

GEELHOED, J. S.; RIEMSDIJK, W. H. van; FINDENEGG, G. R. Simulation of the effect of citrate exudation from roots on the plant availability of phosphate adsorbed on goethite. **European Journal of Soil Science**, v. 50, p. 379-390, 1999.

GILLESPIE, A. R.; POPE, P. E. Rhizosphere acidification increases phosphorus recovery of Black Locust – II: model predictions and measured recovery. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 54, p. 538-541, 1990.

GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados . In: SEMINÁRIO DE FÓSFORO, CÁLCIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES: **SITUAÇÃO**

**ATUAL E PERSPECTIVA NA AGRICULTURA**, 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: MANAH, 1986. p. 21-53.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 15, nº 3, p. 311-318, 1980.

GOEDERT, W. J. **Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais**. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1986. 21 p. (Documentos, 24).

GOEPFERT, C.F.; TEDESCO, A. Efeito de fontes, níveis de fósforo e granulometria de fosfatos naturais sobre o rendimento de grãos de colza e de soja. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, RS, v. 22, p. 53-59, 1986.

GUERRA, J. G. M. **Produção sazonal de Brachiaria decumbens STAPF. conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural**. 234 p. (Doutorado em Agronomia), Rio de Janeiro, RJ, 1993.

GUERRA, J. G. M. et al. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF v. 31, p. 291-299, 1996.

GUGGENBERGER, G.; HAUMAIER, L.; THOMAS, R. J. Assessing the organic phosphorus status of an oxisol under tropical pastures following native savanna using  $P^{31}$  NMR spectroscopy. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, p. 332-339, 1996.

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

GUO, F. et al. Changes in phosphorus fractions under intensive plant growth. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 64, p. 1681-1689, 2000.

HAYNES, R. J. Lime and phosphate in the soil plant system. **Advances in Agronomy**, New York, v. 37, p. 249-315, 1984.

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 American Journal**, Madison, v. 46, p. 970-976, 1982.

HINSINGER, P.; GILKES, R. J. Mobilization of phosphate from phosphorus rock and alumina-sorbed phosphate by the roots of ryegrass and clover as related to rhizosphere pH. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.47, p.533–544, 1996

HINSINGER, P.; GILKES, R. J. Dissolution of phosphate rock in the rhizosphere of five plant species grown in an acid, P fixing mineral substrate. **Geoderma**, Amsterdam, v.75, p.231–249, 1997.

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

HINSINGER, P. et al. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: a review. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 248, p. 43–59, 2003.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência de dois fosfatos naturais afetada pelo tamanho de partícula. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 41-47, 2003.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T. ; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p.665-668.

HUANG, P. M.; VIOLANT, A. Influence of organic acids on crystallization and surface properties of precipitation products of aluminium In: HUANG, P. M.; SCHNITZER, M., (Eds.). Interaction of soil minerals with natural organics and microbes. Madison, **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 1986. p.159-221. (SSSA Special Publication, 17).

HUE, N. V.; CRADDOCK, G. R.; ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminium toxicity in subsoils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 28-34, 1986.

HUE, N. V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, Baltimore, v. 152, p. 463-471, 1991.

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, p. 1701-1706, 1989.

JUNGK, A.; SEELING, B.; GERKE, J. Mobilization of different phosphate fractions in the rhizosphere. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 155 n<sup>o</sup>. 156. p. 91-94, 1993.

- KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: NRS, SBCS, 1997. 31 p. (Boletim técnico, 3).
- KHASAWNEH, F. E.; DOLL, E. C. The use of phosphate rock for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 30, p. 159-206, 1978.
- KINGERY, W. L.; WOOD, C. W.; WILLIAMS, J. C. Tillage and amendment effects on soil carbon and nitrogen mineralization and phosphorus release. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 37, n. 4, p. 239-250, 1996.
- KIRK, G. J. D. A model of phosphate solubilization by organic anion excretion from plant roots. **European Journal Soil Science**, v. 50, p. 369- 378, 1999.
- KIRK, G. J. D.; SANTOS, E. E.; SANTOS, M. B. Phosphate solubilization by organic anion excretion from rice growing in aerobic soil: rates of excretion and decomposition, effects on rhizosphere pH and effects on phosphate solubility and uptake. **New Phytology**, v. 142, p. 185-200, 2000.
- 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.
- KORNDÖRFER, G. H. **Capacidade de fosfatos naturais e artificiais de fornecerem fósforo para plantas de trigo**, 1978. 61f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1978.
- KORNDÖRFER, G .H.; CABEZAS, W. A. L.; HOROWITZ, N. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais estrangeiros na cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997, p. 145.
- KUNISHI, H. M.; BANDEL, V. A.; MULFORD, F. R. Measurement of available soil phosphorus under conventional and no-till management. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 13, n. 8, p. 607-618, 1982.
- KROTH, P. L. **Disponibilidade de fósforo no solo para plantas e fatores que afetam a extração por resina de troca em membrana**, 1998. 168 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

LAJTHA, K.; HARRISON, A. F. Strategies of phosphorus acquisition and conservation by plants species and communities. In: TIESSSEN, H. (Ed.). Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management. **Journal Wiley**, 1995, p. 139-146.

LEHR, J. R.; McCLELLAN, G. H. **A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rocks for direct application**. Muscle Shoals: National Fertilizer Development Center, TVA, 1972. 36 p. (Bulletin Y-43).

LINDO, P.V. et al. Fractionation of residual phosphorus in a highly weathered sludgetreated soil: organic phosphorus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 26, p. 2639-2653, 1995.

LINDSAY, W. L.; VLEK, P. L. G.; CHIEN, S. H. Phosphate minerals. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Eds.) **Minerals in soil environments**. Madison: SSSA, 1989. p. 1089-1130.

LINQUIST, B. A.; SINGLETON, P. W.; CASSMAN, K. G. Inorganic and organic phosphorus dynamics during a build-up decline phosphorus in a ultisol. **Soil Science**, New Brunswick, v. 162, p. 254-264, 1997.

LOPEZ HERNANDEZ, D.; SIEGERT, G.; RODRIGUEZ, J.V. Competitive adsorption of phosphate with malate and oxalate by tropical soil. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 57, 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.

MAGID, J. Vegetation effects on phosphorus fraction in set-aside soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 149, n. 1, p. 111-119, 1993.

MAGID, J.; TIESSSEN, H.; CONDRON, L. M. Dynamics of organic phosphorus in soils under natural and agricultural ecosystems. In: PICCOLO, A. (Ed.) **Humic substances**. Elsevier. Amsterdam. p. 429- 466, 1996.

MALAVOLTA, E. A absorção de elementos pela raiz. In: MALAVOLTA, E. In: **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1980.

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

MAROKO, J. B.; BURESH, R. J.; SMITHSON, P. C. Soil phosphorus fractions in unfertilized fallow-maize systems on two tropical soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 63, p. 320-326, 1999.

MARSCHNER, H. Root-induced changes in the availability of micronutrients in the rhizosphere. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 1991, p.503-528.

McKENZIE, R.H. et al. Long-term crop rotation and fertilizer effects on phosphorus transformations: I. In a chernozemic soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Oxford, v. 72, p. 569-579, 1992a.

McKENZIE, R. H. et al. Long-term crop rotation and fertilizer effects on phosphorus transformations: I. In a luvisolic soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Oxford, v. 72, p. 581-589, 1992b.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**, 2<sup>nd</sup> ed. San Diego: Academic press, 1995. 889 p.

MARWAHA, B.C. Rock phosphate holds the key to productivity in acid soils: a review. **Fertiliser News**, v. 34, n. 3, p. 23-29, 1989.

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

MESQUITA FILHO, M. V.; TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soils from the cerrado region (Brazil). **Geoderma**, Amsterdam, v. 58, p. 107-123, 1993.

MINHONI, M. T. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; EIRA, A. F. Efeito de cinco tipos de matéria orgânica na solubilização microbiana de fosfato de rocha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 29-35, 1991.

MONTECINOS, C. Manejo biológico del fósforo en el suelo. **Agroecología y Desarrollo: revista de CLADES.**, v. 8, n. 9, Nov., 1997.

MORAES, R. N. de S. **Decomposição das palhadas de sorgo e milho, 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.

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

MOREL, C.; HINSINGER, P. Root-induced modifications of the exchange of phosphate ion between soil solution and soil solid phase. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 211, p. 103–110, 1999.

MOTOMYA, W.R. et al. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 307-313, 2003.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 27, n. 1, 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.

NAHAS, E. **Ciclo do fósforo: transformações microbianas**. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 67 p.

NAHAS, E. Microrganismos do solo produtores de fosfatases em diferentes sistemas agrícolas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 3, p. 267-275, 2002.

NEPTUNE, A. M. L.; TABATABAI, M. A.; HANWAY, J. J. Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulfur relationships in some Brazilian and Iowa soils. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v. 39, p. 51-55, 1975.

NEUMANN, G. et al. Physiological adaptations to phosphorus deficiency during proteoid root development in white lupine. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 208, p. 373–382, 1999.

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

NZIGUHEBA, G. et al. Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 198, p. 159-168, 1998.

OBERSON, A. et al. Microbiological processes in soil organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems. **Biology and Fertility of Soils**, Heilderber, v. 21, p. 138-148, 1996.

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.

OTABBONG, E. et al. The ultuna long-term soil organic matter experiment. **Plant and Soil**, Dordrecht, v 195, p. 17-93, 1997.

PAIVA, P. L. R. et al. Efeito do manejo do solo sobre os teores de matéria orgânica, nitrogênio mineral, fósforo e bases trocáveis. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 21, p. 35-43, 1997.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. Alterações nas frações de fósforo no solo associadas com a densidade populacional de cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 251-256, 1996.

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

PAUL, N. B.; RAO, W. V. B. S. Phosphate-dissolving bacteria in the rhizosphere of some cultivated legumes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 35, n. 1, p. 127-132, 1971.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A.; MERLIN, A. Extratos de plantas e sua influência no fósforo do solo (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30. 2005, Recife, 2005.

PAVINATO, P. S. **Dinâmica do fósforo no solo em função do manejo e da presença de resíduos em superfície**, 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2007.

PEARSE, S.J. et al. *Triticum aestivum* (L.) shows a greater biomass response to a supply of aluminium phosphate than *Lupinus albus* despite releasing fewer carboxylates into the rhizosphere. **New Phytology**, v. 169, p. 515–524, 2006.

PEARSE, S. J. et al. Carboxylate composition of root exudates does not relate consistently to a crop species' ability to use phosphorus from aluminium, iron or calcium phosphate sources. **New Phytology**, v. 173, p. 181–190, 2007.

PIRES, L. F. S. **Avaliação do fósforo "disponível" por dois extratores químicos em solos submetidos a fertilização com diferentes fosfatos**. 1983. 31 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1983.

PITOL, C.; GOMES, E. L.; ERGES, E. I. Avaliação de cultivares de soja em plantio direto sobre braquiária. In: FUNDAÇÃO MS. **Resultados de pesquisa e experimentação: safra 2000/2001**. Maracajú, 2001. p. 40-48.

RAIJ, B. V.; FEITOSA, C. T.; GROHMANN, F. Eficiência agronômica de fosfatos naturais brasileiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, 1981. Salvador. **Mesa Redonda sobre adubação fosfatada no Brasil...** Salvador, BA: CEPLAC; 1981. p. 46-67.

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

RAIJ, B. Van. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001.

RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, J. H.; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, v. 57, p. 77-159, 1996.

RHAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Stanford, v. 50, p. 665-693, 1999.

REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Eficiência agronômica do fosfato natural da Carolina do Norte em solo de Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, 1994, Petrolina. **Anais...** Petrolina, PE: EMBRAPA, CPATSA, 1994. p. 38-40.

RENGEL, Z.; MARSCHNER, P. Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences. **New Phytology**, v. 168, p. 305–312, 2005.

RHEINHEIMER, D. S.; et al. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 4, p. 713-721, 1998.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção de fósforo inorgânico de diferentes frações provocadas pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p. 345-354, 2000.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 1, p. 151-160, 2001.

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, p. 1853-1871, 2002.

RICHARDS, J. E.; BATES, T. E.; SHEPPARD, S. C. Changes in the forms and distribution of soil phosphorus due to long-term corn production. **Canadian Journal of Soil Science**, Oxford, p. 311-318, 1995.

RYAN, P. R.; DELHAIZE, E.; JONES, D. L. Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Stanford, v. 52, p. 527-560, 2001.

ROELOFS, R.F.R. et al. **Plant Cell Environment**. v.24, p.891-, 2001.

RODRIGUES, C.R. **Frações de fósforo e produção da soja e feijoeiro em sucessão a gramíneas adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados**, 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

ROESSING, A. C. et al. **Aspectos econômicos da racionalização de adubação da soja no Paraná e no Brasil**. Seminário Nacional de Pesquisa de Soja, 2, 1981, Brasília, DF, – EMBRAPA, CNPSo. p.659-669.

RUBAEK, G. H.; SIBBESEN, E. Soil phosphorus dynamics in a long-term field experiment at Askov. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 20, p. 86-92, 1995.

SÁ, J. C. M. **Plantio direto**: transformações e benefícios ao agroecossistema. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISETMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. Anais...Castro: Fundação ABC, 1995, p.9-20.

SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O. et al. (eds.). **Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: SBCS, 1999, p.267-319.

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

SANYAL, S. K.; DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. In: STEWART, B. A. (ed) **Advances in soil science**, New York, v. 16, p. 01-120, 1991.

SATTELL, R. R.; MORRIS, R. A. Phosphorus fractions and availability in Sri-Lankan Alfisols. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 56, p. 1510-1515, 1992.

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

SCHWERTMANN, U.; KOMADA, H.; RISCHER, W. R. Mutual interaction between organics and iron oxides. In: HUANG, P. M.; SCHNITER, M. (Eds.) **Interaction of soil minerals with natural organics and microbes**. Madison: SSSA, 1986. p. 223-250. Special publication n° 17.

SELLES, F. et al. Distribution of phosphorus fractions in Brazilian Oxisol under different tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 44, p. 23-34, 1997.

SEGATELLI, C. R. **Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn**, 2004. 58p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

SFREDO, G. J. et al. **Efeitos de níveis e fontes de fósforo sobre a disponibilidade de fósforo e sobre o rendimento da soja**. In: Seminário Nacional de Pesquisa de Soja, 2, 1981, Brasília, DF, EMBRAPA CNPSo, p.659-669.

SFREDO, G. J. et al. **Soja: nutrição mineral, adubação e calagem**. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1986. 51 p. (Documentos, 17).

SHARPLEY, A. N. Phosphorus cycling in unfertilized and fertilized agricultural soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 49, p. 905-911, 1985.

SHARPLEY, A. N.; SMITH, S. Fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 49, p. 127-130, 1985.

SHARPLEY, A. N.; TIESSEN, H.; COLE, C.V. Soil phosphorus forms extracted by soil tests as a function of pedogenesis. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 51, p. 362-365, 1987.

SIBANDA, H. M.; YOUNG, S. D. Competitive adsorption of humic acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils. **Journal of Soil Science**, New York, v. 37, p. 197-204, 1986.

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, p. 249-254, 1985.

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Solubilização de fosfatos por microrganismos na presença de fontes de carbono. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 311-329, 2000.

SILVA, M. L. N. et al. Rotação adubo verde-milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 6, p. 649-654, 1997.

SINGH, C. P.; AMBERGER, A. Organic acids and phosphorus solubilization in straw compost with rock phosphate. **Bioresource Technology**, v. 63, p.13-16, 1998.

SIQUEIRA, J. O. et al. Significance of phenolic compounds in plant-soil-microbial systems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 10, n. 1, p. 63-121, 1991.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência no cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24. 2000, Santa Maria. Santa Maria: SBCS, 2000. 1 CD-ROM.

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, p.133-139, 2003.

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

STEWART, J. W. B.; SHARPLEY, A. N. Controls on dynamics of soil and fertilizer phosphorus and sulfur. In: FOLLETT, R. F. et al. (Eds.) **Soil Fertility and organic matter as critical components of production systems**. Madison: SSSA, 1987, p. 101-121.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University, 1989. 277 p.

SMILEY, R. W. Rhizosphere pH as influenced by plants, soils, and nitrogen fertilizers. **Soil Science Society America Proceeding**. v. 38, p. 795-801, 1974.

SOUZA, E. M. O.; PEREIRA, R. M. F. V. Solubilidade e disponibilidade de fosfatos em três tipos de solos do estado do Amazonas. Ver. U.A: série ciências agrárias, Amazonas, v. 1, p. 15-22, 1991.

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

SYLVESTER-BRADLEY, R. et al. Levantamento quantitativo de microrganismos solubilizadores de fosfatos na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras na Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 12, n. 1, p. 15-22, 1982.

SWART, P. H0.; VAN DIEST, A. The rock-phosphate solubilizing capacity of Pueraria javanica as affected by soil ph, superphosphate priming effect and symbiotic N<sub>2</sub> fixation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 100, p. 135-147, 1987.

SUI, Y.; THOMPSON, M. L.; SHANG, C. Fractionation of phosphorus in a mollisol amended with biosolids. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.63, p. 1174-1180, 1999.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 1, p. 301-307, 1969.

TATE, K. R. NEWMAN, R. K. Phosphorus fractions of a climosequence of soils in New Zealand tussock grassland.. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 14, p. 191-196, 1982.

TARAFDAR, J. C.; CLAASSEN, N. Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms. **Biology and Fertility Soils**, v. 5, p. 308-312, 1988.

TANG, C. et al. Proton release of two genotypes of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by N nutrition and P deficiency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 260, p. 59–68, 2004.

THIEN, S. J.; MYERS, R. Determination of bioavailable phosphorus in soil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.56, p. 814-818, 1992.

THOMAS, G. W. Mineral nutrition and fertilizer placement. In: SPRAGUE, M.A.; TRIPLETT, G. B. **No-tillage and surface-tillage agriculture: the tillage revolution**. New York: John Wiley, 1986, p.1-18.

TIESSSEN, H.; STEWART, J. W. B.; COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 48, p. 853-858, 1984.

TIESSSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, Amsterdam, v. 38, p. 139-151, 1992.

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, DF, v. 37, p.1467-1476, 2002.

TRAN, T. S.; N'DAYEGAMIYE, A. Long-term effects of fertilizers and manure application on the forms and availability of soil phosphorus. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 281-285, 1995.

WANG, B.L. et al. Citrate exudation from white lupin induced by phosphorus deficiency differs from that induced by aluminum. **New Phytology**, v. 169, p. 515–524, 2007.

WEIL, R. R. et al. Influence of tillage practices on phosphorus distribution and forms in three ultisols. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 503-509, 1988.

WHITELAW, M. A. Growth promotion of plant inoculated with phosphate-solubilizing fungi. **Advances in Agronomy**, New York, v. 69, p. 99-151, 2000.

ZHANG, T. Q.; MACKENZIE, A. F. Changes of soil phosphorus fractions under long-term corn monoculture. **Soil science Society of American Journal**, Madison, v. 61, p. 485-493, 1997.