

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**EVOLUÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA, DO FÓSFORO E DA AGREGAÇÃO  
DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA EM  
PLANTIO DIRETO, SUBMETIDO A INTENSIDADES DE PASTEJO**

**Edicarlos Damacena de Souza  
(Tese de Doutorado)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**EVOLUÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA, DO FÓSFORO E DA AGREGAÇÃO  
DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA EM  
PLANTIO DIRETO, SUBMETIDO A INTENSIDADES DE PASTEJO**

**EDICARLOS DAMACENA DE SOUZA**  
**Engenheiro Agrônomo (UFG)**  
**Mestre em Sistemas de Produção (UNESP)**

Tese apresentada como um dos requisitos à  
obtenção do Grau de Doutor em  
Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil  
Julho, 2008



“E sabemos que todas as coisas contribuem  
juntamente para o bem daqueles que amam a  
Deus; daqueles que são chamados segundo o seu  
propósito.” (Romanos 8:28)

Aos meus pais, José Carlos e Aparecida, e meu irmão, Carlos Eduardo, por todo apoio e por serem meu alicerce nesta jornada.

À minha princesinha, Tanikely, pelos bons momentos compartilhados até essa fase de nossa vida e, por ser o motivo dessa rápida permanência em Porto Alegre.

Ao Helder, mestre e amigo, que me ensinou o significado da humildade.

Ao Marco Aurélio, primeiro mestre a quem devo este título.

A vocês, DEDICO esse trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Deus, pelo dom da vida e por ter me dado a oportunidade de poder concluir este curso, o qual foi uma promessa que Ele já tinha me feito; por seu cuidado em cada momento desta caminhada, principalmente nas viagens à Fazenda do Espinílho, onde pude sentir seu cuidado e amor para comigo;

Ao professor Ibanor Anghinoni pela orientação e mais ainda, pelo exemplo de profissional; por ser, não somente um grande orientador, mas um grande pai que nunca nos desamparou em nenhum momento desta jornada; um exemplo de pessoa a qual terei o maior orgulho de seguir e poder ser chamado de seu discípulo;

Ao professor Paulo Carvalho pelo exemplo de profissional e perseverança, por todo apoio concedido em todas as etapas deste trabalho e, por transmitir com tanto entusiasmo a paixão pela integração agricultura-pecuária;

Ao grande amigo Sérgio Ely Valadão Gigante de Andrade Costa, pela amizade, companheirismo, apoio em todas as fases de elaboração deste trabalho, pelos sábios conselhos, pela humildade e por ser um exemplo a ser seguido;

A uma pessoa que ficará guardada de forma indelével em meu coração, Chris, pela amizade e por todos os momentos felizes que passamos em Porto Alegre; pelas jantinhas, churrasquinhos, broncas, estudos, empréstimos de cartão; te agradeço por tudo minha maninha querida;

Às minhas amigas Dani e Andréa que foram pessoas que me fizeram sentir menos saudades em Porto Alegre, pois foram uma parte da minha família nesta cidade;

Ao grande amigo Adãozinho pelos valiosos conhecimentos transmitidos durante esse período, e pela amizade grandiosa, pelas conversas, conselhos, pelos tremendos churrascos feitos gauderamente nas manhãs de domingo;

Aos bolsistas de iniciação científica Amanda, Eduardo e Marcelo pelo auxílio nas análises laboratoriais; por todo o apoio durante este período, sendo eles de grande importância para que este trabalho fosse concluído;

Aos colegas e ex-colegas de república Paulo César, Carlos e Eric pela convivência;

Ao amigo Fred, pela amizade, pelo apoio nas discussões dos dados e pela contribuição no exame de qualificação e defesa;

Ao professor, no real sentido da palavra, João Mielniczuk pelo seu exemplo de profissionalismo, pelas valiosas contribuições em minha formação, pela humildade e simpatia e por todo apoio no exame de qualificação e defesa;

Ao colega Luís César Cassol pela participação na banca e por ser o idealizador deste experimento, o qual foi de grande importância para nossa formação;

Aos professores do Departamento de Solos por todo conhecimento que me passaram durante esses anos, em especial aos professores Meurer, Bissani, Elvio, Inda Jr, Paulo César, João, Renato, Cassol, Deborah, Cimélio, Jaques, Fábio e Flávio;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo por propiciar a oportunidade de trabalhar com esta grande e competente equipe;

A CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado, sem a qual seria impossível concluir o curso;

À Cabanha Cerro Coroado por todo apoio logísticos e de infra-estrutura para a condução deste trabalho;

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial ao Seu Zé, Tonho e Jader pela paciência e pelo apoio nos momentos de dificuldade;

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em especial ao André, Osmar, Analú, Brenda, Felipe, Juliana, Graciele, Jean, Jeane, João Maçãs, Luís de França, Marquel, Regilene, Regina, Robson e Vanessa;

A todos que de uma maneira ou outra contribuíram para a conclusão desta jornada de minha vida.

# **EVOLUÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA, DO FÓSFORO E DA AGREGAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO, SUBMETIDO A INTENSIDADES DE PASTEJO<sup>1</sup>**

Autor: Edicarlos Damacena de Souza  
Orientador: Ibanor Anghinoni

## **RESUMO**

Em sistemas de plantio direto com plantas de cobertura e produção de grãos, a dinâmica da matéria orgânica, do fósforo e da biomassa microbiana é diferenciada, quando comparada com a que ocorre com a inserção do animal nesse sistema, que pode promover uma melhoria nas propriedades funcionais do solo. No entanto, são poucos os trabalhos que tem o foco voltado para essa ótica para um melhor entendimento dos mecanismos e processos e que levam ao surgimento e ampliação das propriedades emergentes do sistema. O objetivo deste trabalho foi de avaliar a evolução, no tempo e no perfil do solo, da matéria orgânica, do fósforo, da biomassa microbiana e da agregação em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo e produção de soja. O trabalho foi conduzido nesse sistema por seis anos em São Miguel das Missões (RS) em Latossolo Vermelho distrófico, submetido ao pastejo a 10, 20 e 40 cm de altura de azevém + aveia preta, e sem pastejo no inverno. Os teores e os estoques de carbono e de nitrogênio, aumentaram até 20 cm de profundidade. A exceção foi para a maior pressão de pastejo (10 cm), cujos valores tenderam a diminuir a partir do terceiro ano. Todas as formas e frações de fósforo se acumularam no solo com o tempo, independentemente da intensidade de pastejo, porém predominantemente como fósforo inorgânico moderadamente lábil, que atingiu 20 cm, e o orgânico, até 10 cm de profundidade. A fração lábil desse nutriente foi a primeira a aumentar, sendo a única afetada pelo pastejo, com menor aumento na maior pressão. O carbono, o nitrogênio e o fósforo na biomassa microbiana variaram em função do desenvolvimento da pastagem, não havendo efeito negativo da inserção dos animais em intensidades moderadas de pastejo. Houve efeito positivo da inserção dos animais na agregação do solo, principalmente na camada 5 a 10 cm. Sistemas de integração agricultura-pecuária em plantio direto podem ser utilizados em intensidades moderadas de pastejo, pois nessas intensidades os ganhos na qualidade do solo são similares ou superiores ao plantio direto sem a inserção dos animais.

---

<sup>1</sup> Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil. (163p.) – Julho, 2008. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq, Fundação Agrisus e Cabanha Cerro Coroado.



# **EVOLUTION IN ORGANIC MATTER AND PHOSPHORUS CONTENT AND IN SOIL AGGREGATION ON AN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM UNDER NO-TILLAGE AND DIFFERENT GRAZING INTENSITIES<sup>1</sup>**

Author: Edicarlos Damacena de Souza

Adviser: Ibanor Anghinoni

## **ABSTRACT**

The organic matter, phosphorus and microbial biomass dynamics in no-tillage systems is different for crop production and cover plants only or with the presence of the animal. In integrated crop-livestock systems, the functional properties of the soil can be mostly improved. However, there is a lack of studies in this focus, and the understanding of the mechanisms and processes involved in the soil emerging properties is still poor. This research was conducted to evaluate how organic matter, phosphorus, biomass activity and soil aggregation status progress in time and in soil depth under a crop-livestock integration system under no-tillage when submitted to different grazing intensities. The research was conducted for six years in São Miguel das Missões (RS, Brazil), in a Rhodic Hapludox (Oxisol), under different cattle grazing (ryegrass + black oat) pressures (10, 20, and 40 cm of sward height) and a no-grazing treatment, in the winter, and soybean in the summer. The total organic carbon and nitrogen stocks and contents increased, mostly without grazing, that reached up to 20 cm in soil depth at the sixth year of the experiment. Exception was the highest pressure intensity (10 cm) treatment, where carbon content decreased from the third to the sixth year. All phosphorus forms and fractions accumulated in the soil, mostly in the inorganic moderately labile form, up to 20 cm soil depth, and the organic one up to 10 cm, independently of grazing intensities. Carbon, nitrogen and phosphorus in microbial biomass were affected by the pasture development stage, with no negative effects by the presence of the animals in moderate grazing intensity. There was a positive effect by the animal presence in the aggregation status of the soil, mostly in the 5 – 10 cm soil layer. Integrated crop-livestock systems under no-tillage in the state of Rio Grande do Sul-Brazil, can widely be used in moderate grazing intensity, with gain in soil quality, that is similar or even higher than in no-tillage systems directed to crop production only.

---

<sup>1</sup> Doctoral Thesis in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brazil. (163p.) – July, 2008. Research supported by CNPq, Fundação Agrisus and Cabanha Cerro Corado.

## SUMÁRIO

Página

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. CAPÍTULO 1. ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO</b> .....	4
2.1. Integração agricultura-pecuária.....	4
2.2. Matéria orgânica do solo em sistemas de manejo do solo.....	6
2.2.1. Dinâmica da matéria orgânica.....	6
2.2.2. Frações da matéria orgânica.....	10
2.2.3. Índice de manejo de carbono.....	14
2.3. Fósforo em sistemas de manejo do solo.....	16
2.3.1. Formas e labilidade.....	16
2.3.2. Dinâmica do fósforo.....	19
2.4. Nutrientes na biomassa microbiana em sistemas de manejo do solo.....	23
2.4.1. Carbono.....	23
2.4.2. Nitrogênio.....	26
2.4.3. Fósforo.....	29
2.5. Agregação do solo.....	31
2.5.1. Agentes envolvidos.....	31
2.5.2. Efeito dos sistemas de uso e manejo.....	33
2.5.3. Proteção física da matéria orgânica.....	34
<b>3. CAPÍTULO 2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	38
3.1. Local do experimento.....	38
3.2. Solo e histórico da área.....	38
3.3. Tratamentos, delineamento experimental e condução do experimento.....	39
<b>4. CAPÍTULO 3. EVOLUÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO, SUBMETIDO A INTENSIDADES DE PASTEJO</b> .....	43
4.1. Introdução.....	43
4.2. Material e Métodos.....	45
4.3. Resultados e Discussão.....	46
4.4. Conclusões.....	61
<b>5. CAPÍTULO 4. EVOLUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO NO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO, SUBMETIDO A INTENSIDADES DE PASTEJO</b> .....	62
5.1. Introdução.....	62
5.2. Material e Métodos.....	63
5.3. Resultados e Discussão.....	66
5.4. Conclusões.....	83
<b>6. CAPÍTULO 5. VARIAÇÃO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO EM UM CICLO DE PASTEJO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO, SUBMETIDO A INTENSIDADES DE PASTEJO</b> .....	85
6.1. Introdução.....	85
6.2. Material e Métodos.....	87
6.3. Resultados e Discussão.....	88

<b>7. CAPÍTULO 6. INTENSIDADES DE PASTEJO E AGREGAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO, SUBMETIDO A INTENSIDADES DE PASTEJO.....</b>	<b>103</b>
7.1. Introdução .....	103
7.2. Material e Métodos.....	105
7.3. Resultados e Discussão.....	108
7.4. Conclusões.....	118
<b>8. CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>119</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>121</b>
<b>10. APÊNDICES .....</b>	<b>142</b>

## RELAÇÃO DE TABELAS

Página

1. Características químicas do solo da área experimental, em diferentes profundidades, antes da instalação do experimento. Fazendo do Espinilho, novembro/2000. ....	39
2. Índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC), na camada de 0 a 20 cm, em um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo .....	60
3. Formas e frações médias de fósforo na camada de 0 a 20 cm em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo .....	72
4. Formas de fósforo em função de extratores da fração lábil, na camada de 0 a 20 cm em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. ....	73
5. Distribuição da massa de solo quanto ao diâmetro de agregados estáveis em água em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração agricultura-pecuária, submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto. Maio/2007.....	109
6. Distribuição da massa de solo quanto ao diâmetro de agregados estáveis em água em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração agricultura-pecuária, submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto. Setembro/2007 .....	111
7. Distribuição da massa de solo quanto ao diâmetro de agregados estáveis em água em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração agricultura-pecuária, submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto. Novembro/2007.....	113

8. Diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração agricultura-pecuária, submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto.....	117
---	-----

## RELAÇÃO DE FIGURAS

Página

1. Modelo conceitual de um sistema misto de produção agropecuária, com o carbono (C) presente em todos os compartimentos e nas interações entre os componentes.....	9
2. Croqui da área experimental na Fazenda do Espinilho – São Miguel das Missões/RS.....	41
3. Alturas de manejo de uma pastagem de aveia preta + azevém em plantio direto, submetida ao pastejo de bovinos.....	42
4. Estoques de carbono orgânico total na camada de 0 a 20 cm em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos anos, pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ). .....	47
5. Estoques de nitrogênio total na camada de 0 a 20 cm em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos anos, pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ) .....	48
6. Estoques de carbono orgânico particulado na camada de 0 a 20 cm em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos anos, pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ) .....	50
7. Estoques de nitrogênio particulado em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos anos, pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ) .....	51

8. Teores de carbono orgânico total em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. 10 cm (a), 20 cm (b), 40 cm (c) e sem pastejo (d). Barra na horizontal compara cada profundidade entre os anos, pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ). .....	55
9. Teores de nitrogênio total em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. 10 cm (a), 20 cm (b), 40 cm (c) e sem pastejo (d). Barra na horizontal compara cada profundidade entre os anos, pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).....	56
10. Teores de carbono orgânico particulado em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. 10 cm (a), 20 cm (b), 40 cm (c) e sem pastejo (d). Barra na horizontal compara cada profundidades entre os anos, pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ). .....	57
11. Teores de nitrogênio na matéria orgânica particulada (MOP) em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. 10 cm (a), 20 cm (b), 40 cm (c) e sem pastejo (d). Barra na horizontal compara cada profundidades entre os anos, pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ). .....	58
12. Teores de carbono orgânico total (a), carbono orgânico particulado (b), nitrogênio total (c) e nitrogênio na matéria orgânica particulada (d) em Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na horizontal compara os tratamentos entre os anos, pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).. .....	59
13. Esquema da técnica do fracionamento de fósforo proposto por Hedley et al. (1982), com as modificações propostas por Condon et al. (1985), apresentado por Gatibone (2003).....	65
14. Evolução do fósforo inorgânico (a), fósforo orgânico (b) e fósforo total (c) na camada de 0 a 20 cm em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária em	

- plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os anos, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). ns= não significativo. .... 67
15. Evolução do fósforo lábil (a), moderadamente lábil (b) e pouco lábil (c) na camada de 0 a 20 cm em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos anos e os anos dentro entre os tratamentos. ns= não significativo. .... 71
16. Teores de fósforo inorgânico (a), fósforo orgânico (b) e fósforo total em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho, no início (2001) e após três anos, em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na horizontal compara os tratamentos e os anos dentro de cada profundidade, Tukey ( $P < 0,05$ ). ns= não significativo. .... 77
17. Teores de fósforo inorgânico (a), fósforo orgânico (b) e fósforo total em diferentes profundidades do solo, no início (2001) e após seis anos, em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na horizontal compara os tratamentos e os anos dentro de cada profundidade, Tukey ( $P < 0,05$ ). ns= não significativo. .... 78
18. Teores de fósforo lábil (a), moderadamente lábil (b) e pouco lábil (c) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo, após três anos. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na horizontal compara os tratamentos e os anos dentro de cada profundidade, Tukey ( $P < 0,05$ ). ns= não significativo. .... 80
19. Teores de fósforo lábil (a), moderadamente lábil (b) e pouco lábil (c) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho em



<p>sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo, após seis anos. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na horizontal compara os tratamentos e os anos dentro de cada profundidade, Tukey (<math>P &lt; 0,05</math>). ns= não significativo.....</p>	81
<p>20. Carbono na biomassa microbiana no ciclo de pastejo, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em função de intensidades de pastejo em sistema de integração agricultura-pecuária sob plantio direto. P-10, P-20 e P-40 representam as alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos meses, pelo teste de Tukey (<math>P &lt; 0,05</math>).....</p>	89
<p>21. Nitrogênio na biomassa microbiana no ciclo de pastejo, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em função de intensidades de pastejo em sistema de integração agricultura-pecuária sob plantio direto. P-10, P-20 e P-40 representam as alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos meses, pelo teste de Tukey (<math>P &lt; 0,05</math>).....</p>	90
<p>22. Fósforo na biomassa microbiana no ciclo de pastejo, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em função de intensidades de pastejo em sistema de integração agricultura-pecuária sob plantio direto. P-10, P-20 e P-40 representam as alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos meses, pelo teste de Tukey (<math>P &lt; 0,05</math>).....</p>	91
<p>23. Respiração da biomassa microbiana no ciclo de pastejo, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto. P-10, P-20 e P-40 representam as alturas de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Letras minúsculas comparam tratamentos dentro de cada época. Letras maiúsculas comparam cada tratamento entre as épocas. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey (<math>P &lt; 0,05</math>).....</p>	95
<p>24. Quociente metabólico no ciclo de pastejo, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a intensidades de pastejo sob</p>	

<p>plantio direto. P-10, P-20 e P-40 representam as alturas de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Letras minúsculas comparam tratamentos dentro de cada época. Letras maiúsculas comparam cada tratamento entre as épocas. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey (<math>P &lt; 0,05</math>). ns = não significativo. ....</p>	96
<p>25. Relação C:N da biomassa microbiana no ciclo de pastejo, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura pecuária submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto. P-10, P-20 e P-40 representam as alturas de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Letras minúsculas comparam tratamentos dentro de cada época. Letras maiúsculas comparam cada tratamento entre as épocas. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey (<math>P &lt; 0,05</math>). ns = não significativo. ....</p>	97
<p>26. Relação C:P da biomassa microbiana no ciclo de pastejo, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto. P-10, P-20 e P-40 representam as alturas de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Letras minúsculas comparam tratamentos dentro de cada época. Letras maiúsculas comparam cada tratamento entre as épocas. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey (<math>P &lt; 0,05</math>). ns = não significativo. ....</p>	99
<p>27. Estoque de carbono médio na biomassa microbiana, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em função de intensidades de pastejo em sistema de integração agricultura-pecuária sob plantio direto. P-10, P-20, P-40 e SP representam as alturas de 10, 20, 40 cm e sem pastejo, respectivamente. ns = não significativo. ....</p>	100
<p>28. Estoque de nitrogênio médio na biomassa microbiana, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em função de intensidades de pastejo em sistema de integração agricultura-pecuária sob plantio direto. ns = não significativo. P-10, P-20, P-40 e SP representam as alturas de 10, 20, 40 cm e sem pastejo, respectivamente. ns = não significativo. ....</p>	101
<p>29. Distribuição dos agregados estáveis em água em diferentes camadas e épocas de amostragem de um Latossolo Vermelho,</p>	

agrupados em três classes de tamanho para as intensidades de  
pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam 10, 20, 40 cm de altura do  
pasto, respectivamente ..... 115

## 1. INTRODUÇÃO

No Rio Grande do Sul, existe uma área cultivada em torno de cinco milhões e meio de hectares com culturas de grãos no período de verão (CONAB, 2008). Desse total, menos de um milhão de hectares são utilizados para a produção de grãos de cereais de inverno. Surge então, a necessidade de se encontrar sistemas de culturas ou integração entre culturas e pecuária para que o retorno econômico promovido pelo sistema seja mais atrativo ao produtor rural. Cerca de dois milhões de hectares de terras no RS ocupados com culturas de cobertura de solo, como aveia preta, azevém e ervilhaca, durante o inverno podem ser ocupadas por sistemas de produção que, além de cumprir com um dos requisitos básicos do plantio direto, que é manter o solo coberto, também pode ser uma fonte de renda. As áreas que permanecem em pousio durante o inverno (2,5 milhões de hectares) também podem ser utilizadas com culturas de coberturas e integradas à pecuária.

A integração agricultura-pecuária pode ser definida como um sistema de alternância temporária ou rotação do cultivo de grãos e pastejo de animais em gramíneas e/ou leguminosas e seus consórcios (Moraes et al., 1998). É um sistema bastante flexível, que permite o direcionamento de ação pelo mais interessante economicamente em cada momento. A rotação pastagens-culturas de grãos torna-se, segundo Cassol (2003), uma das estratégias mais promissoras para desenvolver sistemas de produção menos intensivos no uso de insumos e, por sua vez, mais sustentáveis no tempo. As atividades (agricultura e pecuária) envolvidas nesses sistemas de integração não devem ser consideradas antagônicas e sim complementares que, quando integradas, funcionam em sinergismo, tendo a lavoura um melhor resultado quando em

rotação com a pastagem e, da mesma maneira, ocorrendo com a pastagem, quando estabelecida após a lavoura.

A adoção do sistema de integração agricultura-pecuária pode causar alterações no sistema solo, sendo afetadas suas características físicas, químicas e biológicas. Com a utilização da pastagem por vários meses no sistema e o não revolvimento do solo, pode haver acúmulo de matéria orgânica no solo, melhorando, assim, a sua qualidade. Por possuírem sistema radicular fasciculado e agressivo, as gramíneas tendem a promover maior agregação ao solo, ficando a matéria orgânica protegida no interior dos agregados, diminuindo sua decomposição.

Com a variação nas pressões de pastejo, ocorrem diferentes taxas de deposição de resíduos, tanto da parte aérea como das raízes, podendo afetar diretamente, entre outros, a população microbiana do solo. Por estarem envolvidas em todo o ciclo da integração duas culturas (de grãos no verão e pastagem no inverno), ocorrem grandes variações da biomassa microbiana. O aumento ou diminuição da biomassa microbiana está também relacionado com a taxa de acúmulo de matéria orgânica no solo, pois promove maior ou menor decomposição dos resíduos aportados ao mesmo. Desta forma, a dinâmica da biomassa microbiana em sistemas de integração agricultura-pecuária pode ser diferente dos outros sistemas de manejo, no decorrer do ciclo das culturas de verão e da pastagem.

O efeito das pastagens está também em reciclar os nutrientes que estão em camadas mais profundas, trazendo-os para as camadas mais superficiais e promovendo maior disponibilidade à cultura sucessora. Além disso, sua alta produção de fitomassa faz com que haja a necessidade de alta absorção de nutrientes, entre eles o fósforo, diminuindo assim sua imobilização nas partículas do solo, tornando-o um componente da parte orgânica do solo.

A pesquisa no Brasil tem focado muito a disponibilidade de fósforo avaliada por métodos de rotina, voltada essencialmente para a produção de grãos nos sistemas convencional e, depois, no plantio direto. No entanto, pouco se tem estudado sobre a dinâmica do fósforo em sistemas de integração agricultura-pecuária. O carbono é um elemento que também tem sido objeto de muitos estudos, principalmente agora com os problemas ambientais

decorrentes do aumento do efeito estufa, mas pouco se sabe sobre o efeito de sistema de integração agricultura-pecuária no acúmulo de carbono orgânico total e frações lábeis no solo.

O objetivo deste trabalho é de avaliar a evolução, no tempo, da matéria orgânica, do fósforo, da biomassa microbiana e da agregação em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo e produção de soja.

## **2. CAPÍTULO 1. ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO**

### **2.1. Integração agricultura-pecuária**

Na atual conjuntura econômica do Brasil, existe a crescente necessidade de se aumentar a rentabilidade das propriedades rurais, para que os produtores continuem na atividade. A partir disso, surge a proposta de diversificação das atividades na propriedade com a inserção da pecuária em áreas antes utilizadas somente com lavoura no verão e alguma cultura de cobertura na entressafra. É vantajoso integrar a agricultura com a pecuária tendo em vista que não há estabilidade de preços pagos ao produtor nas duas atividades; assim, em alguns anos os preços estão favoráveis à agricultura e, em outros, à pecuária (Cassol, 2003). Com a integração das duas, o produtor mantém maior estabilidade nas receitas da propriedade rural como um todo, conseguindo se manter na atividade e evitando o êxodo rural.

A integração agricultura-pecuária pode ser definida como um sistema de alternância temporária ou rotação do cultivo de grãos e pastejo de animais em gramíneas e/ou leguminosas e seus consórcios. É um sistema bastante flexível, que permite a ação pelo mais interessante economicamente em cada momento. A rotação pastagens-culturas de grãos torna-se uma das estratégias bastante promissoras para desenvolver sistemas de produção menos intensivos no uso de insumos e, por sua vez, mais sustentáveis no tempo (Cassol, 2003).

No Brasil, a degradação dos solos provocada por seu manejo inadequado durante as décadas de 70 e 80 despertou a preocupação com a

qualidade e a sustentabilidade do sistema agrícola. O sistema de plantio direto foi implantado como uma opção de manejo sustentável. Porém, para sua viabilidade, preconiza-se a existência de uma boa cobertura de solo durante todo o ano, aporte contínuo e abundante de resíduos vegetais, utilização de um sistema de rotação com plantas capazes de melhorar o balanço de nitrogênio no solo pela fixação biológica, rotação de culturas, incluindo-se culturas produtoras de grãos e de forragem e o mínimo de revolvimento de solo possível. Para a manutenção da cobertura vegetal no solo (premissa do plantio direto), em algumas áreas, como no RS, tem-se utilizado no inverno a mistura aveia preta+azevém, sendo estas potencialmente pastejáveis durante boa parte do seu ciclo. Com isso, pode-se incorporar à propriedade, além da produção de grãos no verão, a produção animal no inverno, possibilitando uma fonte alternativa de renda aos produtores no período da entressafra das culturas de verão.

A integração agricultura-pecuária pode trazer diversos benefícios, dentre eles: 1) a possibilidade de introdução, renovação e recuperação de pastagens utilizando poucos recursos financeiros; 2) aproveitamento da adubação residual da cultura de grãos pela pastagem, melhorando a sua qualidade e a sua produtividade; 3) produção de forragem no período de inverno, onde há, em geral, menor oferta de forragem; 4) a diminuição da incidência de pragas, doenças e plantas indesejáveis na área de lavoura, devido à rotação de pastagens e culturas de grãos, fundamental para o sistema plantio direto e, 5) o aumento da renda líquida da propriedade e diminuição da dependência dos produtores de grãos de verão (Cassol, 2003).

Sob o ponto de vista zootécnico, a integração agricultura-pecuária pode também apresentar bons resultados. Consegue-se, se bem manejado, uma boa produtividade animal, além de ser um sistema de menor risco ao produtor. Assim, Restle et al. (1993) obtiveram ganhos de peso de 640 e 865 kg ha<sup>-1</sup> em 98 dias de pastejo, ao utilizarem 150 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, sobre pastagens de aveia preta + azevém. Avaliações com relação a ganhos em produtividade de grãos de soja e rendimento de carcaça bovina permitem afirmar que o sistema de integração agricultura-pecuária é um dos mais rentáveis e de menor risco ao produtor (Fontanelli et al, 2000; Ambrosi et al, 2001).



## 2.2. Matéria orgânica do solo em sistemas de manejo do solo

### 2.2.1. Dinâmica da matéria orgânica

A matéria orgânica do solo (MOS) é de extrema importância para a sua capacidade produtiva, pois está relacionada tanto à física, como à biologia e à química do solo, sendo a principal responsável pela CTC de solos tropicais e subtropicais (Testa, 1989; Burle et al., 1997), podendo atuar na diminuição da toxidez de elementos tóxicos às plantas (Vance et al., 1995), além de ser fonte de energia e nutrientes para a biota do solo. O aumento desta biota favorece surgimento (ampliação das existentes) de propriedades emergentes<sup>2</sup>, tais como a agregação, a aeração, a densidade, a infiltração e a retenção de água no solo (Haynes & Beare, 1996; Silva & Mielniczuk, 1997). Assim, o acúmulo de matéria orgânica no solo faz com que haja aumento na qualidade de solo (Vezzani, 2001).

O carbono orgânico é o principal componente da matéria orgânica do solo e o seu estoque irá variar em função da sua taxa de perda, dentre elas a erosão e a oxidação, através dos microrganismos do solo, e em função da sua taxa de adição por resíduos vegetais e/ou animais. Em solos sem ação antrópica, o teor e o estoque de carbono no solo serão afetados pela temperatura, pela umidade e pelo tipo de solo, pois esses fatores influenciam nas taxas de adição e de perda desse nutriente (Bayer & Mielniczuk, 1997).

O sistema de integração agricultura-pecuária pode causar mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, afetando o desenvolvimento radicular (Taylor & Brar, 1991; Silva et al., 2000) e o rendimento das culturas que vêm na seqüência do pastejo (Silva et al., 2000; Albuquerque et al., 2001; Salton et al., 2002). Caso haja menor desenvolvimento radicular, tanto da pastagem como da cultura sucessora, há

---

<sup>2</sup> As propriedades emergentes do sistema estão relacionadas ao *holismo*, e são propriedades que surgem porque *o todo é mais do que a soma das partes*. O conceito de propriedade emergente pode ser melhor ilustrado por um simples sistema químico, como a água, por exemplo. Seus componentes são hidrogênio e oxigênio. Quando estes componentes interagem emergem propriedades como fluidez e transparência que somente o sistema (água) possui, mas que nenhum dos seus elementos individuais apresenta (Vezzani, 2001).

menor aporte de matéria orgânica em profundidade pelo sistema radicular, sendo o seu estoque também menor no solo. Desta forma, há de se adotar o sistema de manejo (intensidade de pastejo, espécies forrageiras, etc.) que consiga maximizar os benefícios do sistema de integração agricultura-pecuária.

Um bom sistema de manejo do solo deve ter como objetivo, além da produção primária de qualidade, o aumento da matéria orgânica do solo. Com a adoção do plantio direto (SPD), os resíduos vegetais são mantidos sobre a superfície do solo que tem o seu revolvimento drasticamente diminuído, fazendo com que esse sistema de manejo seja considerado como um dos meios para aumentar o armazenamento de carbono e de nitrogênio no solo. Entretanto, não basta apenas ausência de revolvimento do solo, mas também deve haver a adoção de sistemas de rotação de culturas que propiciem altas produções de fitomassa com relação C:N elevada, sendo isto de fundamental importância a esse processo (Bayer & Mielniczuk, 1999; Bayer et al., 2000).

Por manter os teores de matéria orgânica em níveis adequados, além de proporcionar maior qualidade, sustentabilidade e capacidade de produção dos solos agrícolas, o SPD é considerado o sistema de preparo mais eficiente em manter e recuperar a estrutura do solo (Paladini & Mielniczuk, 1991; Campos et al., 1995; Silva & Mielniczuk, 1997; Bayer et al., 2000; Amado et al., 2001; Beutler et al, 2001). Algumas plantas têm a capacidade de promover melhorias na qualidade da estrutura do solo, pela ação de suas raízes e da parte aérea, sendo a magnitude dessa melhoria variável entre as espécies (Wohlenberg et al., 2004). Mesmo representando uma pequena fração dos constituintes orgânicos do solo, as raízes têm grande influência sobre a formação e a estabilidade de agregados, sendo que as gramíneas perenes, por apresentarem maior densidade e melhor distribuição no solo, são consideradas como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas (Silva & Mielniczuk, 1997). Com isso, ocorre maior estabilização dos agregados e, conseqüentemente, maior proteção física da matéria orgânica no interior dos agregados. Com essa maior proteção física da matéria orgânica contra a degradação por microrganismos, há a tendência de maior acúmulo de matéria orgânica em sistemas que promovam maior agregação do solo.

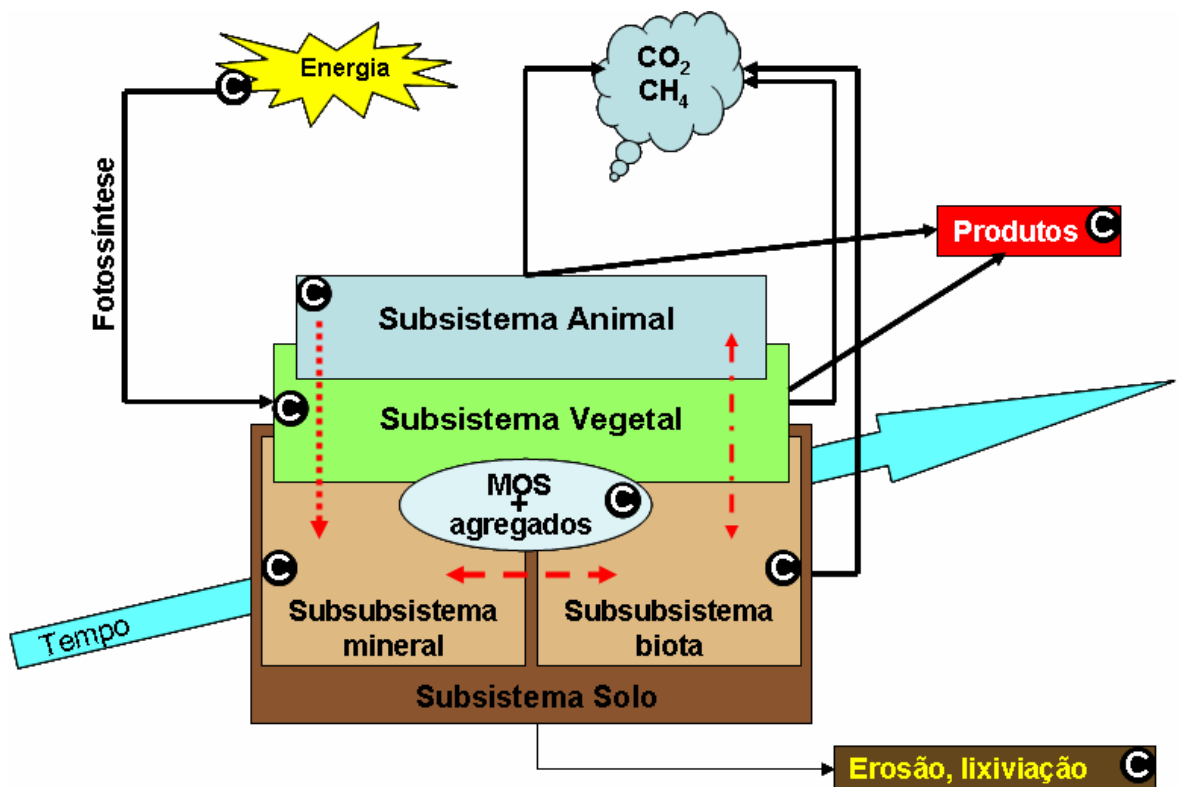
Existem diversas formas pelas quais a matéria orgânica pode ser aportada ao solo, das quais se pode citar: acúmulo de restos vegetais sobre o solo após a colheita das culturas, pelas raízes das plantas, exsudatos e micorrizas, que irão se decompor, inicialmente pela ação da mesofauna do solo e, posteriormente, pela ação dos microrganismos. São processos que dependem grandemente das condições ambientais (umidade e temperatura). Em áreas de pastejo, a deposição de dejetos pelos animais em pastejo pode constituir-se em importante fator de reciclagem e de concentração de carbono e de nitrogênio no solo.

Com isso, verifica-se que a dinâmica da matéria orgânica em sistemas que integram agricultura e pecuária pode ser diferente de sistemas que tratam estas duas atividades isoladas. Um modelo conceitual de funcionamento do sistema solo utilizado para a produção agrícola que integra agricultura e pecuária, sob a ótica da dinâmica do carbono no ambiente foi proposto por Salton (2005) (Figura 1), o qual foi adaptado de Vezzani (2001). Os fluxos de energia são baseados nos fluxos de carbono no sistema, que se iniciam com a conversão da energia luminosa em energia química e, posteriormente, matéria, via fotossíntese, pelo subsistema vegetal. Parte do carbono sai do sistema pela respiração e exportação de grãos, fibras e carne, que são os produtos da atividade agrícola. Uma fração do carbono que entrou no sistema é transformado pela biota do solo, tendo uma parte perdida via respiração, sendo que a parcela que não foi perdida ou exportada pode ser acumulada no subsistema solo, como matéria orgânica. Como há alta relação entre o carbono e o nitrogênio no solo, pode-se inferir que, havendo acúmulo de carbono no solo haverá, concomitantemente, acúmulo de nitrogênio no subsistema solo. Essa matéria orgânica acumulada interage com os componentes minerais do subsistema solo formando agregados, que terão seus tamanhos e estabilidades dependentes, principalmente, da intensidade do fluxo de C para o solo. A auto-organização<sup>3</sup> do sistema em questão é expressa pela quantidade

---

<sup>3</sup> “Sistemas abertos funcionam afastados do equilíbrio e, assim, são capazes de se auto-organizar. A condição de não-equilíbrio é devido ao fluxo de energia e de matéria que passa pelo sistema continuamente. A auto-organização ocorre através das relações não-lineares entre os elementos que compõem o sistema, gerando estados de ordem relativos ao fluxo e dependentes da sua própria história. Quando o fluxo proporciona aumento na quantidade de energia e matéria retida, o sistema evolui e surgem estados de ordem em níveis sucessivamente mais elevados, caracterizados pela complexidade e diversidade das relações e da estrutura” (Vezzani, 2001).

de macroagregados estáveis, que é resultado de múltiplas e complexas interações, com níveis crescentes de ordem. A um determinado nível de ordem no sistema, propriedades emergentes vão surgindo no subsistema solo, estando elas relacionadas com a produtividade do sistema e com a qualidade do solo, sendo, então, desejáveis. A inserção do animal no sistema acarreta aumento na complexidade, pois as relações entre os compartimentos são ampliadas, visto que a presença do animal irá influenciar tanto o subsistema mineral como a biota, e, conseqüentemente, as propriedades emergentes do sistema. Os fluxos de entrada e de saída não são estáveis em sistemas agrícolas, sendo assim, um determinado nível de ordem superior somente será atingido quando a magnitude dos fluxos for positiva, proporcionando alto aporte de energia para a manutenção de um dado nível de ordem e um acréscimo de energia para a passagem a um nível de ordem superior, conferindo, assim, sustentabilidade e qualidade ao sistema.



**FIGURA 1.** Modelo conceitual de um sistema misto de produção agropecuária, com o carbono (C) presente em todos os compartimentos e nas interações entre os componentes. Salton (2005).

Alguns aspectos são causadores dessa dinâmica diferenciada da matéria orgânica em solos sob pastejo. As pastagens, em geral, têm a característica de possuírem sistema radicular agressivo e alta produção de parte aérea. Estes dois fatos se tornam bons aliados quando se deseja acumular matéria orgânica no solo, visto que a incorporação de matéria orgânica por parte das gramíneas é alta. No caso das florestas, há grande acúmulo de carbono e de nitrogênio na parte aérea das plantas; já as pastagens apresentam alto aporte desses elementos abaixo da superfície do solo, pelo sistema radicular. Fujisaka et al. (1998) e Lal (2002) atribuem ao sistema radicular de pastagens a grande capacidade de acumular matéria orgânica no solo, sendo que esta capacidade pode ser aumentada pela adubação da pastagem (Shunke, 2000). Além da ação imediata da adubação, a pastagem também pode aproveitar o resíduo da adubação da cultura de grãos antecessora, no caso da integração agricultura-pecuária.

Podem ocorrer variações no acúmulo de matéria orgânica no solo devido ao sistema de pastejo, a diferenças no clima, a atributos de solo, à posição na paisagem e à composição e à comunidade de plantas. Rezende et al. (1999) determinaram valores para a taxa de decomposição da liteira de pastagem de *Brachiaria humidicola* na Bahia e verificaram que esta pode aumentar quando consorciada com leguminosas, devido à menor relação C:N, mesmo em diferentes lotações. Em sistemas de integração agricultura-pecuária que estão sendo submetidos a altas intensidades de pastejo, acarretará em menor quantidade de matéria vegetal da parte aérea disponível para pastejo pelos animais e, com isso, menores quantidades de material vegetal serão adicionados ao solo (Conte, 2007).

### **2.2.2. Frações da matéria orgânica**

A matéria orgânica do solo (MOS) é bastante complexa e influenciada pelo manejo do solo adotado, sendo composta basicamente por materiais de origem animal e vegetal, em estágios de decomposição variáveis, além de compostos exsudados pelo sistema radicular das plantas e produtos do metabolismo microbiano. Devido sua complexidade, a matéria orgânica do solo

tem sido alvo de muitos estudos, para melhor entender seu comportamento em função dos sistemas de manejo adotados. A determinação da MOS total em algumas situações pode não ser eficiente na discriminação das alterações, de curto prazo, na qualidade do solo, influenciadas pelos sistemas de manejo. Frações lábeis normalmente têm maior influência sobre a agregação do solo, por se tratar de fontes mais assimiláveis de carbono e de nitrogênio pelos organismos heterotróficos (Moreira & Siqueira, 2006). Segundo Skjemstad et al. (1986), o carbono da fração lábil contém elevadas concentrações de carboidratos em sua constituição que, após a biossíntese microbiana, terão os compostos desse metabolismo atuando na estabilização de macroagregados do solo. Baseado nisso, tem-se desenvolvido métodos que sejam capazes de discriminar melhor os compartimentos da MOS visando o entendimento de sua dinâmica no solo.

Atualmente, o fracionamento físico da MOS tem sido preferencialmente utilizado no seu estudo, tanto qualitativo como quantitativo, por apresentar a vantagem de ser menos agressivo à estrutura da matéria orgânica do que os métodos químicos (Cambardella & Elliott, 1992; Christensen, 1992; Roscoe & Machado, 2002); entre eles, a avaliação do efeito de sistemas de manejo do solo na dinâmica e na qualidade da MOS (Freixo et al., 2002; Dieckow et al., 2005; Bayer, 2004; Salton, 2005; Conceição, 2006; Souza et al., 2006a; Souza et al., 2006b; Boeni, 2007; Souza et al., 2008), e na modelagem do carbono (Mielniczuk et al., 2003; Leite et al., 2004). Os métodos físicos podem ser densimétricos e granulométricos, ou a combinação de ambos (Roscoe & Machado, 2002), permitindo a obtenção de frações lábeis (fração leve e particulada, respectivamente) e estáveis da MOS (pesada e associada aos minerais, respectivamente).

No fracionamento físico granulométrico, proposto inicialmente por Cambardella & Elliot (1992), a separação das frações é feita após a dispersão dos agregados do solo, com o mínimo de alteração das partículas orgânicas, para que seja evitada a redistribuição entre as outras frações (Cambardella & Elliot, 1992; Roscoe & Machado, 2002). Posteriormente, o solo + solução são passados em peneira de 53  $\mu\text{m}$ , sendo que o material retido (partículas orgânicas + areia) é considerado a matéria orgânica particulada (MOP), a qual é composta basicamente de fragmentos de resíduos orgânicos frescos ou em

estágio inicial de decomposição que correspondem ao compartimento lábil da MOS. Pela diferença entre a MOS e a MOP obtêm-se a matéria orgânica associada aos minerais (MOM). A MOP apresenta mudanças mais rápidas nos seus teores do que os teores totais de CO do solo como efeito de determinado manejo, demonstrando que esta fração é mais facilmente decomponível pelos microrganismos do solo. A fração leve e a MOP são obtidas por diferentes métodos, no entanto, estas duas frações são semelhantes em sua constituição e em suas características. Neste sentido, Cambardella & Elliott (1992) verificaram que a maioria da MOP flutuou em líquido de densidade de  $1,85 \text{ g cm}^{-3}$ , além de apresentarem uma relação C/N semelhante.

Estudo em Latossolo Bruno do Paraná evidenciou que o carbono orgânico particulado (constituente da MOP) representou entre 24% e 31% do carbono orgânico total (Costa et al., 2004) e essas concentrações foram atribuídas às condições de temperatura e umidade favoráveis à atividade microbiana, visto que, Cambardella & Elliot (1992) e Chan (1997) encontraram concentrações próximas de 50% em solos de regiões frias e/ou semiáridas. Mesmo tendo observado valores menores que na literatura, foi verificado um aumento relativo nos estoques de carbono orgânico particulado (COP) maiores que no COT, demonstrando que a fração lábil da MOS foi mais sensível às mudanças do manejo do que a MOS. Bayer et al. (2004) citam que há maior sensibilidade do estoque de C na MOP às alterações no manejo em comparação ao estoque de COT. Em comparação ao solo em plantio convencional com culturas estivais, o plantio direto com culturas estivais e outonais promoveu um aumento de 37% e 52% no estoque de C na MOP da camada de 0 – 20 cm. Por sua vez, o aumento relativo no estoque de COT foi inferior a 10%. Os maiores incrementos dos estoques de C na MOP em plantio direto ocorrem nas camadas superficiais do solo, pela localização dos resíduos culturais na superfície do solo (Bayer, 2003; Bayer et al., 2004). Neste sentido, conclui-se que o C lábil pode ser considerado o indicador mais sensível às mudanças no estudo da MOS em função do manejo (Leite et al., 2004; Bayer et al., 2004; Conceição et al., 2005; Souza et al., 2006a; Souza et al., 2006b).

Convém salientar que, apesar de sua maior sensibilidade ao manejo, a fração lábil não é a que apresenta os maiores aumentos absolutos em solos

subtropicais (Bayer et al., 2002). A diferença entre os estoques de COT e COP permite calcular o estoque de C na MOM, o que representa uma fração mais estável e humificada da MOS, sendo representada por substâncias húmicas e outras macromoléculas orgânicas resistentes à decomposição microbiana, possuindo alto grau de polimerização, altamente reativas em suas superfícies e com elevado peso molecular. Esta fração possui ciclagem mais lenta em relação ao carbono da fração lábil, atuando como reservatório de nutrientes e também na estabilização química dos microagregados do solo (Zech et al., 1997). Bayer (2003) estimou que ocorre um aumento no estoque de C na MOM duas vezes superior ao aumento verificado no COP, o que se deve à maior estabilidade dessa fração orgânica devido à interação com a fração mineral, o que é interessante do ponto de vista de retenção de C atmosférico no solo, pois esse acúmulo de C nessa fração é ambientalmente favorável.

São três as formas de proteção da matéria orgânica no solo, sendo que o maior número de interações entre elas tende a ser mais vantajoso, pois promove maior acúmulo de matéria orgânica no solo. A fração lábil e a não lábil possuem mecanismos de proteção diferenciados, em que a fração lábil se acumula no solo devido sua recalcitrância e à proteção física da MOS. A primeira é uma característica intrínseca do composto, em função de sua estrutura possuir anéis aromáticos ou compostos humificados, os quais são resistentes à decomposição, pois possuem uma forte energia de ligação em seu anel aromático. A segunda forma de proteção é uma barreira física que impede o acesso dos microrganismos e suas enzimas ao composto, sendo os agregados responsáveis por este impedimento. Entretanto, com o rompimento dos agregados há uma exposição dessa fração lábil aos microrganismos, os quais promovem a decomposição desse material.

Já o carbono da fração estável possui três mecanismos de proteção da matéria orgânica; acrescido aos citados anteriormente, tem-se, ainda, a associação à superfície dos minerais do solo. Mesmo que os microrganismos consigam entrar em contato com o material orgânico, têm dificuldades em romper as ligações entre a MOS e os grupos funcionais de superfície dos minerais do solo. Com isso, esta fração possui maior estabilidade que o carbono da fração lábil e, por esse motivo, as práticas de manejo do solo irão



afetar primeiramente o carbono da fração lábil e somente à longo prazo, o carbono da fração estável será alterado.

Sistemas de manejo do solo que sejam capazes de aumentar os estoques de C lábil e manter o C estável, são requeridos quando se deseja um bom manejo do solo. Neste sentido, as pastagens podem auxiliar no aumento desses estoques, principalmente em integração com culturas capazes de fixar o N atmosférico, como é o caso da soja. Diversos estudos têm sido realizados para a obtenção de frações da matéria orgânica em função do manejo adotado como citado anteriormente; entretanto, poucos são os estudos envolvendo a integração entre a agricultura e a pecuária, principalmente quando se varia a carga animal, pois esses sistemas podem possuir dinâmica muito diferente dos sistemas adotados e estudados atualmente.

### 2.2.3. Índice de manejo de carbono

Busca-se, em estudos sobre o manejo dos solos, sistemas que promovam sustentabilidade da produção agrícola, com conseqüente aumento da sua qualidade. Alguns autores, buscando um melhor entendimento sobre a influência dos sistemas de manejo do solo, têm utilizado a alteração na labilidade do carbono como medida de sustentabilidade agrícola, pois, como referido anteriormente, as frações lábeis são mais sensíveis a mudanças de manejo do que os teores totais de carbono orgânico (Loginow et al., 1987; Lefroy et al., 1993). Assim, Blair et al. (1995) propuseram um índice que abrange o efeito dos sistemas de uso e manejo de solo sobre a quantidade e a qualidade da MOS, que são estimados a partir da oxidação de frações lábeis da MOS com  $\text{KMnO}_4$  na concentração de  $0,333 \text{ mol L}^{-1}$ , sendo este índice denominado Índice de Manejo do Carbono.

O cálculo do Índice de Manejo do Carbono (IMC) e de seus componentes é realizado conforme as expressões:

$$\text{IMC} = \text{IEC} \times \text{ILab} \times 100 \quad (1)$$

onde:

IEC = Índice de estoque de C;

ILab = Índice de labilidade do sistema de manejo em avaliação;

$$\mathbf{IEC = COT\ trat / COT\ ref} \quad \mathbf{(2)}$$

onde:

COT trat = estoque de COT ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) no sistema de manejo em análise;

COT ref = estoque de COT ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) no sistema de referência;

$$\mathbf{ILab = Lab\ trat / Lab\ ref} \quad \mathbf{(3)}$$

onde:

Lab trat = Labilidade da MOS do sistema de manejo em análise;

Lab ref = Labilidade da MOS do sistema de referência.

$$\mathbf{Lab = C\ lábil / C\ não\ lábil} \quad \mathbf{(4)}$$

onde:

C lábil = fração do carbono orgânico total que é oxidado por  $\text{KMnO}_4$   
 $0,333 \text{ mol L}^{-1}$  (proposta original de Blair et al., 1995).

C não lábil = fração do carbono orgânico total que é oxidado por  $\text{KMnO}_4$   
 $0,333 \text{ mol L}^{-1}$  (obtido por diferença ente o carbono orgânico total  
e o carbono oxidado).

O IMC é bastante interessante visto que é um indicador da qualidade de sistemas de manejo do solo e pode-se verificar se o sistema está tendendo à sustentabilidade ou à degradação. Entretanto, esse índice tem sido pouco difundido na comunidade científica, uma vez que possui alguns entraves com relação à sua determinação. Segundo Vieira (2007), o método utilizado para estimativa da labilidade exige calibrações, ou ao menos testes, para cada tipo de solo, pois as concentrações de oxidante irão variar em função das características da MO, que são diferentes de onde o método foi desenvolvido. Além disso, têm-se problemas com as análises laboratoriais, pois o  $\text{KMnO}_4$  exige uma série de cuidados especiais para que se evite a oxidação pela luz e/ou pela presença de  $\text{MnO}_2$ , o que torna o método trabalhoso e delicado.

Em função desses entraves, Diekow (2005) propôs uma alternativa para a determinação da labilidade do carbono com a utilização da fração leve ( $> 1,8 \text{ g cm}^{-3}$ ) ou particulada ( $> 0,053 \text{ mm}$ ), sendo essas frações consideradas

componentes lábeis da MOS, podendo, então, serem empregados para a estimativa do IMC. Alguns autores (Diekow et al., 2005; Zanatta, 2006; Vieira, 2007) já têm trabalhado com esta nova metodologia encontrando resultados que se correlacionaram muito bem com o método proposto inicialmente.

## **2.3. Fósforo em sistemas de manejo do solo**

### **2.3.1. Formas e labilidade**

O fósforo está presente nas plantas em ácidos nucléicos e fosfolipídios nas membranas celulares, além de serem componentes metabólicos móveis armazenadores de energia, como o ATP, sendo assim, um dos elementos essenciais para que as mesmas completem seu ciclo. No solo, ele forma compostos que conseguem manter alta energia de ligação com os colóides e, por este motivo, possui alta estabilidade na fase sólida. Em função disto, que se observa altos teores desse nutriente no solo, especialmente em ambientes tropicais e subtropicais, mas, com baixa disponibilidade às plantas, visto que a dessorção do fósforo adsorvido nos colóides do solo é baixa.

O fósforo contido no material de origem do solo encontra-se totalmente na forma de minerais, com predomínio de fosfato de cálcio (Tiessen et al., 1984). Com a ação do intemperismo, o P é liberado para a solução do solo e, juntamente com esse processo, ocorrem perdas de bases, sílica e carbonatos e aumentos na atividade de alumínio e ferro, com conseqüente transformação dos minerais primários em argila 2:1 e estes em 1:1 e óxidos. Posteriormente, parte do P é adsorvido na superfície dos minerais secundários e outra parte é absorvida e incorporada pela biomassa e MOS, aumentando a proporção de P em formas orgânicas (Walker & Syers, 1976). Os teores de P no solo dependerão do material de origem e os processos geoquímicos controlam o ciclo do P e, com o avanço do intemperismo, aumenta a importância das frações orgânicas como fonte desse nutriente às plantas.

Para que se entenda melhor a dinâmica da disponibilidade de P às plantas, tem-se utilizado métodos que estimam as formas nas quais o P está

presente no solo e sua labilidade. A proposta inicial para estimar as formas de P no solo foi apresentada por Chang & Jackson (1956), os quais relataram que se poderia extrair diferentes formas em função do modo de ação do extrator utilizado. O fracionamento era realizado utilizando extratores do menor para o maior poder de extração. O entrave na utilização desse método de fracionamento é que o mesmo não identifica as formas orgânicas separadamente e, não estima a labilidade das formas extraídas. Entretanto, a partir desse método de fracionamento, diversos outros métodos foram desenvolvidos e melhorados, entre eles o método proposto por Hedley et al. (1982), o qual contempla frações orgânicas de P e introduz a idéia de labilidade.

O método de fracionamento do P proposto por Hedley et al (1982) se constitui em extração seqüencial, em que, nessa técnica são adicionados, extratores de menor à maior força de extração, os quais removem fósforo inorgânico (Pi) e orgânico (Po), das formas mais disponíveis às mais estáveis. Os extratores são Resina Trocadora de Ânions (RTA),  $\text{NaHCO}_3$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 8,5;  $\text{NaOH}$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ;  $\text{NaOH}$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  + ultrasonificação;  $\text{HCl}$   $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  e; digestão com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  +  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Esta técnica proposta inicialmente também sofreu modificações para torná-la mais simples e facilitar sua utilização. Dentre as modificações realizadas, tem-se a substituição da extração com  $\text{NaOH}$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  + ultrasonificação pela extração com  $\text{NaOH}$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (Condrón et al., 1985).

Com relação à labilidade das frações de P extraídas nesse método de fracionamento tem-se que: o P extraído pela resina e por bicarbonato são as formas lábeis de P; já, o P inorgânico extraído com hidróxido de sódio está associado aos óxidos de ferro e alumínio, em diferentes graus de cristalização e, por isso, são considerados moderadamente lábeis. O P inorgânico que está protegido no interior dos agregados é disperso e extraído com hidróxido de sódio em maior concentração e é considerado moderadamente disponível. O P inorgânico extraído com ácido clorídrico, que extrai o P ligado ao cálcio, do fosfato de cálcio estável, considerado pouco lábil. O Po extraído com bicarbonato de sódio é facilmente mineralizável e contribui para a disponibilidade às plantas e aos microrganismos. O Po extraído com hidróxido

de sódio é considerado moderadamente lábil e acumula-se ao longo do desenvolvimento do solo (Rheinheimer, 2000).

Como visto, o P no solo é encontrado sob a forma orgânica e inorgânica, onde o sistema de manejo do solo adotado poderá contribuir para que um sobressaia ao outro. Segundo Gatibone (2003), o P inorgânico pode ser separado em duas partes: o P dos minerais primários ou estrutural e o P adsorvido, além do P na solução do solo, que se encontra em baixa concentração. No entanto, o P nos minerais primários representa entre 0,02 a 0,5% dos minerais do solo (Lindsay et al., 1989) e, por isso, é de difícil identificação. Já o P inorgânico adsorvido pode ocorrer em todos os minerais presentes no solo, pois forma complexos de alta energia de ligação com grande facilidade. Com isso, o avanço no intemperismo o P inorgânico vai se tornando mais intensamente adsorvido aos óxidos de ferro e de alumínio, ao passo que o P orgânico aumenta sua participação no P total do solo (Cross & Schlesinger, 1995). Isto sugere que os teores de P total e a distribuição nas diferentes frações dependem do grau de intemperização, das características químicas e físicas do solo, da atividade biológica e da vegetação predominante, entre outras. De acordo com Machado et al. (1993), a distribuição das formas inorgânicas de P varia de acordo com a mineralogia do solo, com percentual mais baixo de formas lábeis nos solos da região do Planalto do que nos da região Sul do Rio Grande do Sul, atribuindo isto aos maiores teores de argila e de óxidos de ferro.

A fração orgânica do P pode contribuir com 20 a 80% do P total na camada de 0 – 20 cm, atingindo mais de 90% em solos de altitude (Rheinheimer, 2000). Este P é advindo dos resíduos vegetais depositados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição. O fosfato de inositol representa de 10 a 80% do P orgânico total, os fosfolipídios de 0,5 a 7%, os ácidos nucleicos aproximadamente 3% e outros ésteres fosfato cerca de 5% (Dalal, 1977). A estabilidade desses compostos depende de sua natureza e da interação com a fração mineral, pois são utilizados pelos microrganismos como fonte de carbono e elétrons, resultando na mineralização e na disponibilização do P. Uma das frações mais importantes do P orgânico no solo é o contido na biomassa microbiana, por ser bastante dinâmica,

possuindo assim rápida ciclagem. Esta fração do P orgânico será discutida com detalhes no item 2.4.3.

Cross & Schlesinger (1995) sugerem o fósforo biológico, como a soma do Po bicarbonato com o Po hidróxido nas duas concentrações, e o fósforo geoquímico, como as formas inorgânicas extraídas pelos diferentes extratores e pelo Po na fração residual, por ser altamente estabilizado. Com isso, faz-se necessário entender melhor o comportamento do fósforo em sistemas de integração agricultura-pecuária, a fim de se poder manejar, com mais critérios, a adubação fosfatada nesses sistemas.

### **2.3.2. Dinâmica do fósforo**

O fósforo tem a dinâmica das mais complexas dentre os nutrientes e, por este motivo, é dos mais estudados. Muito se tem estudado sobre a dinâmica do fósforo em sistemas agrícolas, no entanto, poucos são os estudos em sistemas de integração agricultura-pecuária. Nesses sistemas, por serem complexos, que envolvem além das práticas relacionadas à cultura de grãos, a introdução do animal no sistema, a dinâmica do fósforo pode ser alterada.

Dependendo da forma de manejo adotada nos sistemas agrícolas, dentre eles a integração agricultura-pecuária, pode ocorrer a perda de fósforo dissolvido na água e, principalmente, adsorvido às partículas coloidais da fração argila e da matéria orgânica, sendo este comportamento mais acentuado em solos altamente intemperizados. Com a utilização de sistemas de manejo que acarretem em menores perturbações no solo, pode ocorrer aumento na produtividade das culturas e preservação das condições ambientais, pois isto faz com que haja alteração na dinâmica da matéria orgânica, promovendo suprimento adequado de nutrientes às plantas. A presença constante de cobertura no solo altera a dinâmica do fósforo, provocando aumento da concentração desse nutriente na camada mais superficial do solo, inclusive na forma orgânica, havendo diminuição no processo de adsorção, pois não há mobilização do solo e, ainda, pela produção de ânions orgânicos, que competem pelos sítios de adsorção (Rheinheimer, 2000).

Solos intemperizados possuem baixa disponibilidade de P e, em função disto, as plantas se utilizam de mecanismos para aumentar a sua absorção. Entre os mecanismos, tem-se aumento da relação raiz/parte aérea, aumento da superfície radicular, exsudação celular, associação com fungos micorrízicos, aumento da produção de fosfatases e RNases e a ativação de genes para mudanças nos carregadores de P, alterando seu  $K_m$  e  $C_{min}$  (Lajtha & Harrinson, 1995; Rhagathama, 1999). No entanto, o melhoramento vegetal faz com que, por um lado, as plantas ganhem em potencial produtivo e, por outro, percam em eficiência na absorção de nutrientes, fazendo com que os gastos com fertilizantes sejam maiores.

A magnitude do fenômeno de adsorção de P no solo depende da natureza e da quantidade de sítios disponíveis na superfície dos minerais, sendo, por isso, dentro de uma mesma mineralogia, afetada pelo teor de argila (Bahia Filho et al., 1983). Assim, em solos deficientes em P e com grande quantidade de argilominerais e óxidos, a adsorção de P é maior e, para o atendimento da exigência das culturas, são exigidos níveis de adubação fosfatada mais elevadas do que para solos arenosos. A remoção de P pelas plantas e as alterações na sua disponibilidade pela calagem e adubação fosfatada, mineral ou orgânica, alteram as formas desse nutriente no solo, porém, são poucos os trabalhos que buscam esclarecer as formas preferenciais para onde migra o P adicionado e de quais dessas formas provém o que é absorvido pelas plantas.

As frações orgânicas e inorgânicas do solo podem atuar tanto como fonte ou como dreno de P para a solução do solo e, conseqüentemente, para as plantas, o que dependerá das suas características mineralógicas, das condições ambientais e da fertilização e do manejo do solo (Novais & Smith, 1999). Neste sentido, Ae et al. (1990) observaram que alguns gêneros de plantas como *Cajanus*, *Inga*, *Erithina*, *Gliricidia* e *Leucena* podem aumentar a disponibilidade de P de fontes de baixa solubilidade, usando mecanismos, entre os quais, a produção de ácidos orgânicos, cujos grupos R-OH e R-COOH conseguem adsorver o ferro de forma irreversível.

De todo o P adicionado via adubação fosfatada, aproximadamente 20%, é absorvido pelas plantas de cana durante o primeiro período do ciclo

(Manhães, 1977). Desta forma, o fósforo remanescente no solo é lentamente transformado para formas menos disponíveis, por meio de reações com a superfície das partículas do solo, pela cristalização de compostos insolúveis ou pela difusão para o interior de óxidos (Raij, 1991). No entanto, em estudos de campo, também foram encontradas respostas ao P remanescente no solo na produção de forrageiras e de cereais, por períodos de três a nove anos, após uma única aplicação de P (Read et al., 1973). No Brasil, parcelas anteriormente adubadas, anualmente, com superfosfato triplo durante 11 anos, não apresentaram resposta à adubação fosfatada durante os quatro anos seguintes (Patella, 1980). Wagar et al. (1986) acompanharam as mudanças na forma e na disponibilidade de P remanescente no solo com o tempo, utilizando o método de extração seqüencial de Hedley et al. (1982), observando que metade desse P do fertilizante permaneceu no solo em formas disponíveis às plantas, mesmo após oito anos de cultivo contínuo. Um ano depois da aplicação, a maior parte do P do fertilizante remanescente no solo estava presente em formas extraíveis por resina e bicarbonato.

Diante disso, fica evidente a importância de se conhecer as formas pelas quais o P se distribui no solo, para que se possa fazer inferência sobre as formas mais disponíveis às plantas. Segundo Machado et al (1993), a fração orgânica do fósforo pode contribuir com até 80% do P total na camada de 0 a 20 cm, podendo chegar a mais de 90% em solos de altitude. Na região do Sul e no Planalto do RS, o teor médio estimado foi de 53 e 57% respectivamente e, nas formas ativas inorgânicas, foi de 30 e 13% do P total (Machado et al., 1993). Já, em solos com pastagem nativa, os teores de Po podem variar de 50 a 84%, sendo similar ao plantio direto consolidado. Este Po provém da incorporação dos compostos orgânicos pelas plantas, nos quais ele varia de 0,05 a 0,5% da massa seca. Desta forma, no solo, o P orgânico é constituído pela mistura dos componentes vegetais, do protoplasma microbiano e dos produtos de sua decomposição (Tate, 1984). Isto evidencia a importância do P orgânico no solo, visto que essa forma diminui a adsorção de P aos colóides do solo, mantendo a disponibilidade do P às plantas.

Rheinheimer & Anghinoni (2001) observaram em um Latossolo Vermelho distroférico típico sob plantio direto, valores de P total próximos a  $1100 \text{ mg dm}^{-3}$ , sendo esses teores maiores na superfície e diminuindo com o



aumento da profundidade, devido à adubação e à reciclagem pelas plantas que absorvem o P disponível nas camadas mais profundas e o deixa na superfície, quando da decomposição dos seus resíduos. Em sistema com sucessão aveia/milho os teores de P orgânico representaram mais de 30% do P total, tendo baixos incrementos devido à baixa adição de COT, também por ser um solo muito argiloso com altos teores de óxidos de ferro, possuindo assim menor decomposição da MOS. Com isso, o P tende a permanecer na forma inorgânica, uma vez que apresenta alta afinidade com os colóides minerais, especialmente com óxidos de ferro e de alumínio. No entanto, com a melhoria nas condições biológicas, parte desse P é incorporado aos compostos orgânicos, entre eles a biomassa microbiana. Neste mesmo sistema, a maior parte do fósforo estava ligada ao Fe e ao Al. O fósforo lábil, extraído por resina, foi igual até a profundidade de 7,5 cm, decrescendo em profundidade, assim como o P ligado ao cálcio. Já o fósforo extraído por bicarbonato manteve-se constante até os 17,5 cm.

Conte et al. (2003) verificaram que somente frações inorgânicas aumentaram com a adição de doses de fosfato ao solo. Isto indica que o P, adicionado via fertilizantes, se acumula nas formas inorgânicas preexistentes do solo. Esses autores também verificaram que à medida que se adiciona P ao solo, aumenta a importância das frações mais lábeis (resina e bicarbonato), o que indica um processo de saturação dos sítios de adsorção. Neste sentido, Araújo & Salcedo (1997) observaram que a proporção de P do fertilizante distribuído entre o P-resina e o P-bicarbonato tendem a favorecer o P-bicarbonato em todos os solos estudados, principalmente naqueles em que a proporção de P-resina foi 10% ou menor, ao mesmo tempo ambas as frações se correlacionaram positivamente. Dessa forma, a condição de P disponível às plantas atribuída, normalmente, ao P-resina, poderia ser estendida ao P-bicarbonato.

Em função da interferência das plantas e dos microrganismos, parte do P aplicado que foi convertido em formas adsorvidas pelos minerais do solo, que contém ferro e alumínio, são transformados em P orgânico, principalmente na fração bicarbonato (Condrón & Goh, 1989). Nesta linha, Magid (1993) verificou que, em solo sob pastagem nativa, foi incorporado cerca de  $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de P via biomassa microbiana, entretanto, quando se aumentou a quantidade de P

mineral aplicado, ocorreu diminuição na porcentagem de P orgânico, sendo então observado maiores aumentos na fração de P inorgânico ligado a ferro e alumínio.

## **2.4. Nutrientes na biomassa microbiana em sistemas de manejo do solo**

### **2.4.1. Carbono**

A fertilidade do solo depende significativamente da ciclagem de matéria orgânica que é mediada pela biomassa microbiana do solo. Assim, o declínio na atividade microbiana terá alto impacto na fertilidade do solo, com grandes efeitos nos ecossistemas (Brookes, 1995). O carbono da biomassa microbiana (C-BM) pode representar até 4% do carbono total do solo, sendo a parte viva do solo e, por este motivo, responsável pela quase totalidade da atividade biológica do solo, catalisando as transformações bioquímicas e representando fonte e dreno de C, além de regular a troca de nutrientes entre a atmosfera e o ecossistema solo-planta-organismos (Moreira & Siqueira, 2006).

Mesmo representando uma fração muito pequena do carbono orgânico do solo, o C-BM é muito sensível ao manejo, sendo, portanto, um ótimo indicador das mudanças promovidas no solo. O material vegetal que é adicionado ao solo passa primeiramente pela biomassa microbiana e, por este motivo, a qualidade desse material irá influenciar a densidade e a atividade microbiana. Além do material vegetal, também irão influenciar no aumento do C-BM, a disponibilidade de nutrientes (N, P e S), a umidade do solo, a aeração, o pH, o teor e o tipo de argila e a textura do solo.

A biomassa microbiana do solo, além de atuar como agente da transformação bioquímica dos compostos orgânicos, é também um reservatório de N, P e S (Srivastava & Singh, 1991; Wardle, 1992). Diante disto, fica evidente a importância de se avaliar o C-BM pois, de acordo com Moreira & Siqueira (2006) pode-se:

- a) estimar o potencial microbiano de um solo;

b) quantificar substâncias, relacionando-as a quantidades de elementos essenciais à vida microbiana, vegetal e animal de um sistema ecológico;

c) relacionar tais quantidades às existentes no solo sob a forma inorgânica e;

d) utilizar esses conhecimentos para entender as bases de funcionamento do ecossistema solo-planta, sua produtividade e resiliência.

Mesmo apresentando uma importante ferramenta para se avaliar a influência do manejo do solo na qualidade do mesmo, o C-BM, por si só, é incapaz de estimar o real efeito do manejo do solo. O C-BM, como citado anteriormente, pode variar em função de diversos fatores e, por isso, deve ser avaliado juntamente com outros parâmetros microbiológicos como a sua atividade. Além disso, deve-se buscar, sempre que possível, avaliar o C-BM em função do tempo, para que se conheça a dinâmica do C-BM em função da do sistema de manejo adotado no solo.

A vegetação influencia diferentemente a biomassa microbiana e, por isto, a conversão de áreas não submetidas à ação antrópica para áreas com sistemas sob plantio direto e convencional reduziram em 56 e 68%, respectivamente, o C-BM em um Latossolo Vermelho de cerrado (Souza et al., 2006a). Em área próxima a este experimento, no entanto, em um Neossolo Quartzarênico a conversão de cerrado para sistema de plantio direto, pastagem e integração agricultura-pecuária promoveu perdas de a 33, 51 e 53% no C-BM, respectivamente (Souza et al., 2006b). As reduções da biomassa encontradas nessas áreas estão relacionadas às modificações causadas na estrutura do solo, bem como na quantidade e na qualidade da matéria orgânica do solo, que sofre nítida modificação com a substituição da condição nativa por outras culturas. Nesta mesma linha, Souza et al. (2006b) verificaram que a recuperação do C-BM é bastante lenta, tendo em vista que, em área de cerrado nativo que sofreu pastejo intensivo e no momento da avaliação estava em recuperação por quatro anos, apresentou o C-BM 71% inferior ao cerrado nativo.

Cerri et al. (1985) encontraram valores de C-BM 100% maiores em área sem ação antrópica em relação a áreas cultivadas, devido, principalmente, à maior deposição de resíduos orgânicos no solo e à grande quantidade de

raízes, o que estimula a microbiota, principalmente nas camadas superficiais do solo. Por outro lado, Klemetsson et al. (1987) não detectaram mudanças significativas no C-BM em solos utilizados para cultivo da cevada. Marchiori Júnior & Mello (1999) encontraram teores semelhantes de C-BM entre pastagens com 20 ou 25 anos e mata natural. No entanto, esses autores encontraram, em áreas cultivadas com algodoeiro por 10 anos, reduções superiores a 60% no C-BM, em relação à mata natural.

Em sistemas de integração agricultura-pecuária, encontra-se mais um fator que irá influenciar na dinâmica do carbono no solo, pois o suprimento mais importante de nutrientes para as pastagens provém das excreções dos animais, na forma de esterco e de urina (Haynes & Williams, 1999). Com isso, esses materiais irão se acumular no solo, fazendo com que haja aumento da matéria orgânica e estímulo à biomassa microbiana, promovendo maior acúmulo de C-BM, pois o aumento da biomassa microbiana tem sido relacionado ao aumento da matéria orgânica no solo (Rezende et al., 2004). Aumento no C-BM é favorecido em solos com vegetação, naqueles com teores mais elevados de argila ou sob cultivo mínimo e, geralmente, há diminuição do C-BM nos solos cultivados, nos arenosos ou nos degradados pela erosão ou por contaminação com substâncias orgânicas tóxicas ou metais pesados (Moreira & Siqueira, 2006).

Além da quantidade de biomassa microbiana do solo, é importante conhecer sua atividade, pois a BM é quem catalisa inúmeras transformações bioquímicas essenciais à qualidade do solo e à funcionalidade do ecossistema, com grande reflexo nos processos globais. A atividade da biomassa pode ser avaliada pela liberação de C-CO<sub>2</sub> no solo, em que a quantidade de carbono liberado é indicativo do carbono lábil ou prontamente metabolizável do solo (Doran & Parkin, 1994). Souza et al. (2006b) verificaram que a biomassa microbiana em área sob cerrado nativo apresentou alta taxa de respiração, devido ao grande aporte de serapilheira, favorecendo a grande quantidade de microrganismos, comprovada pelo maior carbono na biomassa microbiana nessas áreas. Já, as áreas com soja e milho em sistema de plantio direto apresentaram baixa taxa respiratória. Os autores ponderam que isto pode ser benéfico pois, de acordo com D'Andréa (2001), elevados valores de respiração

nem sempre indicam condições desejáveis, uma vez que significam rápida liberação de nutrientes e, em longo prazo, perda de COT do solo.

Um outro parâmetro que pode ser determinado é o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), que é considerado muito importante na avaliação dos efeitos das condições ambientais sobre a atividade microbiana do solo, sendo referido como taxa de respiração específica da biomassa (Anderson & Domsch, 1993). Este quociente é expresso em quantidade de  $CO_2$  liberado por quantidade de carbono da biomassa microbiana por certo tempo. Souza et al. (2006a), avaliando o efeito de sistema de uso e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, encontraram diferenças significativas quanto ao  $qCO_2$  somente na área cultivada com sorgo sob plantio direto, apresentando alto valor de  $qCO_2$ , com menores valores nas áreas de cerrado e pastagem. Vários são os relatos mostrando menores valores de quociente metabólico em sistema de plantio direto (Balota *et al.*, 1998; Lima *et al.*, 1994) o que não foi observado por Souza et al. (2006a). Os autores explicam que isto pode ter ocorrido devido à recente implantação do sistema de plantio direto, pois se sabe que, devido às condições edafoclimáticas do cerrado, é provável que o quociente metabólico venha a diminuir futuramente, com a adaptação da biomassa microbiana às condições do solo.

Com isso, o C-BM pode ser utilizado como um indicador das condições impostas pelo manejo, pois ele é muito sensível a este, sendo o primeiro a ser alterado. Desta forma, ele pode fornecer boas informações sobre o manejo adotado, indicando condições de perdas ou ganhos na qualidade do solo.

#### **2.4.2. Nitrogênio**

A BM, além de possuir quantidades significativas de C em suas células, é rica em N, comparativamente aos tecidos vegetais e seus resíduos no solo. O N da biomassa microbiana (N-BM) representa até 4% do N total do solo. Segundo Moreira & Siqueira (2006), a quantidade de N-BM varia de 40 a 496  $kg\ ha^{-1}$ , dependendo do ecossistema, sendo típico de 101 a 108  $kg\ ha^{-1}$  de N. A liberação ou imobilização desses nutrientes (C e N) depende da dinâmica dos microrganismos, da quantidade e qualidade dos resíduos vegetais, da taxa de

retorno e da eficiência de utilização de carbono pela microbiota (Baudoin et al., 2003). A biomassa microbiana responde rapidamente à adição de C e de N ao solo, determinando a decomposição da matéria orgânica e a mineralização ou a imobilização de nutrientes (Hatch et al., 2000). O rápido retorno de N no solo pelos microrganismos contribui no processo de mineralização e é considerado relevante para a manutenção de ecossistemas naturais (Puri & Ashman, 1998; Jenkinson et al., 2004). O manejo do solo também interfere na biomassa microbiana, conseqüentemente, no N-BM. A imobilização do nitrogênio aplicado na forma de fertilizante pela BM seria uma das maneiras de retê-lo na forma orgânica por determinado período (Jenkinson & Ladd, 1981) e, assim, conservá-lo no sistema solo-planta.

O crescimento microbiano é limitado, muitas vezes, pela escassez de nutrientes encontrados no solo, mas a adição de fontes de carbono ou de nitrogênio ao solo podem aumentar a biomassa e, com isso, imobilizá-los na sua constituição celular (Graham et al., 2002). Por sua vez, a adição de nitrogênio ao solo apresenta, em sistemas agrícolas e florestais, efeito neutro (Tiquia et al., 2002) de aumento (Silvan et al., 2003) e de diminuição (Erny et al., 2003) do N-BM. Tem-se observado aumento da acidez do solo causada pela adição dos fertilizantes nitrogenados e, algumas vezes, associado às mudanças no N-BM (Moore et al., 2000). Foram encontradas, também, associações entre o aumento do N-BM com a maior fertilidade do solo, causada pela adição de nitrogênio e o subseqüente retorno dos restos vegetais ao mesmo (Silvan et al., 2003). A disponibilidade de nutrientes e a produtividade de agroecossistemas dependem do tamanho e da atividade da BM, pois esta representa o carbono e o nitrogênio mais lábil do solo (Jenkinson & Ladd, 1981). O tempo necessário para que o N-BM seja liberado no ambiente é dez vezes maior do que o do material vegetal em decomposição. Assim, a determinação do N-BM é de grande importância para a quantificação da dinâmica do nitrogênio em agroecossistemas, pois controla a disponibilidade e as perdas de nitrogênio inorgânico do solo, principalmente em sistemas em que há fluxo de nitrogênio no solo (Schloter et al., 2003).

O que se tem observado é que ocorre correlação negativa entre o N da biomassa microbiana e o N da serapilheira, indicando que quanto maior for a taxa de decomposição, menor é o N acumulado na biomassa microbiana

(Gama-Rodrigues et al., 1997), o que demonstra que a qualidade nutricional da serapilheira pode determinar a maior taxa de decomposição e, conseqüentemente, a imobilização de N pela biomassa microbiana. Além disso, se observa que a aplicação de doses elevadas de nitrogênio não promove a mineralização de nitrogênio, tampouco a imobilização na biomassa microbiana do solo (Corser et al., 2007), sendo isso independente da relação COT:N total da palhada na superfície.

O manejo do solo pode influenciar a população microbiana, em que a falta de uniformidade no manejo do solo durante vários anos pode acarretar flutuações na biomassa microbiana do solo, influenciada pela temperatura do solo e adição de resíduos vegetais (Patra et al., 1990). Isso evidencia que, em áreas não perturbadas, com manutenção de resíduos vegetais na superfície, há maior concentração de N microbiano (Hernández-Hernández & López-Hernández, 2002). De acordo com Gama-Rodrigues et al., (1997), em solos com baixa fertilidade, como na área sob cerrado nativo, a taxa de decomposição de matéria orgânica pode ser menor, levando à imobilização de N na biomassa microbiana e esta pode funcionar como reserva de N. A adição de N mineral ao solo ou mediante compostos orgânicos é relevante para disponibilizar nutrientes para as plantas. Por sua vez, a decomposição da matéria orgânica pode expressar valores diferentes e isto depende da qualidade do resíduo, da sua relação C:N, do tipo de argila e do manejo do solo (Rangeley & Knowles, 1988). O aumento da mobilização do N no solo resulta em decréscimo da sua capacidade de imobilização e conservação, levando a maiores perdas por lixiviação (Vargas & Scholles, 1998). A imobilização pela biomassa microbiana é temporária; na medida em que ocorre a morte dos microrganismos, há a mineralização desses microrganismos pelo restante da biomassa, liberando os nutrientes imobilizados. A biomassa microbiana é um componente importante do N potencialmente mineralizável. Portanto, quanto maior o conteúdo de N na biomassa microbiana, mais rápida será a sua reciclagem (Cochran et al., 1988; Anderson, 2003).

### 2.4.3. Fósforo

O fósforo orgânico é uma fonte potencial de P às plantas, devido à ciclagem biológica e à síntese e exsudação de enzimas fosfatases pelos microrganismos e raízes das plantas, as quais transformam o P orgânico em P inorgânico disponível no solo (Ross et al., 1995). Com a lise das células microbianas, após a morte da biomassa microbiana, devido a variações climáticas, ciclo de vida e manejo, ocorre liberação de diversos nutrientes no solo (Buchanan & King, 1992), entre eles o P. O P orgânico é de grande interesse para a dinâmica e a ciclagem desse nutriente e, apesar da pequena quantidade, o P da biomassa microbiana (P-BM) apresenta intenso fluxo, devido à rápida reciclagem. O P-BM representa cerca de 3% do P orgânico total em solos agricultáveis, entretanto, pode atingir 14% em pastagens e 20% em florestas, sendo que a relação C:P da BM pode variar de 1 a 36, com média em torno de 14 (Moreira & Siqueira, 2006). Isto demonstra que o P-BM é um importante componente da fração orgânica do P, sendo que ele pode ser mineralizado ou imobilizado, em que a BM pode imobilizar temporariamente o P e, com isso retardar ou diminuir a adsorção aos argilominerais do solo (Tate et al., 1991). Já o P que foi mineralizado fica presente na solução do solo, o qual pode seguir dois caminhos: 1) ser absorvido pelas plantas e/ou microrganismos e; 2) formar complexos nas várias interações com os argilominerais do solo. No caso do segundo caminho, o P tem sua disponibilidade diminuída, sendo esta disponibilidade menor quanto maior for a energia de ligação entre o P e os argilominerais.

A BM recicla cerca de 70 vezes mais P por ano que a fitomassa, em que o fluxo de P em solos sob pastagem e solos cultivados é de 23 e 7 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente (Moreira & Siqueira, 2006) e de 26 kg ha<sup>-1</sup> em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de plantio direto (Rhenheimer et al., 2001), utilizando uma taxa média de renovação de 40%. No entanto, se for usado para o cálculo uma taxa média de renovação de 80% (Srivastana & Singh, 1991) o fluxo de P através da BM pode ser bem maior pois, em regiões tropicais e subtropicais, as condições de temperatura e umidade são mais favoráveis à renovação microbiana.



Brookes et al. (1984) estimaram a quantidade de P microbiano em solos de regiões de clima temperado e verificaram valores de 5,6 a 100,9 kg ha<sup>-1</sup>, com fluxo de 2,2 a 40,4 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Solos com cobertura permanente de gramíneas ou submetidos a preparo contínuo para plantio de lavouras, apresentaram quantidades médias, de 56,8 e 17,0 kg ha<sup>-1</sup>, e fluxos de 22,7 e 6,8 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente, evidenciando que a BM participa efetivamente na reciclagem de P em solos com cobertura vegetal permanente.

O conteúdo de carbono no solo influencia os teores de P-BM, em que valores de P-BM baixos, devido ao baixo conteúdo de carbono do solo já foram relatados e, ainda, a quantidade de P do solo, na forma de P-BM, é aumentada pela adição de fertilizantes fosfatados, pois o P-BM atua como dreno de P do solo (Martinazzo et al., 2007). Os teores de P imobilizado na BMS podem ser altos, estando próximos aos teores do P disponível no solo extraído com resina (Martinazzo et al., 2007). Isto tem grande relevância, pois o P permanece em forma lábil no solo, podendo ser absorvido pelas plantas após a lise das células microbianas ou transferido à próxima geração de microrganismos. Neste contexto, o P temporariamente imobilizado na biomassa microbiana tem um importante papel na nutrição para as plantas, visto que retarda o processo de adsorção de P aos argilominerais do solo, que muitas vezes pode atingir níveis de irreversibilidade.

O P-BM exerce papel crucial no suprimento desse nutriente para as plantas, principalmente em sistemas com baixa adição de P (Gatibone et al., 2007) e com pastagens. Segundo Tian et al. (1992), o P-BM em resíduos no processo de decomposição pode ser responsável por até 70% de incremento de P nos resíduos. Contudo, devido à difícil quantificação do P-BM, se faz necessário amostragens no tempo, além da necessidade de avaliações mais detalhadas quanto à distribuição das frações do P no solo, que servirão de alicerce para detalhamentos sobre as interações entre microrganismos, MO e P no solo.

## **2.5. Agregação do solo**

### **2.5.1. Agentes envolvidos**

O solo é constituído por partículas primárias, que são classificadas como areia, silte e argila, em função do seu tamanho. A associação das partículas primárias originará as partículas secundárias, que são denominados de agregados; já o arranjo das partículas primárias com as secundárias irá formar a estrutura do solo. A estrutura do solo afetará diretamente o crescimento das plantas pelo maior ou menor suprimento de água e de oxigênio. A estrutura do solo é estabilizada pela interação entre numerosos fatores, entre eles, o sistema radicular das culturas, os teores de matéria orgânica do solo e a atividade dos microrganismos.

Os dois modelos mais aceitos para os processos de organização e formação de agregados do solo são os propostos por Edwards & Bremner (1967) e Tisdall & Oades (1982). Os primeiros apresentaram uma teoria na qual a formação de microagregados tem origem na reação entre moléculas orgânicas, cátions polivalentes (Fe, Al e Ca) e partículas de argila. Conjecturaram que a matéria orgânica complexada dentro dos microagregados poderia ser fisicamente protegida e inacessível aos microrganismos. Já o conceito hierárquico de agregação, proposto por Tisdall & Oades (1982), é o mais significativo avanço teórico para o entendimento da interação entre a MOS e agregados. Neste modelo, os agentes ligantes persistentes (matéria orgânica humificada, cátions polivalentes, óxidos e aluminossilicatos) são responsáveis pela união das partículas primárias livres e agregados do tamanho silte, com conseqüente formação de microagregados. A partir daí, ocorre a formação dos macroagregados, pela união dos microagregados por agentes ligantes temporários (raízes ou hifas de fungos) e transientes (polissacarídeos derivados de microrganismos ou plantas). Este modelo sofreu uma alteração que foi sugerida por Oades (1984), na qual raízes e hifas atuam como núcleos de formação de microagregados. Isto pode ser explicado pelo fato de que, ao se decomporem, as hifas têm seus fragmentos recobertos por mucilagens e incrustados de argilas, dando origem aos novos agregados.

Como pode ser observado, para que haja a formação e a estabilização de agregados, os agentes ligantes são indispensáveis. Os agentes ligantes podem ser divididos em grupos quanto à sua estabilidade no sistema solo. Eles podem ser: transitórios, temporários e permanentes. Os transitórios são compostos por polissacarídeos, resíduos da decomposição de raízes, resíduos vegetais e animais, além da exsudação radicular. Devido a sua composição, esses agentes ligantes são facilmente decomponíveis pela microbiota do solo, sendo que seu tempo de permanência no solo pode variar de horas a poucos meses. Isto é dependente, além da própria recalcitrância do composto, como também da proteção contra a degradação, que pode ocorrer pela associação com íons metálicos ou por sorção nas superfícies dos argilominerais, fazendo com que os mesmos se tornem agentes ligantes persistentes. Já os agentes ligantes temporários podem persistir no solo de meses a anos e são afetados pelo manejo do solo, e são representados pelas raízes e hifas fúngicas. Eles têm papel fundamental na formação e na estabilização dos macroagregados do solo. Os agentes ligantes persistentes são os compostos orgânicos em elevado grau de decomposição, os quais formam complexos organominerais e têm grande importância na formação e na estabilização dos microagregados.

Boeni (2007) afirma que, devido ao processo dinâmico de agregação, um contínuo suprimento de matéria orgânica particulada (MOP) é requerido para manter a estrutura do solo estável ao longo do tempo. A estabilização de macroagregados pela MOP é, no entanto, um processo transitório e a manutenção de um dado nível de agregação é dependente da contínua adição de resíduos vegetais ao solo. Os núcleos orgânicos são rapidamente decompostos e, posteriormente, os núcleos orgânicos são fragmentados pelos organismos do solo; com isso, a estabilidade de macroagregados declina aproximadamente na mesma proporção em que o material orgânico é decomposto. Entretanto, quanto maior for a associação entre a MOP e os minerais do solo, maior será a estabilidade dos macroagregados, sendo que este processo será dependente do tipo de solo. Esta associação tem grande importância, pois a MOP que auxiliou na formação e estabilização dos macroagregados fica protegida no seu interior, impedindo sua decomposição (Six et al., 2002).

### 2.5.2. Efeito dos sistemas de uso e manejo

O rápido declínio verificado na agregação no cultivo dos solos não antropizados, deve-se à redução da MOS e à ruptura das hifas e das raízes que atuam ativamente na estabilidade dos agregados (Moreira & Siqueira, 2006). É sabido que o cultivo intensivo do solo tem um efeito negativo sobre o seu estado de agregação, sendo isto relacionado, ao menos em parte, com a redução do teor de carbono no solo, sendo mais agravado quando os restos de cultura são queimados ou removidos. Com isso, verifica-se que o acúmulo de carbono no solo é de grande importância para o estado de agregação; esse aumento do carbono promove aumento na proporção de agregados maiores, e, com aumento de ambos resulta em melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Sistemas de integração agricultura-pecuária tem promovido aumentos consideráveis nos teores de matéria orgânica do solo em pouco tempo de condução (Salton, 2005). Isto é atribuído à melhoria da fertilidade do solo, da atividade biológica e das propriedades físicas do solo, pois sistemas que integram agricultura e pecuária tendem a reciclar os nutrientes mais eficientemente (Fabrício & Salton, 1999). Além disso, há maior controle de plantas daninhas, insetos e doenças, acarretando em melhoria na qualidade e disponibilidade da pastagem durante a estação seca e maior conservação do solo e da água. Silva et al. (2004) avaliaram pastagens em um Latossolo argiloso de Cerrado e verificaram que o estoque de carbono variou de 97,1 a 113,0 Mg ha<sup>-1</sup> até um metro de profundidade, com cerca de 50% desse acúmulo ocorrendo na camada de solo até 40 cm de profundidade.

Os sistemas de preparo de solo associados à rotação de culturas influenciam na estabilidade e no tamanho de agregados (Hernani & Guimarães, 1999), sendo que em áreas sob pastagem, os efeitos são mais pronunciados e em um tempo curto, devido ao sistema radicular fasciculado e agressivo das pastagens (Salton et al., 1999). Nesta mesma linha, Silva & Mielniczuk, (1997a) verificam que existe grande potencial das gramíneas perenes na formação e na estabilidade de agregados e em acumular carbono no solo. Citam ainda que, quando solos sob manejo convencional são convertidos em pastagens e

quando pastagens degradadas são melhoradas de forma a aumentar a produção de fitomassa, usualmente ocorre aumento nos teores de MO do solo e na estabilidade de agregados. Nos sistemas de manejo que utilizam plantas de cobertura, as gramíneas perenes apresentam ação agregante mais prolongada do que as leguminosas (Carpenedo & Mielniczuk, 1990), graças à presença de um sistema radicular fasciculado, mais denso, com maior contato com as partículas do solo. Porém, as leguminosas têm um efeito em curto prazo mais efetivo do que as gramíneas, pois apresentam uma relação C/N baixa, favorável à rápida decomposição microbiana.

Em estudos com relação à formação e estabilidade de agregados do solo no RS, Silva & Mielniczuk (1997a) verificaram que, em solos de textura argilosa, o sistema radicular de gramíneas perenes, entre elas pangola e setária, contribuíram para maior formação e estabilização dos agregados, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, o que favoreceu as ligações dos pontos de contatos entre partículas minerais e agregados. Neste mesmo estudo, os autores observaram maior diâmetro médio ponderado de agregados sob o sistema pangola em comparação a aveia/milho, a siratro e a solo descoberto.

### **2.5.3. Proteção física da matéria orgânica**

Enquanto a matéria orgânica e os microrganismos estabilizam a estrutura, uma estrutura estável protege fisicamente a matéria orgânica, formando um ciclo complexo entre MOS, microbiota e agregação (Boeni, 2007). A priori, parece existir uma incoerência nessa afirmação, entretanto, para que ocorra elevado acúmulo de carbono e de nitrogênio no solo, há a necessidade de que a atividade microbiana seja elevada, desde que haja alta adição de resíduos, pois isto irá favorecer a agregação do solo e, conseqüentemente, ter-se-á maior proteção da MOS que já foi parcialmente decomposta contra a total decomposição microbiana. A taxa de decomposição da matéria orgânica é dependente de diversos fatores como clima, tipo de solo, sistema de manejo, população microbiana, etc. Desta forma, as frações que possuem maior estabilidade serão menos decompostas, aumentando, assim, o estoque de

carbono e de nitrogênio no solo. A matéria orgânica pode se manter estável no solo em diferentes formas. Jastrow & Miller (1997) apresentam, de forma simplificada, os mecanismos de estabilização da MOS, classificando-os, como:

- recalcitrância bioquímica: dependente das características inerentes ao composto orgânico, como sua composição elementar, grupos funcionais e conformações moleculares que influenciam sua suscetibilidade à degradação por microrganismos e enzimas.

- estabilização química: decorrente da associação entre substâncias orgânicas e inorgânicas, havendo relativa proteção quanto à decomposição microbiana pela adsorção de matéria orgânica à superfície de minerais. Geralmente, a maior parte do C do solo está nesses complexos organominerais, os quais são pouco influenciados pelos sistemas de manejo do solo.

- proteção física: promovida pela oclusão de material orgânico no interior de agregados do solo, dificultando a acessibilidade de microrganismos e enzimas a esses sítios; é função do tipo de solo e do manejo adotado. Sistemas agrícolas que favoreçam a formação de agregados pela presença de raízes, resíduos e maior atividade biológica no solo terão maiores quantidades de MOS protegida fisicamente.

Para Boeni (2007), o acúmulo de matéria orgânica é variável com o tipo de solo. Desta forma, em solos arenosos há dificuldade de se manter altos níveis de MOS, pois o arranjo das partículas primárias resultará em interações químicas fracas e os poros têm maior diâmetro sendo, assim, facilitado o acesso dos microrganismos à MOS. Com isso, a matéria orgânica que realizava o papel de ligante orgânico é decomposta com facilidade e, por este motivo, a continuação da adição de resíduos é importante, para que haja continuidade da atividade microbiana e, como consequência, a estabilização dos agregados do solo. No outro extremo, em solos com elevado teor de argila e óxidos de ferro e alumínio, há maior facilidade em elevar e/ou manter altos níveis de MOS. Isto ocorre porque, nesses solos, tem-se maior quantidade de microporos e a MOS é mantida em altos níveis, pois encontra maior estabilidade química, a qual protege a MOS contra a decomposição pela microbiota, estabilizando a MOS. Estudos têm sugerido que, em solos

arenosos e argilosos, 15 e 52% da porosidade são inacessíveis aos microrganismos, respectivamente, uma vez que possuem diâmetros de poros menor que 0,2  $\mu\text{m}$  (Chenu & Stotzky, 2002).

A proteção física da MOS tem grande importância para o aumento nos estoques de C e N no solo. Diante disso, pode-se afirmar que sistemas de manejo que promovam o mínimo revolvimento e alta adição de resíduos, com conseqüente aumento da atividade microbiana do solo, podem favorecer o aumento da estabilidade dos agregados do solo e, por conseguinte, proteger a MOS entre os agregados, mantendo e/ou aumentando seu estoque no solo. Em sistemas de uso que não sofreram ação antrópica, as taxas de entrada e de saída de carbono são constantes e isso mantém a agregação do solo sem grandes variações e, por esse motivo, os estoques de C e N se mantêm estáveis ao longo dos anos. Com a conversão dessas áreas à agricultura, logo após o preparo do solo parte da MOS, principalmente a que estava protegida entre os microagregados, é perdida por oxidação microbiana e, por isso, se verifica um rápido declínio da MOS nessas condições. Geralmente a MOS que se mantém estável, ou seja, não é perdida, é a que forma complexos com os argilominerais e a protegida no interior dos microagregados pois, segundo Tisdall & Oades (1982), quanto menor for o tamanho do agregado, maior será sua estabilidade por conter vários tipos de ligantes.

Nesse sentido, alguns sistemas de manejo do solo e espécies vegetais possuem maior capacidade de promover a agregação do solo e, com isso, aumentar os estoques de MOS. O sistema de plantio direto, sistemas com pastagens e sistemas de integração agricultura-pecuária em plantio direto podem favorecer o aumento nos estoques de carbono do solo (Cambardella & Elliott, 1994; Corazza et al., 1999; Souza et al., 2008). O principal efeito das pastagens está na abundância das raízes e, devido à presença de raízes em crescimento, os macroagregados podem tornar-se mais estabilizados, devido a processos biológicos e físicos induzidos pela penetração das raízes nesses agregados (Six et al., 2002). Sistemas de manejo do solo sob plantio direto, pastagem cultivada e pastagem com eucalipto promovem maior acúmulo de carbono no solo em relação ao cerrado nativo, devido ao mecanismo de oclusão da MO em agregados, que é favorecido quando a estrutura de solos é

preservada, como no caso desses sistemas sem revolvimento (Corazza et al., 1999).

Em sistemas de plantio direto e de pastagens a dinâmica da matéria orgânica, do fósforo e da biomassa microbiana são diferenciadas quando avaliadas isoladamente; com a integração desses dois sistemas pode haver uma ampliação nas propriedades emergentes do solo. No entanto, poucos são os estudos que têm avaliado estes dois sistemas sob essa ótica e, daí surge a necessidade de se averiguar essa dinâmica para melhor entendimento dos mecanismos e processos que levam ao surgimento dessas propriedades emergentes.



## **3. CAPÍTULO 2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1. Local do experimento**

O experimento onde este trabalho foi desenvolvido faz parte de um projeto integrado entre os Departamentos de Solos e de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O trabalho vem sendo conduzido desde maio de 2001, em área localizada na Fazenda do Espinilho, pertencente à Cabana Cerro Coroado, cuja sede está localizada no município de São Miguel das Missões, ocupando também área dos municípios de Jóia e Tupanciretã, na região fisiográfica do Planalto Médio - RS.

### **3.2. Solo e histórico da área**

O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico, profundo, bem drenado, com coloração vermelho-escura e textura muito argilosa (0,54 kg kg<sup>-1</sup> de argila, 0,27 kg kg<sup>-1</sup> de silte e 0,19 kg kg<sup>-1</sup> de areia). O relevo é ondulado a suave ondulado. Antes do início do experimento, em 2001, a área vinha sendo cultivada em sistema plantio direto por 10 anos, com aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) no inverno e soja (*Glycine max*) no verão. No inverno do ano de 2000, a área foi utilizada para o pastejo de animais pela primeira vez. A área ficou sob pastejo por três semanas, no mês de julho, e, na seqüência, os animais foram retirados para que ocorresse a rebrota da pastagem para a produção de sementes, e implantação da cultura da soja, após sua colheita.

Foi realizada uma amostragem em novembro de 2000 para caracterizar quimicamente o solo da área experimental e os dados dessas análises (Cassol, 2003) estão apresentadas na Tabela 1.

**TABELA 1.** Características químicas do solo da área experimental, em diferentes profundidades, antes da instalação do experimento. Fazenda do Espinilho, novembro/2000. Fonte: Cassol (2003)

Prof.	pH	Índ. SMP	MO <sup>1</sup>	Ca <sup>2</sup>	Mg <sup>2</sup>	Al <sup>2</sup>	H+Al	P <sup>3</sup>	K <sup>3</sup>	V <sup>4</sup>	m <sup>5</sup>
cm	H <sub>2</sub> O		g dm <sup>-3</sup>	-----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----		mg dm <sup>-3</sup>		---- % ----	
0-5	4,9	5,2	42,2	6,20	1,26	0,30	8,68	13,39	240	48	4,3
5-10	4,6	5,1	34,8	4,80	1,78	0,59	9,72	9,76	119	41	9,0
10-15	4,6	5,1	25,5	4,10	2,15	0,72	9,72	5,18	88	40	10,8
15-20	4,6	5,0	25,5	4,00	1,10	1,01	10,13	3,70	55	34	16,9

<sup>1</sup> Matéria orgânica; <sup>2</sup> Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis (KCl 1M); <sup>3</sup> Fósforo e potássio disponíveis (Mehlich-1); <sup>4</sup> Saturação por bases; <sup>5</sup> Saturação por alumínio.

### 3.3. Tratamentos, delineamento experimental e condução do experimento

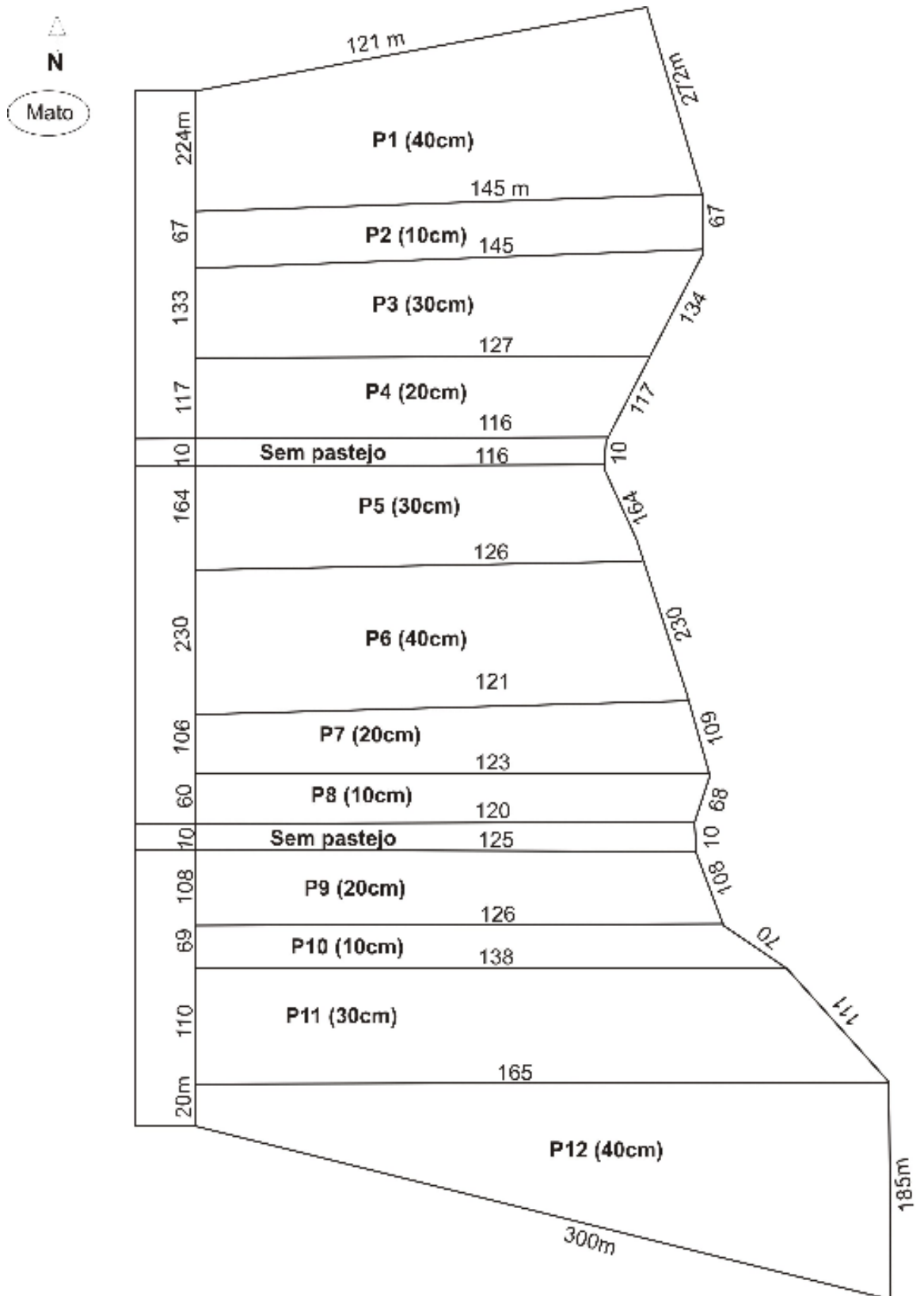
No outono de 2001, após a colheita da soja, foi iniciado o experimento com estabelecimento da pastagem de aveia preta + azevém (*Lolium multiflorum* Lam.). A área total do experimento é de aproximadamente 22 hectares, a qual foi dividida em 12 poteiros (parcelas experimentais) cujos tamanhos variam de 1,0 a 2,5 hectares, aproximadamente, em função do tratamentos aplicados. As parcelas foram separadas por cerca elétrica de dois fios. Ao longo do experimento foi utilizado um corredor lateral para manejar os animais sempre que necessário.

Os tratamentos constam de diferentes alturas de manejo da pastagem: 10, 20, 30 e 40 cm, distribuídas num delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições (Figura 2), sendo a altura da pastagem acompanhada a cada 14 dias, pelo método Sward stick (Bircham, 1981). As alturas de manejo da pastagem (Figura 3) são obtidas pela variação de carga animal de acordo com as alturas verificadas: retirando-se animais dos poteiros quando a altura real era menor que a pretendida e vice-versa. Nas áreas entre

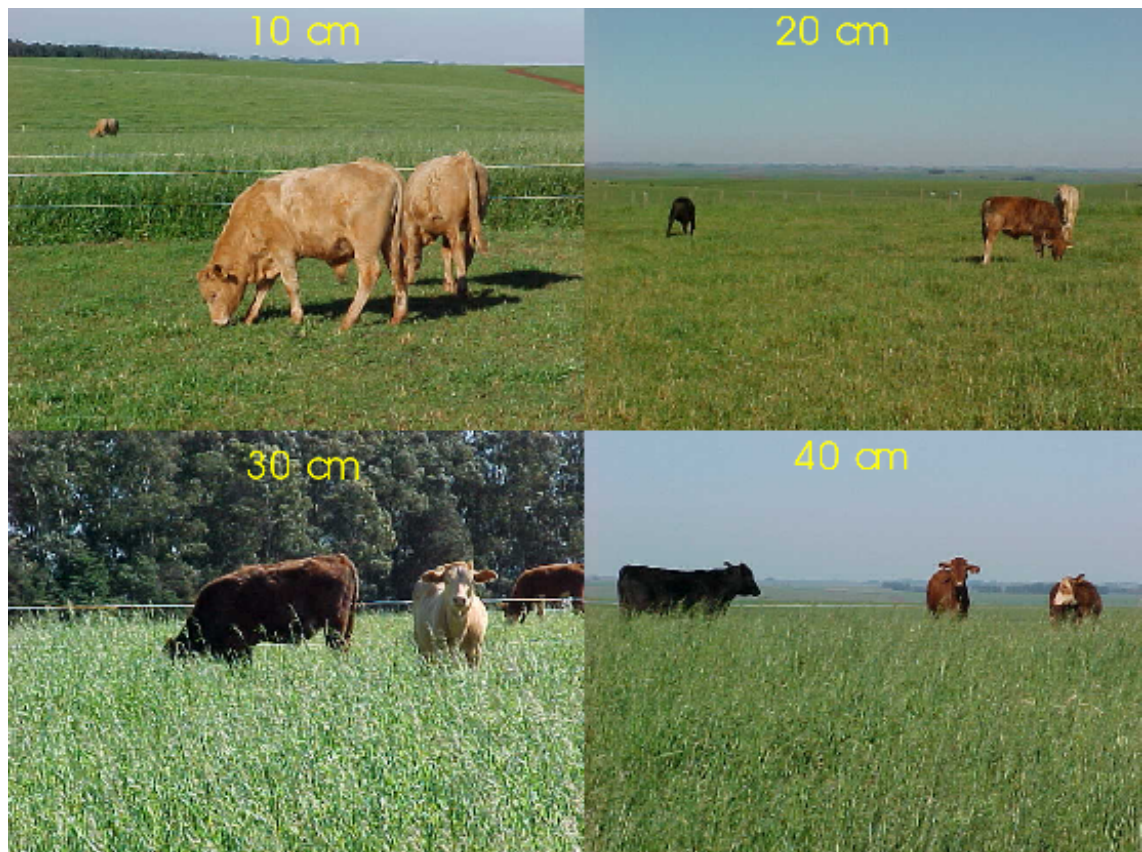
os blocos o pastejo é excluído, sendo considerada essa área como de referência. Em torno de 45 dias após a semeadura da pastagem era realizada uma adubação nitrogenada de cobertura, com dose variando de 45 a 90 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de uréia.

Tem-se utilizado bovinos jovens, com idade ao redor de 12 meses. O método de pastejo adotado é o contínuo, sendo que, geralmente, os animais entram na área quando a pastagem atinge um acúmulo médio em torno de 1500 kg de MS ha<sup>-1</sup>. De uma forma geral, os animais iniciam o ciclo de pastejo na primeira quinzena de julho, que se estende até a primeira quinzena de novembro. Após a retirada dos animais, a pastagem é dessecada para que seja realizada a semeadura da soja, a qual é realizada em meados de novembro em sistema de plantio direto, sendo os tratos culturais os recomendados para a cultura. A cultivar utilizada é a Iguazu, a qual é semeada via semeadura direta, num espaçamento entre linhas de 45 cm. A adubação de base constituída da aplicação de 300 kg ha<sup>-1</sup> das fórmulas 0-20-30, 5-20-20, 0-20-30, 0-20-30, 0-20-30 e 0-20-30 nas safras 2001/02, 2002/03, 2003/04, 2004/05, 2005/06 e 2006/07, respectivamente, e as sementes foram inoculadas com inoculante específico. A colheita, geralmente, é realizada entre abril e maio.

Após o término de cada ciclo de pastejo e da cultura da soja, são realizadas amostragens de solo para avaliação de atributos químicos e físicos do solo, as quais ocorrem nos meses de maio e novembro, respectivamente. Esse cronograma tem sido executado desde maio de 2001. Antes da implantação do primeiro ciclo da cultura da soja, em novembro de 2001, foi feita uma aplicação superficial de calcário em toda área, na dosagem de 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> (PRNT de 62%), recomendada para elevar o pH do solo até 5,5 para o sistema de plantio direto consolidado (CQFS RS/SC, 2004) e, desde então se tem acompanhado o efeito do calcário em profundidade, pela análise das amostras de solo coletadas periodicamente no experimento.



**FIGURA 2.** Croqui da área experimental na Fazenda do Espinilho – São Miguel das Missões/RS.



**FIGURA 3.** Alturas de manejo de uma pastagem de aveia preta + azevém em plantio direto, submetida ao pastejo de bovinos. Foto: Cassol (2003)

Por este trabalho possuir outros quatro capítulos, a descrição das épocas de amostragem, coletas, profundidades, análises laboratoriais e as análises estatísticas realizadas serão apresentadas dentro dos Materiais e Métodos específicos de cada capítulo.

## **4. CAPÍTULO 3. EVOLUÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO, SUBMETIDO A INTENSIDADES DE PASTEJO.**

### **4.1. Introdução**

O carbono orgânico é o principal componente da matéria orgânica do solo e o seu estoque no solo irá variar em função das suas taxas de perdas, dentre elas a erosão e a oxidação pelos microrganismos do solo, e em função da sua taxa de adição por resíduos vegetais e/ou animais. Em solos sem ação antrópica, o teor e o estoque de carbono serão afetados pela temperatura, pelas chuvas e pelo tipo de solo, pois esses fatores influenciam nas taxas de adição e de perda desse elemento (Bayer & Mielniczuk, 1997).

Em sistemas agrícolas, o estoque de carbono orgânico no solo será influenciado pelo manejo adotado. Em solos com intenso revolvimento, em que ocorre aumento da atividade microbiana pela maior exposição dos resíduos aos microrganismos e suas enzimas, além de perdas de solo por erosão, ocorrem outras perdas de carbono do sistema. Assim, solos em ambiente subtropical (Argissolo), submetidos ao plantio convencional necessitam de uma adição de carbono anual de  $8,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ , enquanto os submetidos ao plantio direto essa adição é de  $4,2 \text{ Mg ha}^{-1}$  para manter os estoques de matéria orgânica do solo (Lovato et al., 2004).

Do ponto de vista ambiental, o aumento no estoque de carbono no solo é proveniente do seqüestro de carbono atmosférico, sendo muito importante na mitigação da emissão de gases do efeito estufa (Lal, 2002). No entanto, o

entendimento da dinâmica da matéria orgânica no solo deve ser baseado em estudos que levem em consideração o tempo, pois a evolução dos teores de matéria orgânica decorrente da prática de manejo adotada pode ser lenta, e somente com tempo se pode obter as informações necessárias ao entendimento das interações que estarão ocorrendo no solo.

Em sistemas de integração agricultura-pecuária em plantio direto ocorre aporte diferenciado de resíduos vegetais tanto na superfície como no perfil do solo pelas raízes (Salton, 2003). Em função da intensidade de pastejo adotada, ocorre maior ou menor desenvolvimento radicular, tanto da pastagem como da cultura de grãos integrante do sistema e, com isso, o aporte de carbono em profundidade será influenciado, podendo aumentar ou diminuir o seu estoque no solo. Em sistemas sob plantio direto, a matéria orgânica se mantém estabilizada no interior dos agregados, aumentando a fração particulada, além de não ocorrer alterações na fração associada aos minerais (Conceição et al., 2005; Boeni, 2007).

Desta forma, em sistemas de integração agricultura-pecuária de longo tempo em plantio direto, com diferentes intensidades de manejo da pastagem, haverá uma adição diferente de resíduos vegetais ao solo. Além deles, tem-se ainda os resíduos de origem animal sendo adicionados. Com essa adição diferenciada de resíduos ao solo, espera-se ter diferentes estoques de carbono orgânico, principalmente na fração particulada. Com isso, espera-se que: 1) nas áreas com maior intensidade de pastejo, ocorra maior saída de carbono e de nitrogênio do sistema, devido às perdas por respiração microbiana e ao pastejo animal e, com isso, haver menores estoques de carbono e de nitrogênio no solo; 2) nas áreas com maior adição de resíduos, nas menores intensidades de pastejo, o acúmulo de carbono e de nitrogênio ocorre inicialmente na superfície do solo, com posterior aumento em profundidade e; 3) o carbono e nitrogênio na fração particulada serão os primeiros a indicar as perdas ou ganhos desses nutrientes no solo, sendo as perdas mais evidentes nas áreas com maiores intensidades de pastejo.

O objetivo deste estudo é o de avaliar a evolução dos estoques de carbono orgânico e de nitrogênio total nas frações físicas da matéria orgânica, relacionando a labilidade e as alterações da matéria orgânica com as pressões

de pastejo e verificar o potencial de sistemas de integração agricultura-pecuária em seqüestrar C atmosférico.

#### **4.2. Material e Métodos**

A descrição da área experimental, as etapas e os materiais comuns à todos os estudos foram abordados no Capítulo 2. No presente estudo, foram avaliados os teores e os estoques de carbono e de nitrogênio. Para a realização da coleta, foram abertas trincheiras de 30 x 20 x 25 cm e, posteriormente, com uma pá de corte retirava-se um bloco de solo. A partir disso, foram coletados, com auxílio de uma espátula, blocos de solo nas camadas de 0 a 2,5; 2,5 a 5; 5 a 7,5; 7,5 a 10; 10 a 15 e 15 a 20 cm, no início do experimento (maio de 2001), três anos após (maio de 2004) e seis anos após (maio de 2007). A amostragem foi composta por oito pontos por parcela, formando, assim, uma amostra composta representativa do tratamento, o qual tem três repetições distribuídas em blocos ao acaso no campo. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas até o Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da UFRGS, secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm para posteriores análises.

O fracionamento físico da matéria orgânica foi realizado segundo Cambardella & Elliot (1992): foram pesadas 20 g de solo, colocados em frascos do tipo “snap-cap” de 180 mL e adicionado 80 mL de solução de hexametáfosfato de sódio ( $5 \text{ g L}^{-1}$ ). As amostras foram agitadas por 15 horas em agitador horizontal. Posteriormente, a suspensão foi passada em peneira de 53  $\mu\text{m}$  com auxílio de jato de água. O material retido na peneira foi seco em estufa a  $50^{\circ}\text{C}$  até massa constante, moído em gral de porcelana e analisado quanto ao seu teor de carbono orgânico, denominado de carbono orgânico particulado (COP). A determinação dos teores de carbono total e particulado, foi realizado em um analisador Shimadzu TOC-V CSH. O nitrogênio total do solo (NT) e nas frações da MOS foi determinado pelo método de Kjeldahl, segundo Tedesco et al. (1995).

Os estoques de COT, NT, COP e nitrogênio na fração particulada no solo foram calculados em massas equivalentes de solo. O método da massa



equivalente leva em conta a massa do solo dos tratamentos em relação ao solo com a maior massa, o qual é tido como referência (Ellert & Bettany, 1995). Desta forma, o cálculo dos estoques foram baseados nas densidades de solo de  $1,21 \text{ kg dm}^{-3}$  e  $1,36 \text{ kg dm}^{-3}$  para as camadas de 0 a 2,5 e 2,5 a 5,0 cm, respectivamente; para as demais camadas foi utilizada a densidade de  $1,35 \text{ kg dm}^{-3}$ .

O cálculo do Índice de Manejo do Carbono (IMC) e de seus componentes foi efetuado nas amostras coletadas no ano de 2007, a partir da proposta original de Blair et al. (1995) com as adaptações de Diekow (2005), o qual considera a MOP como representando a fração lábil da MOS e a matéria orgânica associada aos minerais como não lábil.

Os resultados das análises realizadas foram submetidos à análise de variância, empregando-se o teste de Tukey com  $P < 0,05$  para a separação das médias, utilizando o seguinte modelo estatístico para a análise da variância:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + A_j + \text{erro } a(i,j) + C_k + \text{erro } b(i,k) + AC_{jk} + \text{erro } c(i,j,k)$$

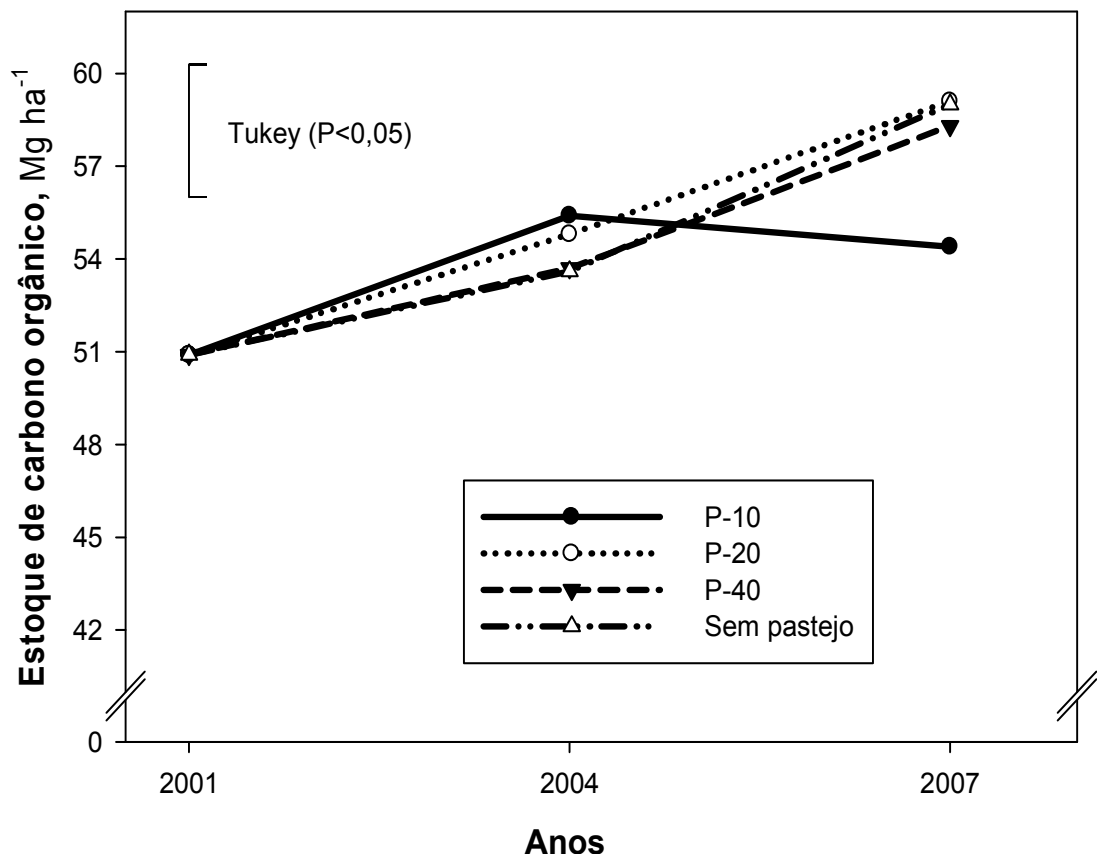
Onde: B = blocos ( $i = 1,2,3$ ); A = intensidades de pastejo ( $j = 1,2,3,4$ ); C = camadas amostradas ( $k = 1,2,3,4,5,6$ ).

Na análise de variância entre as épocas de amostragem, utilizou-se o mesmo modelo estatístico, alterando-se o fator "A", do modelo, denominado intensidades de pastejo, para épocas de amostragem ( $j = 1,2,3$ ), pois essa análise foi realizada comparando as médias dentro de cada intensidade de pastejo.

### **4.3. Resultados e Discussão**

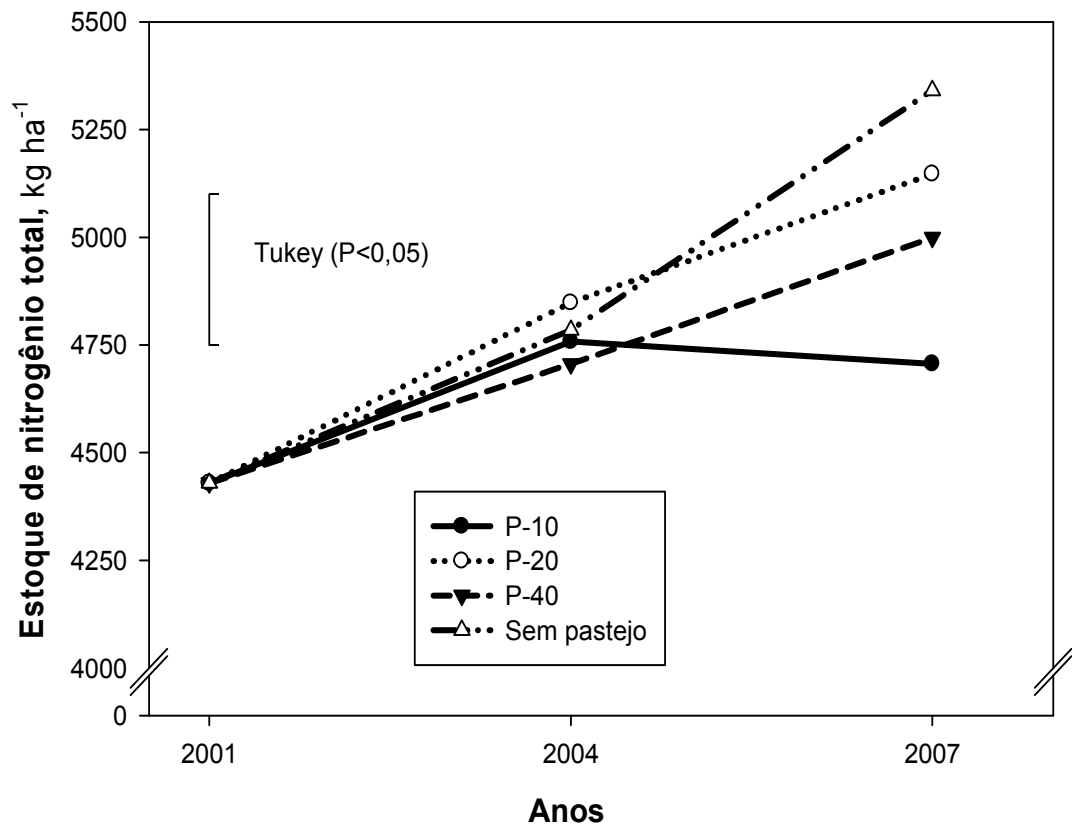
Os estoques de carbono e de nitrogênio total do solo tiveram um comportamento ascendente a partir da instalação do experimento em 2001 (Figura 4 e 5). Os teores iniciais ( $51 \text{ Mg C ha}^{-1}$  e  $4400 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) são elevados, devido aos fatores de formação do solo e pelo fato de que a área do experimento vinha sendo conduzida em plantio direto por 10 anos. Com

relação aos estoques de C (Figura 4), é observado um aumento médio em três anos, de  $3,47 \text{ Mg ha}^{-1}$ , o que representa incremento médio anual de  $1,16 \text{ Mg ha}^{-1}$  de carbono, sendo considerado alto por Corazza et al. (1999). Para o N, foi verificado um aumento médio no estoque de  $345,2 \text{ kg ha}^{-1}$ , representando um aporte anual médio de  $115,0 \text{ kg ha}^{-1}$ . Esperava-se aumentos nos estoques de C e N em todas as intensidades de pastejo nos anos iniciais de condução do trabalho, uma vez que houve uma mudança considerável no manejo da área: a aplicação de nitrogênio na pastagem de inverno e a inserção do animal nas áreas pastejadas. Isto provoca alterações no solo, como maior agregação e, conseqüentemente, maior proteção da matéria orgânica, além de uma reorganização do sistema solo promovendo menores perdas de C e de N (Salton, 2005; Boeni, 2007).



**FIGURA 4.** Estoques de carbono orgânico total na camada de 0 a 20 cm em um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos anos, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Influência das intensidades de pastejo nos estoques totais de C e N somente foram verificadas no sexto ano (Figura 4 e 5), em função das adições dos resíduos resultantes do manejo da pastagem em diferentes intensidades. Houve aumento desses nutrientes, praticamente linear, do primeiro para o sexto ano em todos os tratamentos com exceção ao pastejo de 10 cm que, tanto para o C como para o N total tendeu a um aumento aos três anos e depois a um decréscimo, sem porém haver diferenças ( $P>0,05$ ) em relação aos teores iniciais.



**FIGURA 5.** Estoques de nitrogênio total na camada de 0 a 20 cm em um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos anos, pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).

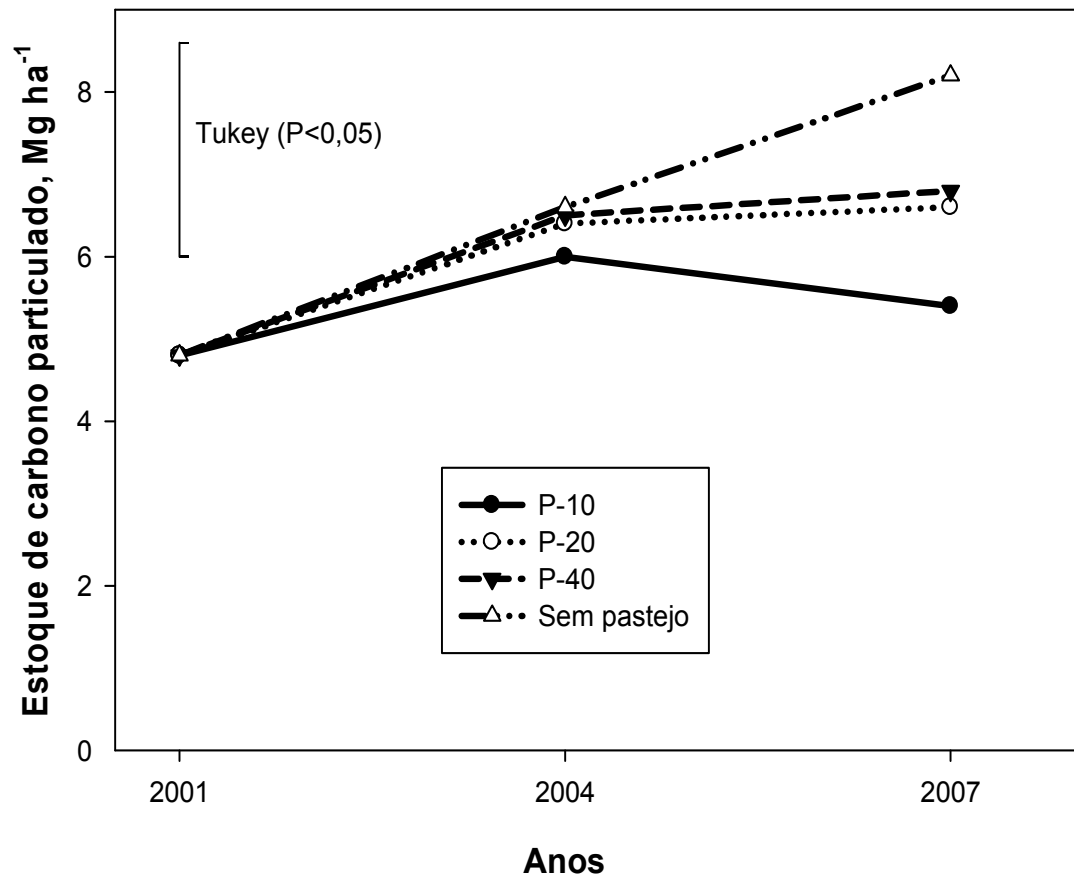
Assim, com relação aos estoques de C total no solo (Figura 4), estes aumentaram nas intensidades de pastejo de 20 e 40 cm e para a área sem pastejo. Os incrementos nessas áreas foram de  $4,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $4,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $5,4$

Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; com isso, a taxa anual de adição de C foi de 1,43, 1,5 e 1,80 Mg ha.ano<sup>-1</sup>, sendo consideradas altas (Corazza et al., 1999). Já, na maior intensidade de pastejo houve perdas de C do terceiro para o sexto ano, as quais chegaram a 1,0 Mg ha<sup>-1</sup>, com taxa de perda de 0,33 Mg ha.ano<sup>-1</sup>. Os estoques de N total no solo (Figura 5) seguiram a mesma tendência observada para o C total, uma vez que há relação direta entre os ganhos ou perdas de C e de N no solo. Os aportes de N no pastejo a 20 e 40 cm e na área sem pastejo foram de 299, 293 e 556 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Desta forma, a taxa de adição de N foi de 99,7 kg ha.ano<sup>-1</sup>, 97,6 kg ha.ano<sup>-1</sup> e 188,3 kg ha.ano<sup>-1</sup>. Da mesma forma em que ocorreu para o C total, a maior intensidade de pastejo acarretou perdas de N do sistema a partir do terceiro ano. Nesse manejo, a perda de N foi de 52,1 kg ha<sup>-1</sup> e, com isto, a taxa de perda de N foi de 17,4 kg ha.ano<sup>-1</sup>. Aportes de C na ordem de 0,81 Mg ha.ano<sup>-1</sup>, verificados por Sá (2001) na mesma camada de um Latossolo Argiloso sob plantio direto com plantas de trigo e de cobertura no inverno e de soja e milho no verão, classificam esse sistema como de grande potencial de seqüestrar C atmosférico. Na comparação com esse sistema, o de integração agricultura-pecuária, objeto do presente estudo, é ainda maior, no sentido de auxiliar na mitigação de gases causadores do efeito estufa.

Se espera que as áreas com intensidades moderadas de pastejo, assim como a área sem pastejo, tenham aumentos menos pronunciados nos estoques de C e N total com o tempo, uma vez que há um limite de acúmulo de matéria orgânica para os solos em geral (Diekow et al., 2005). Entretanto, as perdas na maior intensidade de pastejo possivelmente continuem ocorrendo, visto que a adição de resíduos pela parte aérea é menor nessa intensidade de pastejo e a exportação e perdas via respiração microbiana (Capítulo 5) são muito superiores às demais intensidades.

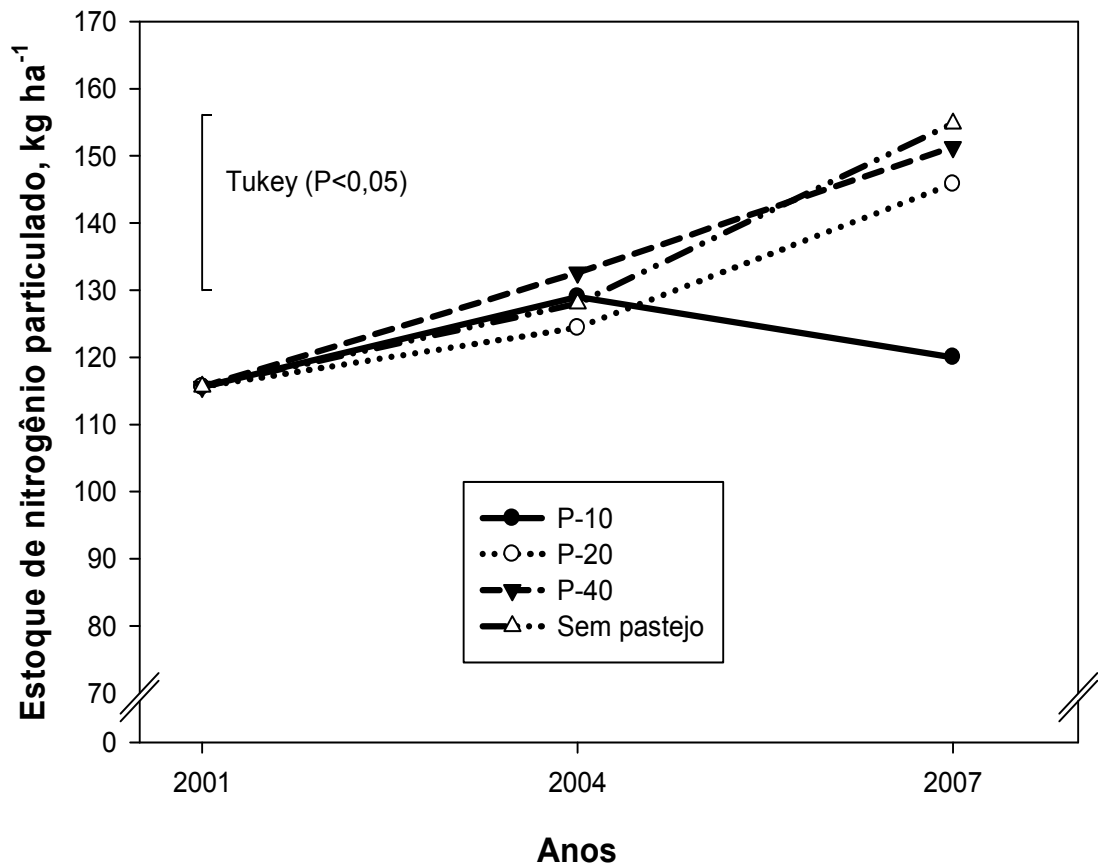
Assim como para o C e o N total (Figuras 4 e 5), a mesma tendência de acúmulo foi verificada no C e no N na fração particulada da matéria orgânica nos diferentes manejos da pastagem (Figuras 6 e 7) nos três primeiros anos de condução de experimento. No entanto, aos seis anos de condução, a exemplo do que com os estoques totais desses nutrientes, essa tendência deixou de existir ou mesmo tomou sentido decrescente nos seus estoques na fração particulada na maior intensidade de pastejo (Figuras 6 e 7). Por ser uma fração

mais lábil da matéria orgânica, a fração particulada que é tida como um bom indicador do manejo do solo (Conceição et al., 2005), se confirma e indica que na área com maior intensidade de pastejo (10 cm) está havendo a degradação da matéria orgânica a partir do terceiro ano.



**FIGURA 6.** Estoques de carbono orgânico particulado na camada de 0 a 20 cm em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos anos, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

As intensidades de pastejo influenciam grandemente a quantidade total de C e N adicionado ao solo, uma vez que há relação direta entre a altura do pasto e a massa de forragem da parte aérea no presente experimento (Cassol, 2003; Souza et al., 2008). Da mesma forma, a intensidade de pastejo tem influenciado a massa de raízes, que tem sido, porém, inversamente proporcional à altura do pasto (Apêndice 1).



**FIGURA 7.** Estoques de nitrogênio particulado em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos anos, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A massa média da parte aérea das plantas de aveia preta + azevém tem sido de 1,76, 2,72, 4,30 e 5,45  $\text{Mg ha}^{-1}$ , para as intensidades de 10, 20 e 40 cm e a área sem pastejo, respectivamente (Lopes, 2008). Assim, é verificado que, para cada cm de aumento na altura do pasto há um acréscimo de 130  $\text{kg ha}^{-1}$  de massa seca da parte aérea. Para a massa de raízes se observa maior massa nas áreas com maior intensidade de pastejo, sendo, na camada de 0 a 10 cm, 1,47, 1,23, 1,10 e 0,56  $\text{Mg ha}^{-1}$ , para as intensidades de 10, 20 e 40 cm e a área sem pastejo, respectivamente (Souza et al., 2008). Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que nas áreas mais intensamente pastejadas ocorre maior perfilhamento e, ao emitir um novo perfilho, ocorre nova emissão de raízes. No entanto, como o pasto se mantém muito baixo na maior intensidade de pastejo (10 cm), a bainha das folhas

sempre será pequena (por serem cortadas pelo pastejo) e ocorrerá menor alongação celular nas folhas no escuro e que, ao contato com a luz, a sua expansão cessa. Com isso, tem-se folhas menores e, como consequência, o aparato fotossintético também é reduzido em função do pequeno índice de área foliar, levando à menor eficiência fotossintética. Já, em menores intensidades de pastejo ou na área sem pastejo, o aparato fotossintético é maior, em função da maior área foliar, proporcionando maior conversão de energia. Essa maior quantidade de energia fixada irá resultar em maior fitomassa.

A intensidade de pastejo, além da quantidade de resíduos depositados, afeta também como os animais distribuem os dejetos na área. Em intensidades moderadas de pastejo (20 e 30 cm de altura do pasto), não há falta e nem excesso de forragem a ponto de haver seleção por parte dos animais no pastejo, assim como o tempo em que os animais passam pastejando é menor (Baggio, 2007). Após pastejar, o animal irá ruminar e, com isso, a distribuição dos dejetos pode ser mais concentrada em determinado local. Já, em situações de baixa oferta ou baixa qualidade de forragem, o animal caminha mais para adquirir todo alimento que precisa e, assim, o tempo de ruminação é menor e ele acaba distribuindo os dejetos em vários pontos da área. Isso irá alterar a distribuição do material orgânico lábil nessas áreas, fazendo com que a atividade microbiana será diferenciada. Já, na área em que o pastejo é excluído, o que se tem, é a adição de resíduos vegetais somente, que é melhor distribuído e menos decomponível pelos microrganismos, em relação ao das áreas pastejadas.

Pode-se efetuar uma estimativa de quanto carbono é ingerido por animal, baseando-se no seu consumo diário para as intensidades de 10 e 40 cm de 5,11 e 5,22 kg dia<sup>-1</sup> de matéria seca, respectivamente, considerando, consumo de 2,5% de peso vivo médio. Assim, no período de pastejo de 131 dias tem-se um consumo de: 669 e 684 kg de MS animal<sup>-1</sup>, para as intensidades de 10 e 40 cm. Como se tem que 45% da massa seca do tecido vegetal é C, vão para o subsistema animal cerca de 301 e 308 kg de C animal<sup>-1</sup>, para essas intensidades de pastejo, o que representa 1278 e 371 kg ha<sup>-1</sup> de C, para as intensidades de 10 e 40 cm, respectivamente. Com isso, verifica-se que a quantidade de carbono que vai para o subsistema animal, se for

considerado um animal isoladamente, é muito semelhante independentemente da intensidade de pastejo. Entretanto, quando se avalia por unidade de área, o que se considera mais correto, a quantidade de C que adentra o subsistema animal é muito maior na intensidade de 10 cm do que na intensidade de 40 cm. Isto pode influenciar grandemente a dinâmica da matéria orgânica no sistema solo-planta-animal-atmosfera, visto que, o C que adentra o subsistema animal pode voltar para a atmosfera mais facilmente via respiração, atividade de bactérias no rúmem e liberação de dejetos que são mais facilmente decomponíveis, com conseqüente menor aporte diretamente ao solo via planta. Com isso, pode-se explicar, em parte, o porquê da intensidade de 10 cm estar causando atualmente perdas de C e N do solo.

Em condições subtropicais e em solos sob plantio direto com baixo teor de argila, é necessária a adição de aproximadamente  $9,0 \text{ Mg ha.ano}^{-1}$  de matéria seca para se manter o estoque inicial de C no solo (Vieira, 2007). Para o solo do presente trabalho, por possuir alto teor de argila e óxidos, essa adição deve ser menor. Mesmo assim, as intensidades de 20 e 40 cm juntamente com a área sem pastejo têm conseguido adicionar quantidades superiores a  $9,0 \text{ Mg ha.ano}^{-1}$  quando se soma a massa de raiz e parte aérea da pastagem (Conte, 2007) de aveia e azevém juntamente com a cultura da soja.

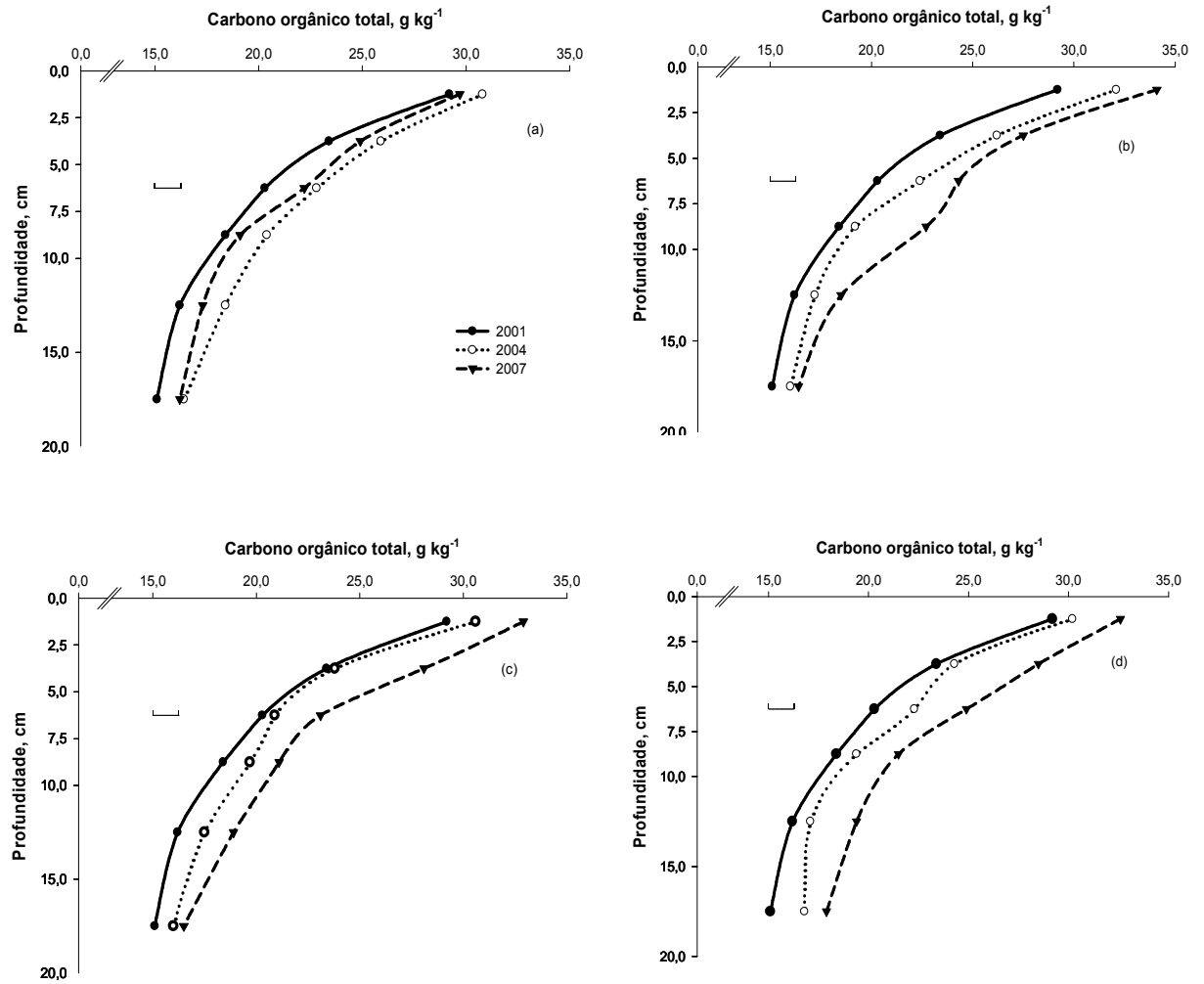
Como citado anteriormente, aumentos nos estoques de C estão também relacionados a aumentos nos estoques de N no solo, o que significa que quando se objetiva a recuperação dos estoques de MO de um solo degradado, a adição de N ao sistema é fundamental (Vieira, 2007). Entre a utilização de fertilizantes nitrogenados minerais e a inclusão do cultivo de plantas leguminosas no sistema de rotação de culturas, o que se observa é que o N adicionado via fixação simbiótica é mais eficiente que o N adicionado via fertilizante em promover acúmulo de C no solo. Provavelmente é por isso que no presente estudo, em que ocorre aplicação somente de  $45 \text{ a } 90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, os aumentos nos estoques de N no solo atingiram taxas de até  $180 \text{ kg ha.ano}^{-1}$ , provenientes do N fixado pela soja, uma vez que o saldo é positivo no solo. Em intensidades de pastejo que favoreçam menores perdas de matéria orgânica, esse N pode ser acumulado no sistema, como ocorre nas intensidades de 20 e 40 cm e na área sem pastejo. O N fixado pela associação simbiótica já é adicionado ao solo na forma orgânica. Por estar ocorrendo



aumento nos estoques de N, pode-se inferir que não estão ocorrendo perdas significativas do N aplicado via fertilizante, reduzindo as consequências em relação ao lençol freático e contaminação da água, causadas pela lixiviação de nitrogênio (Vieira, 2007).

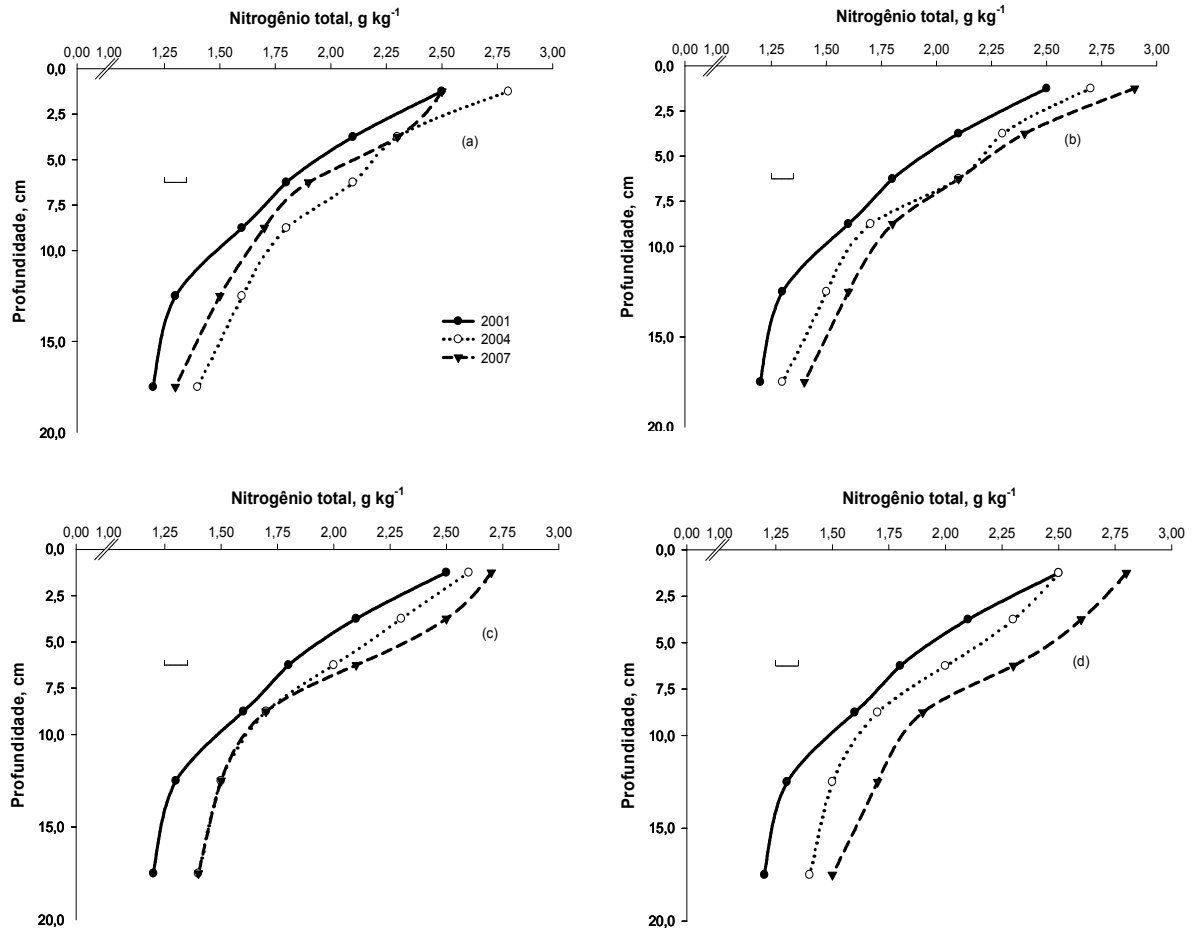
Se espera que a adição de resíduos vegetais, da parte aérea e da raiz e dejetos dos animais, seja diferenciada em relação às culturas, às intensidades de pastejo e ao perfil do solo. Os maiores acúmulos nos estoques de C e N total ocorreram até 20 cm de profundidade na área sem pastejo e até nas intensidades moderadas de pastejo; já para o C e N da fração particulada, ocorreram nas camadas mais superficiais do solo (Figuras 8 a 11). O que se verifica, é que a maior massa de raízes ocorre nas camadas mais superficiais do solo (Apêndice 1), que se acumulam no tempo, pois ocorre um mínimo de revolvimento do solo no sistema de semeadura direta e, portanto, pouca incorporação mecânica dos resíduos vegetais. Além disso, se verifica que as intensidades que apresentam maiores teores de C e N na camada superficial ( $P < 0,05$ ) (Figuras 8 e 9) também proporcionam teores mais elevados em camadas mais profundas e, com o passar do tempo, os teores destas camadas podem também passar a diferir ( $P < 0,05$ ) tal como observado por Diekow et al. (2005). Entretanto, na maior intensidade de pastejo houve um certo aumento até o terceiro ano, com um retrocesso dos teores de C e N totais no solo a partir desse momento (Figuras 8 e 9).

Os maiores aumentos de C e N total ocorreram na área sem pastejo (Figuras 8 e 9), visto que não ocorrem saídas desses elementos via animal como nas áreas pastejadas. Para o nitrogênio, isso é mais evidente, visto que, há pouca saída de N do sistema; desta forma, esse nutriente é reciclado no sistema e, por ser móvel solo, tende a descer no perfil. Entretanto, as maiores concentrações, tanto de C como de N, ocorrem nas camadas superficiais, diminuindo com a profundidade do solo, de forma similar ao estudo conduzido por Diekow et al., (2005).



**FIGURA 8.** Teores de carbono orgânico total em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. 10 cm (a), 20 cm (b), 40 cm (c) e sem pastejo (d). Barra na horizontal compara cada profundidade entre os anos, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

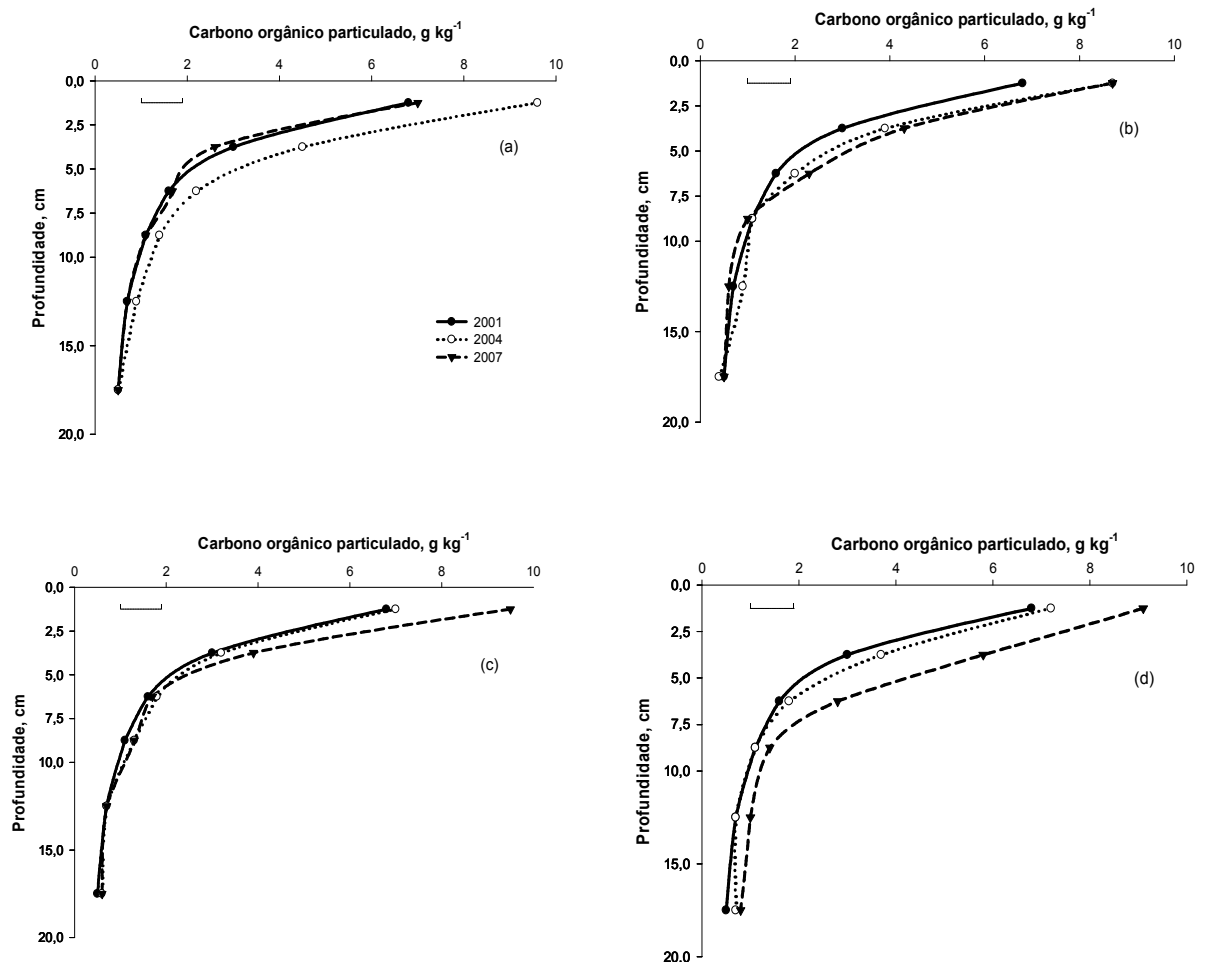
O que pode estar contribuindo para o acúmulo de C e N em profundidade, além do sistema radicular, é o transporte de resíduos vegetais da superfície do solo, pela macro e mesofauna do solo. Os sistemas de manejo que promovem melhorias da qualidade do solo (20 cm, 40 cm e sem pastejo) podem propiciar ambiente favorável para o desenvolvimento desses organismos, como maior disponibilidade de resíduos, temperaturas constantes, umidade e proteção contra incidência direta dos raios solares.



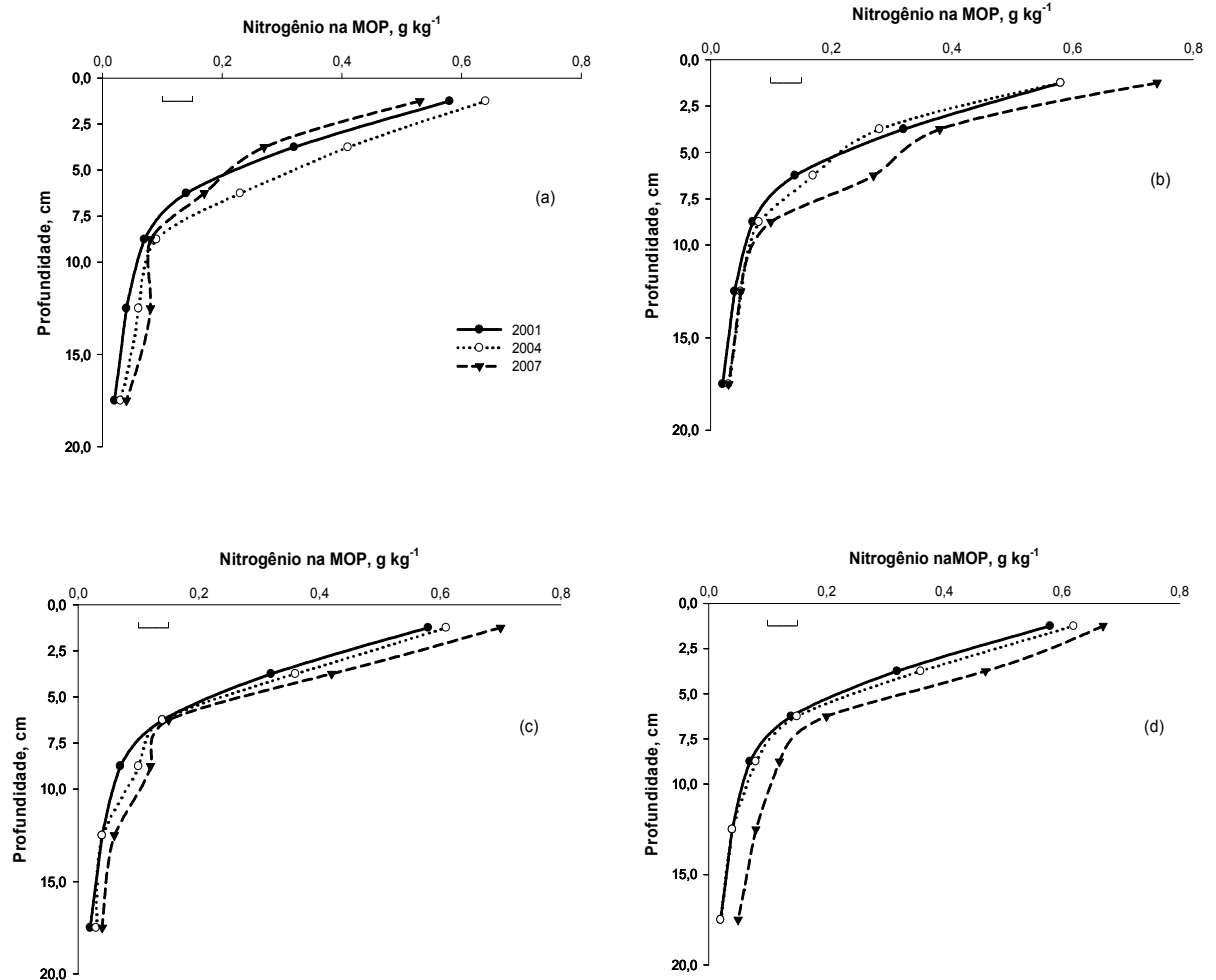
**FIGURA 9.** Teores de nitrogênio total em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. 10 cm (a), 20 cm (b), 40 cm (c) e sem pastejo (d). Barra na horizontal compara cada profundidade entre os anos, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

O C e o N na fração particulada (Figuras 10 e 11) apresentaram comportamento semelhante ao C e N total do solo entre as intensidades de pastejo, entretanto, os ganhos ou perdas são menores e ocorreram, mais evidentemente, nas camadas superficiais. Na intensidade de 20 cm e sem pastejo, após seis anos, houve aumentos ( $P < 0,05$ ) nos teores de C e N na fração particulada até a profundidade 7,5 cm. Já, na intensidade de 40 cm o C na fração particulada aumentou após seis anos somente até 2,5 cm e, para o N nessa fração até a profundidade de 5,0 cm. Em sistemas de manejo sob plantio direto com pastagens, ocorre intensificação dos fluxos de matéria (carbono fotossintetizado, nutrientes, etc) e de energia no solo, refletindo-se no aumento dos teores de carbono, principalmente nos compartimentos mais lábeis da MO,

os quais são mais sensíveis ao manejo do solo (Gregorich & Janzen, 1996). Assim como ocorreu para o C e N total, os teores desses nutrientes na fração particulada da MO, na intensidade de 10 cm sofreram decréscimos após seis anos de condução do experimento (Figuras 10a e 11a). De acordo com Conceição et al. (2005), ocorre um rearranjo da estrutura do solo e isso faz com que inicialmente haja aumento nos teores de C e N na fração particulada; entretanto, com o passar do tempo as perdas desses nutrientes passam a ser maiores do que os fluxos de entrada, o que promove uma degradação do solo, com as perdas dessa fração particulada, por ser mais sensível ao manejo.



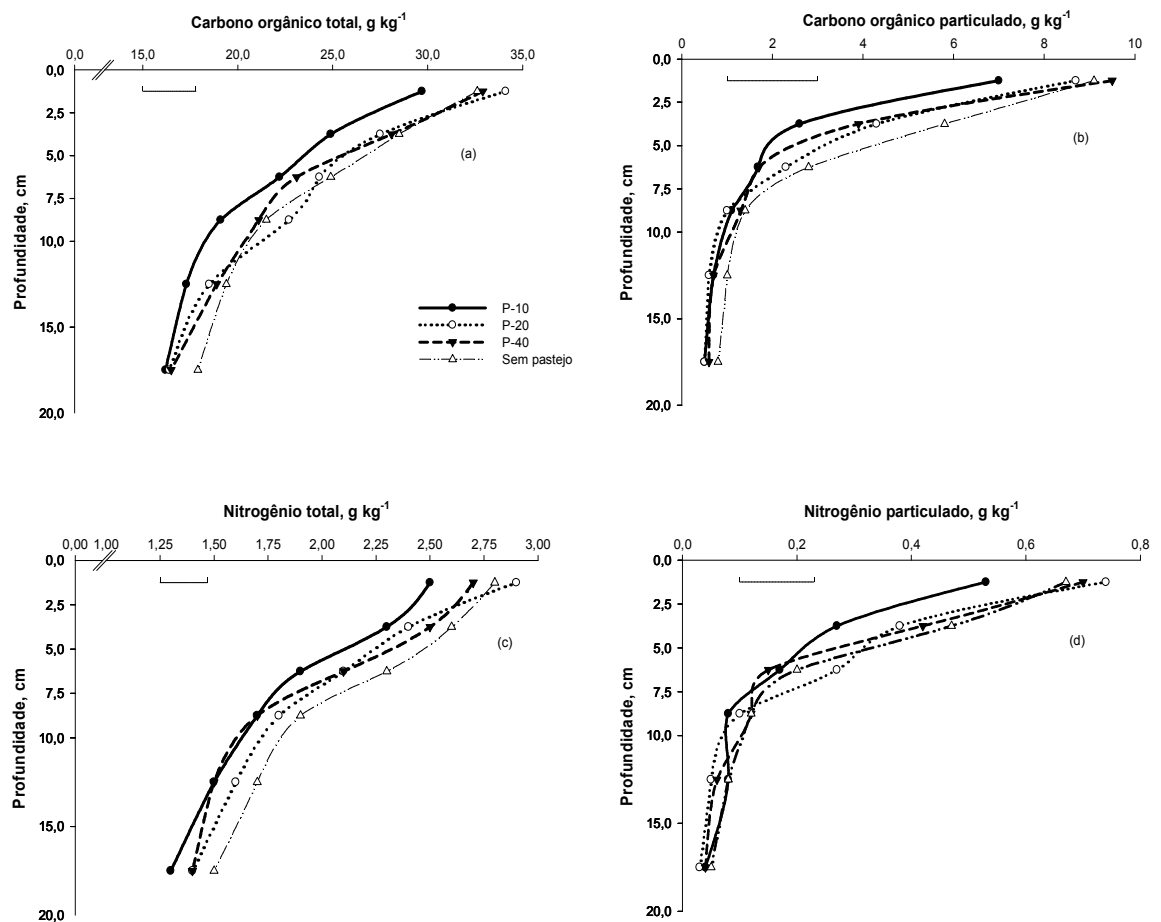
**FIGURA 10.** Teores de carbono orgânico particulado em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. 10 cm (a), 20 cm (b), 40 cm (c) e sem pastejo (d). Barra na horizontal compara cada profundidades entre os anos, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).



**FIGURA 11.** Teores de nitrogênio na matéria orgânica particulada (MOP) em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. 10 cm (a), 20 cm (b), 40 cm (c) e sem pastejo (d). Barra na horizontal compara cada profundidades entre os anos, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Ao se comparar os tratamentos mais contrastantes (Figura 12) se verifica que o C orgânico (CO) e N total (NT) e na fração particulada são menores ( $P < 0,05$ ) na maior intensidade de manejo em relação à área sem pastejo, principalmente até a profundidade de 7,5 cm. Isto demonstra que o pastejo mais intensivo pode promover perdas na qualidade do solo, favorecendo perdas de C e N para a atmosfera e maior emissão de gases causadores do efeito estufa. Enquanto isso, as demais intensidade de pastejo (20 e 40 cm) não diferiram ( $P > 0,05$ ) da área sem pastejo, demonstrando que sistemas de integração agricultura-pecuária sob plantio direto, com intensidades moderadas de pastejo podem ser utilizadas com o intuito de

promover acúmulo de carbono e de nitrogênio no solo. Isto se deve à deposição de resíduos vegetais sobre o solo, maior presença de raízes e liberação de exsudatos e ao processo de decomposição de resíduos e sua conversão em CO nas diversas frações da MOS. A camada superficial do solo pode ser considerada como zona de ativa decomposição dos resíduos vegetais e acúmulo de MOS em áreas de sistema plantio direto, onde o aporte de resíduos vegetais e sua conversão para MOS é maior do que a taxa de mineralização. São nas camadas mais superficiais do solo, que ocorrem os maiores impactos do sistema de manejo aplicado, sendo eles mais limitados à superfície quanto menor for o tempo decorrido das modificações causadas pelo manejo do solo.



**FIGURA 12.** Teores de carbono orgânico total (a), carbono orgânico particulado (b), nitrogênio total (c) e nitrogênio na matéria orgânica particulada (d) em Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na horizontal compara os tratamentos entre os anos, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

O Índice de Manejo de Carbono (IMC) é um indicador de qualidade do manejo do solo e permite avaliar o processo de perda ou ganho de qualidade do solo: quanto maior o IMC, maior a sua qualidade e vice-versa. As intensidades moderadas de pastejo conseguiram manter o IMC semelhante (40 cm) ou tendendo a ser superior (20 cm) em relação ao tratamento sem pastejo (Tabela 2), demonstrando que essas áreas têm mantido labilidade da matéria orgânica semelhante à área referência (sem pastejo), enquanto que na maior intensidade de pastejo, esse índice foi bastante inferior (65). Diekow et al. (2005) avaliaram um Argissolo com diferentes sistemas de cultura e adubação nitrogenada sob plantio direto, utilizando como referência um campo nativo com índice 100. O sistema com maior aporte de resíduos ao solo obteve maior IMC (256). Já, o solo descoberto e o sistema aveia/milho sem N mineral com IMC próximo de 56.

**TABELA 2.** Índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC), na camada de 0 a 20 cm, em um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo

<b>Intensidades de pastejo</b>	<b>IEC</b>	<b>L</b>	<b>IL</b>	<b>IMC</b>
10 cm	0,884 b	0,102 b	0,733 b	65 b
20 cm	0,986 a	0,131 a	1,072 a	107 a
40 cm	0,955 a	0,146 a	1,045 a	100 a
Sem pastejo <sup>(1)</sup>	-	0,140 a	-	100 a

<sup>(1)</sup> Referência, com IMC 100. Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

O IMC deveria ser utilizado com mais freqüência, pois é um ótimo indicativo da qualidade do manejo na matéria orgânica em função dos sistemas de manejo. No presente estudo, ele confirma o que tem sido observado nos outros Capítulos, que tem indicado que a maior intensidade de pastejo tem promovido degradação do solo, com perdas na sua qualidade.

#### 4.4. Conclusões

1) Intensidades de pastejo moderadas (20 e 40 cm de altura do pasto) em sistemas de integração agricultura-pecuária em plantio direto promovem aumento nos estoques de carbono e nitrogênio total no solo, semelhantemente ao plantio direto sem pastejo;

2) Os teores de carbono orgânico total e nitrogênio total em intensidades moderadas de pastejo aumentaram até 20 cm de profundidade, após seis anos de condução.

3) O carbono orgânico e o nitrogênio na fração particulada em intensidades moderadas e sem pastejo aumentam até a profundidade de 7,5 cm; já, em alta intensidade de pastejo, ocorrem perdas até essa camada e tendência de perdas em maiores profundidades;

4) O índice de manejo de carbono (65) demonstra alta degradação da qualidade da matéria orgânica em alta intensidade de pastejo (10 cm); no entanto, nas intensidades moderadas de pastejo, a labilidade da matéria orgânica se equivale à área sem pastejo, as quais promovem aumento nos estoques totais de carbono e nitrogênio no solo a partir do primeiro ano. Já, na alta intensidade de pastejo ocorrem perdas nos estoques de carbono e de nitrogênio total do solo a partir do terceiro ano de condução do sistema.



## **5. CAPÍTULO 4. EVOLUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO NO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO, SUBMETIDO A INTENSIDADES DE PASTEJO**

### **5.1. Introdução**

O mínimo revolvimento do solo no sistema plantio direto altera a dinâmica do fósforo em relação ao plantio convencional. Neste, o fertilizante fosfatado é aplicado na forma de grânulos na linha de semeadura, com o objetivo de diminuir a relação adubo:solo, com conseqüente redução na adsorção do fósforo. No entanto, com o revolvimento do solo, o fósforo entra em contato com os colóides, aumentando a sua adsorção. Inicialmente a energia de ligação entre o P e os colóides é fraca e o mesmo pode ser facilmente liberado para a solução do solo; porém, com o passar do tempo esta ligação tende a ficar mais estável e o P fica adsorvido com maior energia, tornando-se menos disponível às plantas (Walker & Syers, 1976). No sistema plantio direto, a aplicação do fertilizante também se dá em linha; no entanto, não ocorre a mobilização do solo e, com isso, há menor contato do fertilizante com o solo, diminuindo as reações entre o solo e o fertilizante.

Com o pastejo pelos animais, no caso da integração agricultura-pecuária em plantio direto, a dinâmica do fósforo tende a ser mais complexa, visto que há maior ou menor retirada de nutrientes do sistema em função da pressão de pastejo adotada, assim como o retorno através das fezes, o que pode alterar as formas e a dinâmica do fósforo no sistema.

Trabalhos com o objetivo de determinar as frações de fósforo de acordo com sua labilidade já foram realizados tanto em solos de clima tropical (Araújo et al., 1993) quanto em solos de clima subtropical (Rheinheimer & Anghinoni, 2001) no Brasil. Entretanto, dados que relacionem a intensidade de acúmulo do P, as mudanças nas suas formas químicas em função do tempo e seu grau de disponibilidade às plantas em sistemas de integração agricultura-pecuária são praticamente inexistentes. O conhecimento da natureza e da distribuição das formas de P no solo pode fornecer informações importantes para o processo de avaliação da disponibilidade de P. Com o tempo de cultivo sob plantio direto, as formas de P-não lábeis em relação ao P total tendem a diminuir, sendo acompanhadas por aumento relativo das formas mais lábeis (Araújo et al., 1993; Rheinheimer et al., 2001; Conte et al., 2002). No entanto, mesmo assim, os maiores acréscimos de P ocorrem nas frações não monitoradas regularmente para fins de diagnósticos de fertilidade do solo.

Diante disso, se espera que, com o avanço do tempo de adoção do sistema de integração agricultura-pecuária, o fósforo se acumule em formas orgânicas e mais lábeis, devido ao aumento no aporte e no tipo de resíduos sobre o solo. Além disso, nas menores intensidades de pastejo, o fósforo total estará em maiores teores em relação às maiores intensidades de pastejo, devido à menor exportação pelos animais, estando, assim, em formas mais disponíveis às plantas; pois com o maior aporte de resíduos o P estará em formas menos adsorvidas aos colóides do solo, concentrado-se nas camadas superficiais do solo, devido à maior reciclagem de P pela pastagem.

O objetivo deste estudo foi o de avaliar o acúmulo e a distribuição das formas (orgânicas e inorgânicas) e das frações de diferentes labilidades do fósforo no tempo e no perfil solo, afetados por diferentes intensidades de pastejo.

## **5.2. Material e Métodos**

A descrição da área experimental, as etapas e os materiais comuns à todos os estudos foram abordados no Capítulo 2. A amostragem do solo para o presente estudo foi realizada nas camadas de 0 a 2,5; 2,5 a 5,0; 5,0 a 7,5; 7,5

a 10; 10 a 15 e 15 a 20 cm, no mês de maio de 2001, 2004 e 2007. A amostra foi composta por oito pontos por parcela, com três repetições de campo. Após a coleta, as amostras foram transportadas em sacos plásticos até o Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da UFRGS, secas ao ar, tamisadas em peneiras de 2 mm para posteriores análises.

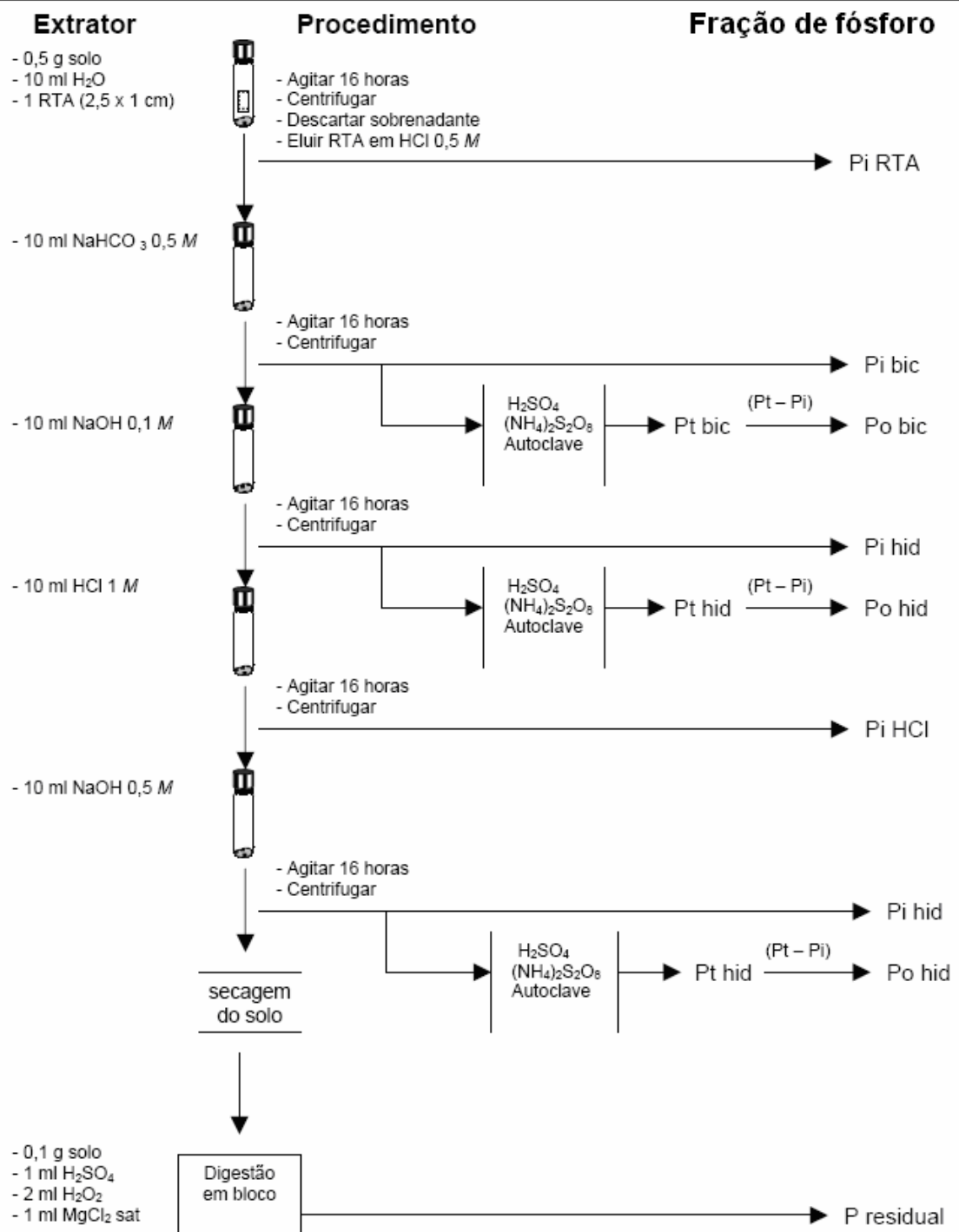
O P total foi determinado após extração com ácido sulfúrico + água oxigenada à quente e os teores de P orgânico pelo método do autoclave (Olsen & Sommer, 1982). Para o fracionamento do fósforo total (Figura 13), foram utilizadas amostras de solo contendo 0,5 grama, as quais foram submetidas a diferentes extratores num esquema seqüencial proposto por Hedley et al. (1982), modificado por Condrón et al. (1985). O primeiro passo, foi a extração do P através de resinas em lâminas saturadas com bicarbonato de sódio. Na mesma amostra, foi adicionado bicarbonato de sódio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , para extrair o P inorgânico adsorvido e o Po lábil. Posteriormente, foi extraído o P solúvel em hidróxido de sódio  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , para extrair o P quimiossorvido por Fe e Al e o Po moderadamente lábil. Com ácido clorídrico  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ , foi extraído o P fortemente ligado a fosfatos de cálcio. Em seguida, adicionou-se hidróxido de sódio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  para extrair o P inorgânico e orgânico não lábil. No resíduo desse processo, se extraiu o P residual por digestão com ácido sulfúrico + água oxigenada + cloreto de magnésio saturado (Brookes & Powlson, 1982). O P inorgânico dos extratos alcalinos de bicarbonato de sódio e de hidróxido de sódio foram analisados pelo método proposto por Dick & Tabatabai (1977). Nos extratos alcalinos, foi determinado o fósforo total por digestão com persulfato de amônio + ácido sulfúrico em autoclave (USEPA, 1971), em que o P orgânico foi obtido pela diferença entre o P total e o P inorgânico. O P dos extratos ácidos foi determinado segundo a metodologia de Murphy & Riley (1962).

Os resultados das análises realizadas foram submetidos à análise de variância, empregando-se o teste de Tukey com  $P < 0,05$  para a separação das médias, utilizando o seguinte modelo estatístico para a análise da variância:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + A_j + \text{erro } a(i,j) + C_k + \text{erro } b(i,k) + AC_{jk} + \text{erro } c(i,j,k)$$

Onde: B = blocos ( $i = 1,2,3$ ); A = intensidades de pastejo ( $j = 1,2,3,4$ ); C = camadas amostradas ( $k = 1,2,3,4,5,6$ ).

O mesmo modelo estatístico foi utilizado na análise de variância entre as épocas de amostragem, com alteração no fator “A”, do modelo, denominado intensidades de pastejo, para épocas de amostragem ( $j = 1, 2, 3$ ), tendo em vista que, essa análise foi realizada comparando as médias dentro de cada intensidade de pastejo.



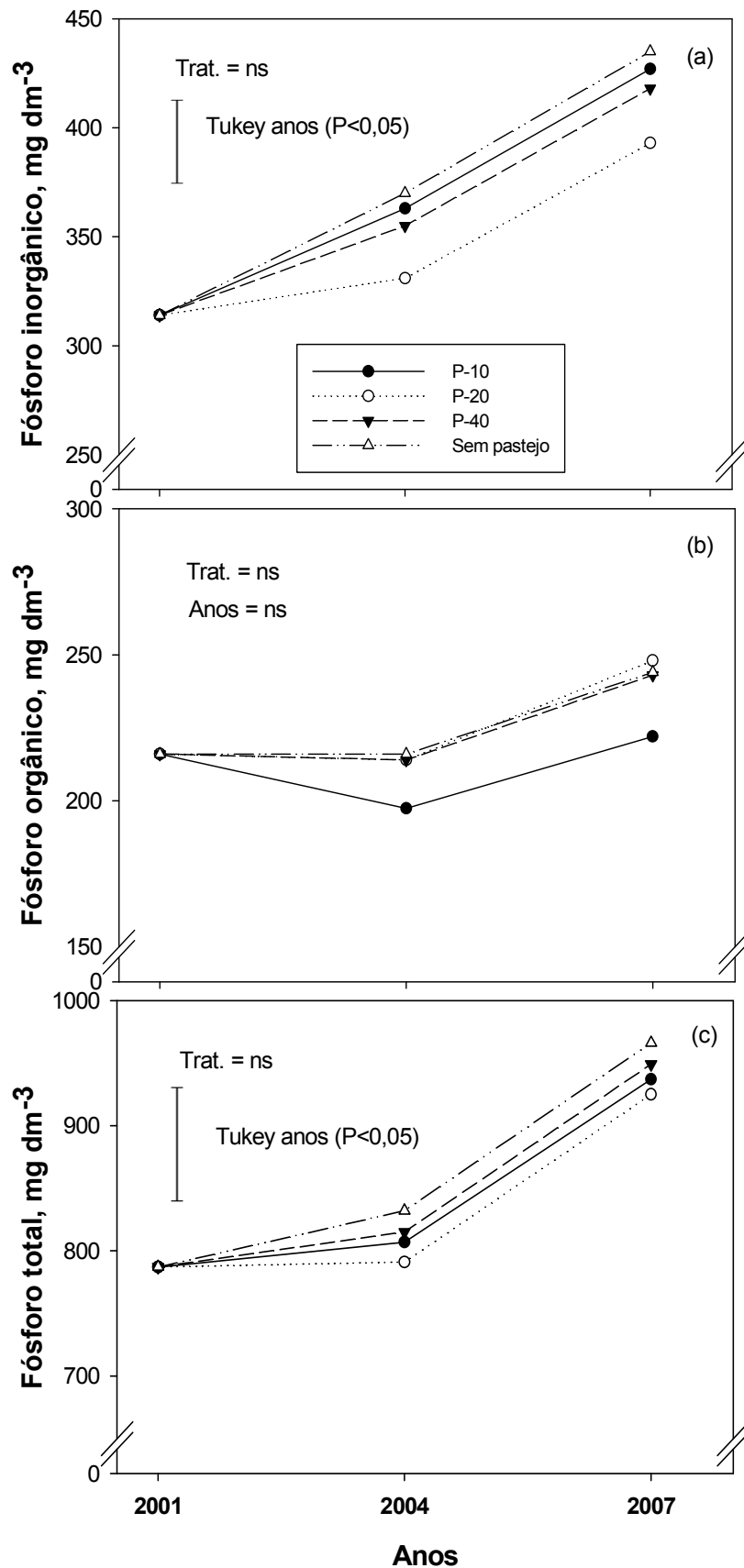
**FIGURA 13.** Esquema da técnica do fracionamento de fósforo proposto por Hedley et al. (1982), com as modificações propostas por Condon et al. (1985), apresentado por Gatibone (2003).

### 5.3. Resultados e Discussão

#### 5.3.1. Evolução das formas e da labilidade do fósforo do solo

A discussão do presente capítulo é direcionada às formas e à labilidade (frações) do P no solo. As formas foram separadas em inorgânica (Pi), orgânica (Po) e total (Pt), em que a forma inorgânica é composta pelo somatório dos teores de Pi extraído por resina, bicarbonato de sódio, hidróxido de sódio e ácido clorídrico; a orgânica, pelos teores de Po extraídos por bicarbonato de sódio e hidróxido de sódio; e a total pelo Pi e Po, além da fração residual. Esta fração é formada pelos teores de P extraídos por água oxigenada e ácido sulfúrico, não sendo parte de nenhuma das formas anteriores de P, por possuir tanto P inorgânico como orgânico em sua composição. Com relação à labilidade, foram consideradas como P lábil, os teores de Pi extraído por resina e os teores de Po e Pi extraídos por bicarbonato de sódio; como P moderadamente lábil, os teores de P total extraídos pelas duas concentrações de hidróxido de sódio e; como P pouco lábil, os teores extraídos com ácido clorídrico e água oxigenada e ácido sulfúrico (residual).

Os teores de Pt no início deste estudo são bastante elevados na camada de 0-20 cm do solo (Figura 14c), chegando a  $780 \text{ mg dm}^{-3}$ . Isso é devido, principalmente, aos teores originais em função do material de origem, o basalto, aliado às adições anuais de fertilizantes fosfatados em quantidades superiores ao que é exportado pelos grãos da soja e pelos animais. Além disso, esse solo vinha sendo conduzido em sistema de plantio direto há 10 anos, tendo a aplicação anual de cerca de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , representando a adição de  $262 \text{ kg}$  de P nesse período. Considerando a produção de soja de  $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  e a exportação de  $18 \text{ kg ha}^{-1}$  nos grãos por ano (Cubilla et al., 2007), tem-se um saldo positivo de  $82 \text{ kg ha}^{-1}$  de P nesse solo no período de 10 anos, assumindo como nulas as possíveis perdas por escoamento superficial de água e erosão do solo.



**FIGURA 14.** Evolução do fósforo inorgânico (a), fósforo orgânico (b) e fósforo total (c) na camada de 0 a 20 cm em um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os anos, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). ns= não significativo.

Após três anos de condução do experimento, houve somente tendência de aumento do Pt e, no sexto ano, o mesmo foi significativo ( $P < 0,05$ ) em relação ao início do experimento em função da aplicação anual de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na soja, chegando a teores próximos de  $910 \text{ mg dm}^{-3}$  (Figura 14c). Após a introdução do sistema de integração agricultura-pecuária, ocorre a saída de P somente pelos grãos na cultura da soja e de pelos animais, visto que, em sistemas com pastagens e plantio direto, as perdas de solo são mínimas.

O fósforo inorgânico (Pi) (Figura 14a) também apresentou somente uma tendência de aumento ( $P > 0,05$ ) até o terceiro ano e após seis anos de condução do experimento foi verificado um teor médio de aproximadamente  $420 \text{ mg de P dm}^{-3}$ , sendo cerca de  $100 \text{ mg dm}^{-3}$  superior ( $P < 0,05$ ) ao primeiro ano de condução do experimento, representando cerca de 46% do P total desse solo. Isso demonstra que o acúmulo de fósforo ocorre preferencialmente na forma inorgânica extraída por hidróxido de sódio (Apêndice 5) ligada, por isso, à fração mineral com alta energia, como proposto por diversos autores (Magid, 1993; Cross & Schlesinger, 1995; Rheinheimer & Anghinoni, 2001), uma vez que os teores de óxidos de ferro e de alumínio do solo em estudo são elevados (Rheinheimer et al., 2001) e, portanto, com alta capacidade de sorção de fósforo. Segundo Magid (1993), a distribuição nas diferentes formas e frações depende do grau de intemperização, das características químicas e físicas do solo, da atividade biológica e da vegetação predominante, entre outras.

Já, o Po (Figura 14b) não sofreu efeito no tempo ( $P > 0,05$ ); no entanto, se observa tendência de aumento nos teores a partir do terceiro ano de condução do experimento. A adoção de sistema de plantio direto promove aumento nos teores de matéria orgânica (Bayer, 1996) e, no caso do presente solo, os aumentos são significativos (Capítulo 3), o que favoreceria a acumulação de Po, uma vez que as perdas desse nutriente são mínimas nesse sistema e não há revolvimento do solo. No entanto, o aumento nas formas orgânicas não acompanha o rápido incremento no Pt (Selles et al., 1997; Rheinheimer et al., 1998), mesmo que possam ocorrer aumentos nos teores de C e N total (Kingery et al., 1996). Isto indica que a ciclagem do P é menos eficiente do que a do C e do N, pois sofre reações de adsorção e é

mineralizado preferencialmente, o que resulta em acúmulo pronunciado de Pi. Isto, ao que parece, justifica a falta de significância ( $P > 0,05$ ) do efeito das intensidades de pastejo nas formas orgânicas de fósforo após três ou seis anos (Figura 14b).

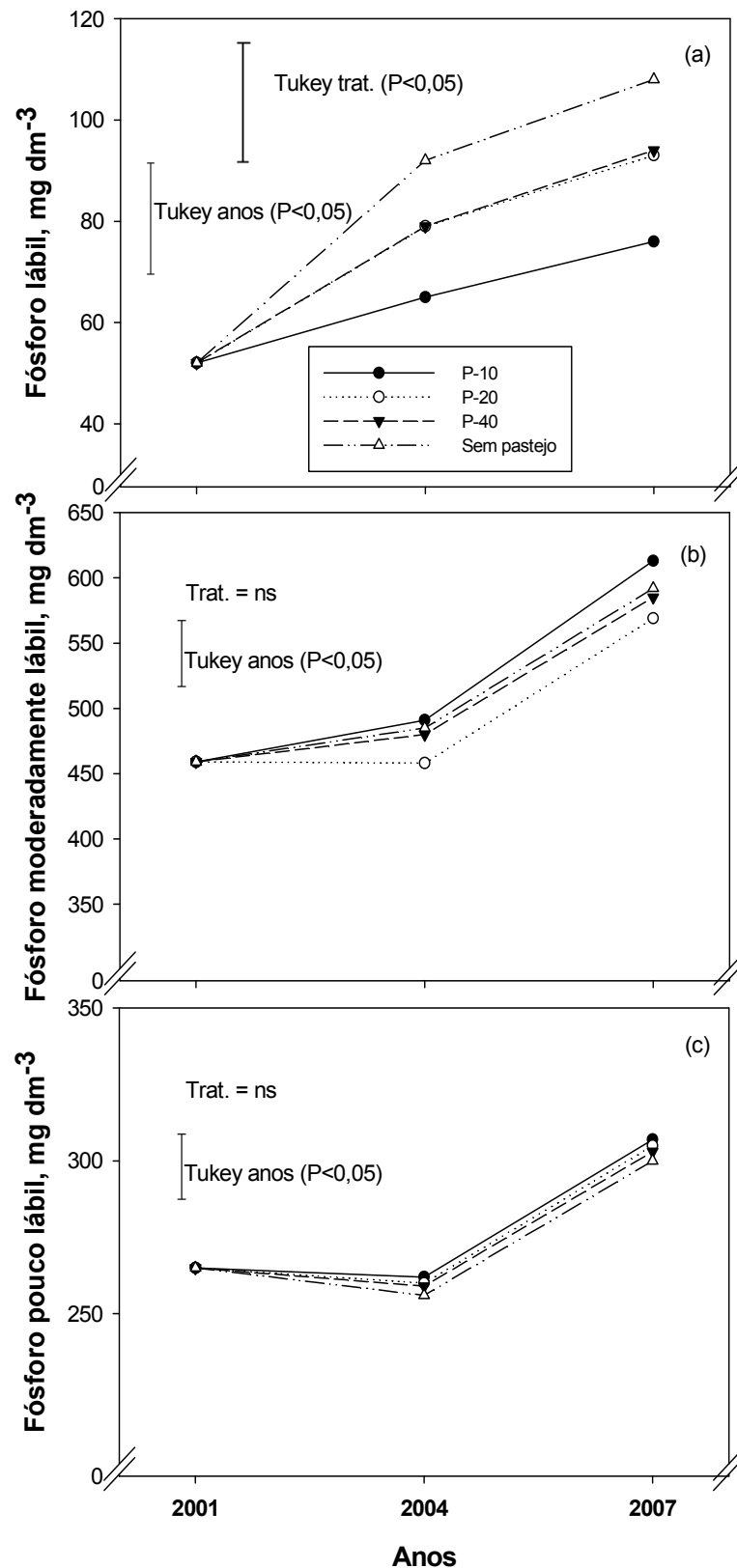
Para o Pi (Figura 14a) houve tendência da intensidade P-20 em apresentar os menores teores, tanto no terceiro como no sexto ano, quando o esperado seria que os teores de Pi fossem menores na maior intensidade de pastejo, uma vez que a quantidade de resíduo vegetal remanescente é menor e a exportação de P via animal é mais elevada. Já, para os teores de Po (Figura 14b), o que se observa é que, na maior intensidade de pastejo (P-10), houve uma tendência dos teores serem menores no terceiro ano e se recuperarem no sexto ano, porém, mantendo-se inferiores às demais intensidades de pastejo. Isso era esperado, pois no pastejo mais pesado também foram verificadas perdas nos estoques de matéria orgânica (Capítulo 3). O fósforo remanescente no solo participa de várias reações com os constituintes minerais e orgânicos, mas a tendência é que esse fósforo permaneça mais na forma inorgânica no solo (Rheinheimer & Anghinoni, 2001). No entanto, nas intensidades de pastejo que promovam melhorias na qualidade biológica do solo, com o decorrer do tempo, parte desse fósforo poderá ser incorporada aos compostos orgânicos do solo, via biomassa microbiana.

Assim como ocorreu com as formas de fósforo (Figura 14), para o fósforo moderadamente lábil e pouco lábil (Figura 15 b, c), as tendências de incremento no terceiro ano se tornaram significativas ( $P < 0,05$ ) no sexto ano de condução do trabalho. No entanto, a fração lábil do P já foi influenciada ( $P < 0,05$ ) no terceiro ano (Figura 15a), com aumento contínuo até o sexto ano. A tendência de decréscimo do P da fração pouco lábil no terceiro ano pode ter ocorrido pela migração do P dessa fração para as de maior labilidade (Figura 15 a), o que é esperado segundo Gatibone (2003). Já, o aumento nos teores de P pouco lábil no sexto ano em relação ao primeiro ano (Figura 15c) indica que, com o tempo, o P remanescente no solo passa para formas adsorvidas com maior energia de ligação. Para o entendimento dessa dinâmica, Gatibone (2003) afirma, com base nas observações de Araújo et al. (1993a), Guo & Yost (1998) e Guo et al. (2000), que a absorção pelas plantas é sustentada pelas frações de fósforo lábil e moderadamente lábil. Com a diminuição da



disponibilidade de P inorgânico, o sistema desencadeia um processo de mineralização do fósforo orgânico, que repõe os teores das frações inorgânicas. Quando a capacidade de sustentação das frações inorgânicas e orgânicas de labilidade intermediária diminui, as frações mais recalcitrantes passam a ser tamponantes do sistema. Porém, como a quantidade de sítios de adsorção desocupados é grande, parte do fósforo é readsorvido no solo e também parte é imobilizada pela biomassa microbiana do solo. Esse processo leva à percepção de que não há formas não-lábeis de fósforo, ou que são menores do que se imagina ou, ainda, que a absorção pelas plantas desencadeia uma reação de reposição em cascata, que culmina com a depleção do fósforo residual. Assim, nesta dinâmica, não há fósforo não disponível, sendo a sua disponibilidade no solo dependente da diferença de concentração entre as formas e o tempo de reação.

A alteração na labilidade do fósforo, por migração de P entre frações, já tinha sido reportada por Tiessen et al. (1992), ao afirmar que a calagem e a variação nos teores de matéria orgânica alteram a dinâmica das transformações do P no solo. Normalmente, como no caso presente, o P-lábil tem pequena participação no total de P, predominando, no solo, a fração moderadamente lábil, seguida da pouco lábil (Tabela 3). Assim, segundo Walker & Syers (1976), em solos muito intemperizados, a maior parte do fósforo se encontra nas frações pouco lábil, oclusa ou, ainda, sob frações orgânicas estáveis. O aumento das frações de P moderadamente lábil e P pouco lábil após seis anos, no presente trabalho, pode ter sido devido à aplicação de calcário (em 2001), que promoveu oxidação da matéria orgânica e aumento nos teores de Al e Fe amorfos nesse solo (Fernandes et al., 2002), além da dispersão de compostos presentes no solo pela elevação do pH, expondo cargas positivas que adsorveram fósforo.



**FIGURA 15.** Evolução do fósforo lábil (a), moderadamente lábil (b) e pouco lábil (c) na camada de 0 a 20 cm em um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistema de integração agricultura pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos anos e os anos dentro entre os tratamentos pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). ns= não significativo

**TABELA 3.** Formas e frações médias de fósforo na camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo.

Fração	Forma		
	Inorgânica	Orgânica	Total
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----		
Lábil	92	11	103
Moderadamente Lábil	313	254	567
Pouco lábil		306	306

Se verifica que, tanto para o P lábil como para o P moderadamente lábil, as formas inorgânicas predominam em relação às orgânicas (Tabela 3). Para o P pouco lábil não se define o comportamento, uma vez que o P residual possui formas inorgânicas e orgânicas. A aplicação anual de fertilizantes fosfatados promove esse aumento nos teores de P que, preferencialmente, vai para a fração inorgânica lábil (Figura 15a) e, com o passar do tempo, esse P é adsorvido, via complexo de esfera interna, aos óxidos de ferro e alumínio nesses solos, o que explica o porquê desse elevado acúmulo de Pi na fração inorgânica moderadamente lábil. Cerca de 88% do P lábil está na forma inorgânica, já, para o P moderadamente lábil esse valor cai para 55%, evidenciando que a forma orgânica passa a ter mais importância, a médio prazo, no suprimento de P para o sistema nesta fração. Guerra et al. (1996) observaram, em Brunizém Avermelhado (Chernossolo) cultivado com gramíneas forrageiras, que mais de 60% do P lábil pertencia à forma orgânica, um valor bem maior do que o encontrado no presente trabalho, o que está relacionado com o grau de intemperismo dos solos e o caráter oxidico do Latossolo Vermelho distroférico.

O P extraído pela resina (Tabela 4) representa a maior parte (74%) do P lábil, no entanto, mesmo representando cerca de 27%, o P (lábil) extraído por bicarbonato é muito importante, visto que 40% dele está sob a forma orgânica, a qual fica protegida contra a adsorção aos colóides do solo e, posteriormente,

pode ser facilmente mineralizada, contribuindo assim, para a disponibilidade às plantas e microrganismos (Hedley et al., 1982).

**TABELA 4.** Formas de fósforo em função de extratores da fração lábil, na camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo.

Extrator	Forma		
	Inorgânica	Orgânica	Total
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----		
Resina	75	-	75
Bicarbonato	17	11	28
Total	92	11	103

O P lábil é muito importante no sistema solo, pois a disponibilidade de fósforo é decorrência de uma resultante de forças antagônicas que disputam o nutriente da solução, estando de um lado os colóides inorgânicos ávidos por fósforo, de outro a biomassa microbiana do solo que necessita do elemento e, ainda, as plantas que precisam absorvê-lo antes que ele tome um dos caminhos anteriores. Com o tempo de condução de um determinado sistema de manejo do solo, havendo a aplicação constante de P no solo via fertilizante, se consegue diminuir a força proveniente do primeiro caminho, tornando o P mais lábil (Gatibone, 2003).

As intensidades de pastejo influenciaram, já no terceiro ano (Figura 15a), os teores de P lábil na camada de 0 a 20 cm, no entanto, os teores de fósforo moderadamente lábil (Figura 15b) e pouco lábil (Figura 15c), embora as tendências apresentadas, não foram afetados pelas intensidades de pastejo em nenhum momento. Assim, na maior intensidade de pastejo, os teores de P lábil foram maiores ( $P < 0,05$ ) na área sem pastejo (Figura 15a), que foram semelhantes aos das intensidades moderadas de pastejo.

Segundo Gatibone (2003), a retirada do fósforo do sistema pelas plantas, provoca modificações em todas as formas de fósforo do solo. Isto indica que a absorção de fósforo da solução do solo sem a reposição dos teores lábeis, pela adubação, provoca a dessorção de fósforo de formas de menor labilidade. Isso pode ocorrer em todas as frações inorgânicas do solo, mas como esse processo é rápido, via fracionamento, só é possível detectar a diminuição dos teores nas frações mais lábeis, de onde o fósforo é primeiramente deplegado.

Provavelmente as frações de labilidade intermediária repõem as lábeis, mas, devido à alta avidéz, as primeiras readsorvem parte do fósforo provindo de outras formas, dificultando a detecção de seu comportamento. Já, na dinâmica das frações orgânicas, a diminuição dos níveis de fósforo em solução induz os microrganismos do solo a utilizarem também o fósforo orgânico, promovendo a mineralização do seu estoque no solo.

### **5.3.1. Distribuição das formas e das frações do fósforo no perfil do solo**

Para a verificação da evolução (descida) do fósforo no perfil do solo, essencialmente são comparados os seus teores em função das intensidades de pastejo após três e seis anos em relação à condição inicial e, depois, são comparados os seus teores entre as intensidades de pastejo. Nessa análise, somente houve aumento no  $P_i$  do primeiro para o terceiro ano na intensidade de pastejo P-40 na camada de 0 a 2,5 cm e na área sem pastejo na camada de 7,5 a 10,0 cm (Figura 16a). O  $P_o$  foi afetado pelo tempo (Figura 16b), em que, a intensidade de pastejo P-20 sofreu aumento nos teores até 5,0 cm, com posterior decréscimo até a profundidade de 15,0 cm. A maior intensidade de pastejo, já no terceiro ano, mostrou estar promovendo algum distúrbio no solo, uma vez que a fração orgânica do P foi menor no estabelecimento do trabalho, mesmo que nesse período tivesse havido um pequeno aumento nos teores de matéria orgânica do solo (Capítulo 3). Somente nas intensidades moderadas de pastejo houve aumento nos teores de  $P_t$  do primeiro para o terceiro ano

(Figura 16c), no entanto, isso somente ocorreu na camada superficial do solo, sendo as demais camadas semelhantes ( $P > 0,05$ ).

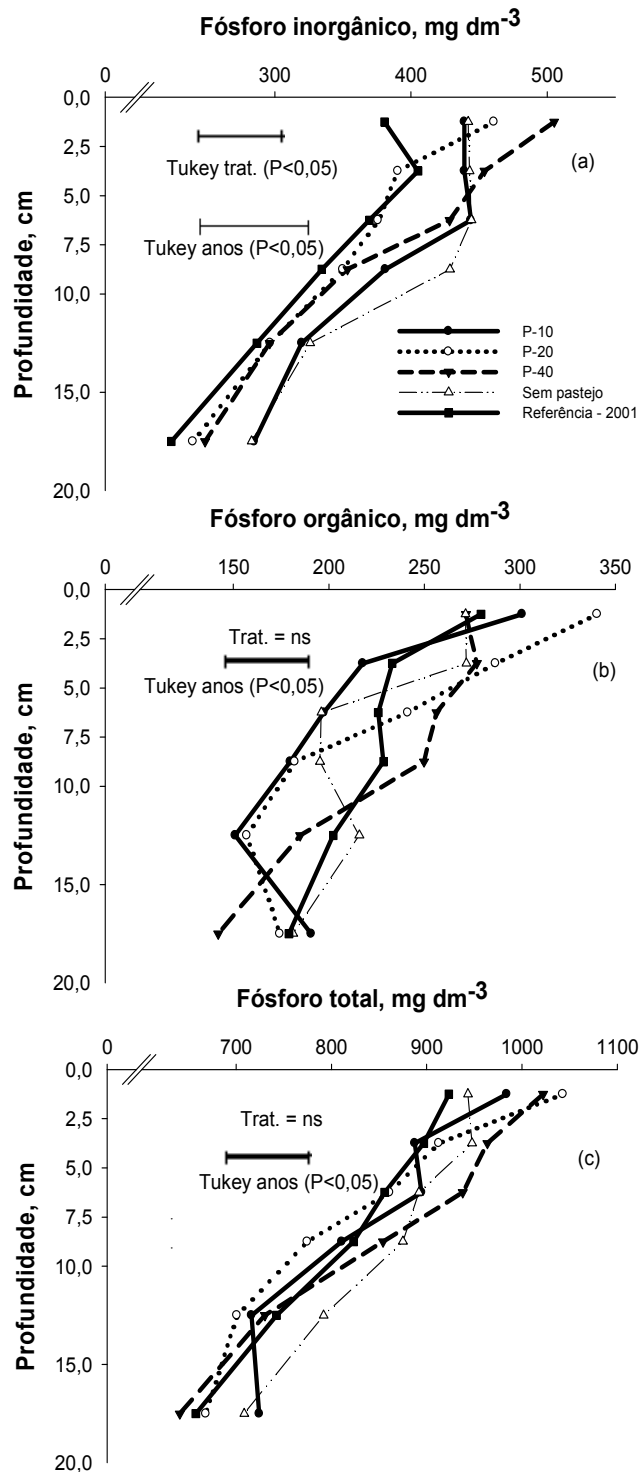
Já, após seis anos de condução do experimento o que se verifica é que houve aumento do  $P_i$  em todas as intensidades de pastejo até a profundidade de 10,0 cm e, na maior intensidade de pastejo e na área sem pastejo esse efeito ocorreu até a profundidade de 20,0 cm (Figura 17a). O  $P_o$  sofreu aumento na maior intensidade de pastejo (P-10) somente na camada de 0 a 2,5 cm, juntamente com o P-20 (Figura 17b), que sofreu um aumento nos teores até 5,0 cm. As demais intensidades de pastejo também têm seus teores aumentados nessa profundidade, com exceção à P-10, que a partir de 2,5 cm começa a ter uma queda nos seus teores, o que explica o porquê do pouco aumento de  $P_o$  na camada de 0 a 20 cm nessa intensidade de pastejo após seis anos (Figura 14b). Para o  $P_t$ , após seis anos de condução do experimento, se verificou que todas as intensidades de pastejo tiveram seus teores aumentados até 5,0 a 7,5 cm de profundidade, e, na intensidade P-40 esse acréscimo foi até 10,0 cm; já, na área sem pastejo esse ocorreu até os 20,0 cm de profundidade (Figura 17c).

Nas áreas pastejadas, ocorre maior quantidade de raízes em profundidade (Apêndice 1), que promovem a formação de canais que podem favorecer a descida do P até camadas mais profundas. Já, na área sem pastejo, os canais deixados ano a ano favorecem um maior aprofundamento das raízes, visto que não há pisoteio animal e, com isso, o P pode seguir o mesmo caminho pelo qual ocorre quando pastejadas. Além disso, a absorção do P inorgânico em profundidade pelas raízes pode favorecer a mineralização do P orgânico, que, por sua vez, pode promover aumento nos teores de P inorgânico. É de se esperar efeito no P total principalmente até a profundidade próxima de 10,0 cm, por ser a região de deposição do fertilizante e, no somatório de todas as frações, há um real acúmulo somente até essa profundidade. É de se esperar também maiores teores de P na camada superficial com decréscimo em profundidade e, isto fica evidente quando se avalia o P total. Isso é decorrente da menor mobilização do solo, das menores perdas por erosão e, também, devido à reciclagem promovida pelas plantas, as quais absorvem o P disponível em maiores profundidades e o depositam na superfície do solo, quando da decomposição dos resíduos. Entretanto, pode

estar ocorrendo alguma transformação das formas do P no solo na área sem pastejo ou algum fenômeno físico, que tem promovido a descida desse P para maiores profundidades

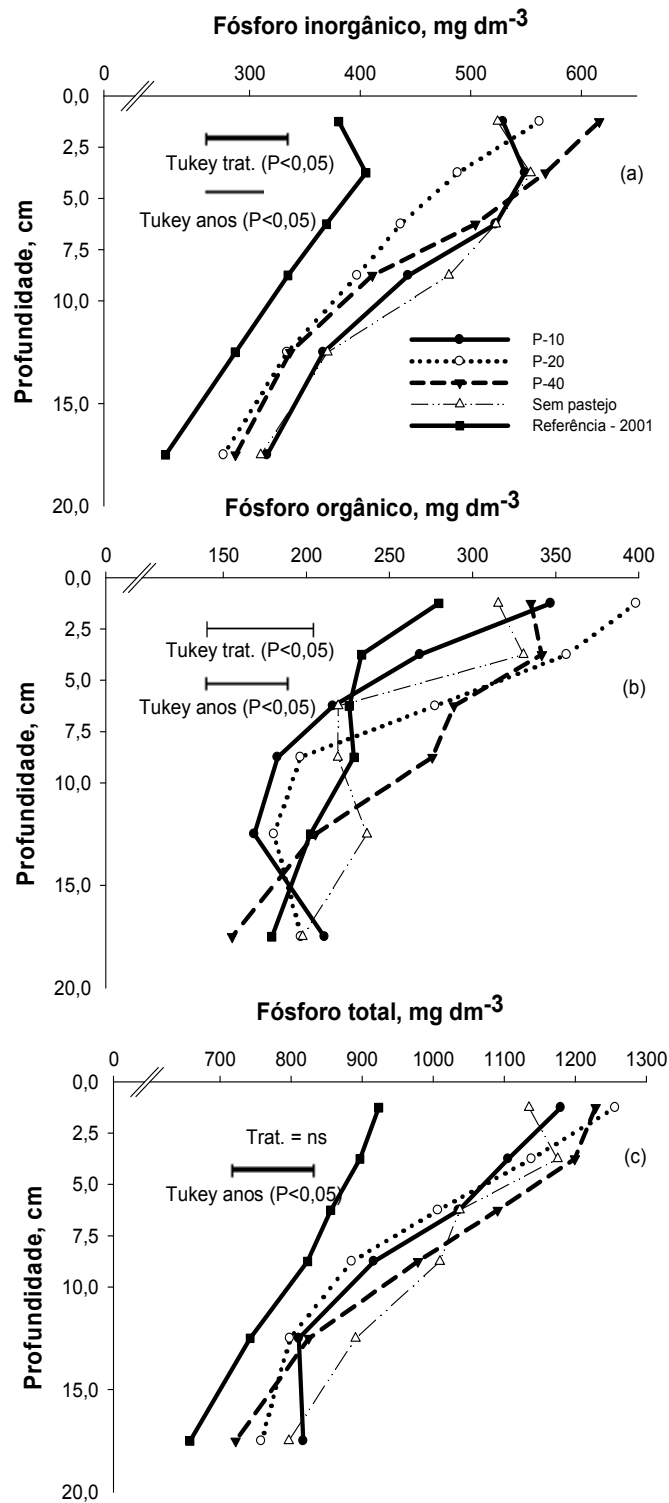
Entre as intensidades de pastejo, no terceiro ano, o que se constata é que somente ocorre diferenças ( $P < 0,05$ ) na camada de 0 a 2,5 e 5,0 a 7,5 cm, em que, na primeira, as intensidade P-10, P-20 e sem pastejo se comportam de maneira semelhante, possuindo teores de  $P_i$  menores que na intensidade P-40. Após seis anos (Figura 17a), não se consegue obter uma clara tendência com relação às intensidades, visto que o  $P_i$  é o somatório de diversas frações que podem se comportar de maneiras distintas no perfil do solo (Figura 15). No entanto, se verifica que até a profundidade de 7,5 cm a intensidade P-10 promove os maiores valores de  $P_i$  e, na camada de 7,5 a 10,0 cm, a área sem pastejo é a que possui os maiores valores nessa forma de P.

O pastejo somente influenciou o  $P_o$  após seis anos (Figura 17b), com a intensidade de pastejo P-20 promovendo teores maiores que as demais na camada superficial, o que explica o porquê do menor teor no  $P_i$  obtido nessa intensidade de pastejo. Na camada de 2,5 a 10,0 cm, a maior intensidade de pastejo (P-10) promoveu menores teores de  $P_o$  que as demais, demonstrando que essa intensidade está sofrendo perdas de matéria orgânica como evidenciado no Capítulo 3 e, por conseqüência, perdas também de  $P_o$ . Já, na camada de 10,0 a 20,0 cm, as intensidades de pastejo se comportaram de forma semelhante, assim como foi observado para os teores de matéria orgânica, que são apresentados no capítulo citado anteriormente. As variações nos teores de P orgânico no solo irão ocorrer em função de diversos fatores, entre eles: tipo e manejo do solo, composição da fração mineral do solo, tipo de material vegetal adicionado ao solo, das condições ambientais e da fertilização do solo (Novais & Smith, 1999). Como as áreas, no presente trabalho, são semelhantes em praticamente tudo, variando somente a quantidade de resíduos adicionados ao solo, a variação no P orgânico tende a ser pequena. Ao se avaliar o efeito das intensidades de pastejo dentro dos anos no  $P_t$ , o que se observa é que não se tem diferenças entre elas, quer seja após três ou seis anos de condução do experimento (Figura 16c e 17c).



**FIGURA 16.** Teores de fósforo inorgânico (a), fósforo orgânico (b) e fósforo total em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho, no início (2001) e após três anos, em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na horizontal compara os tratamentos e os anos dentro de cada profundidade, Tukey ( $P < 0,05$ ). ns= não significativo.



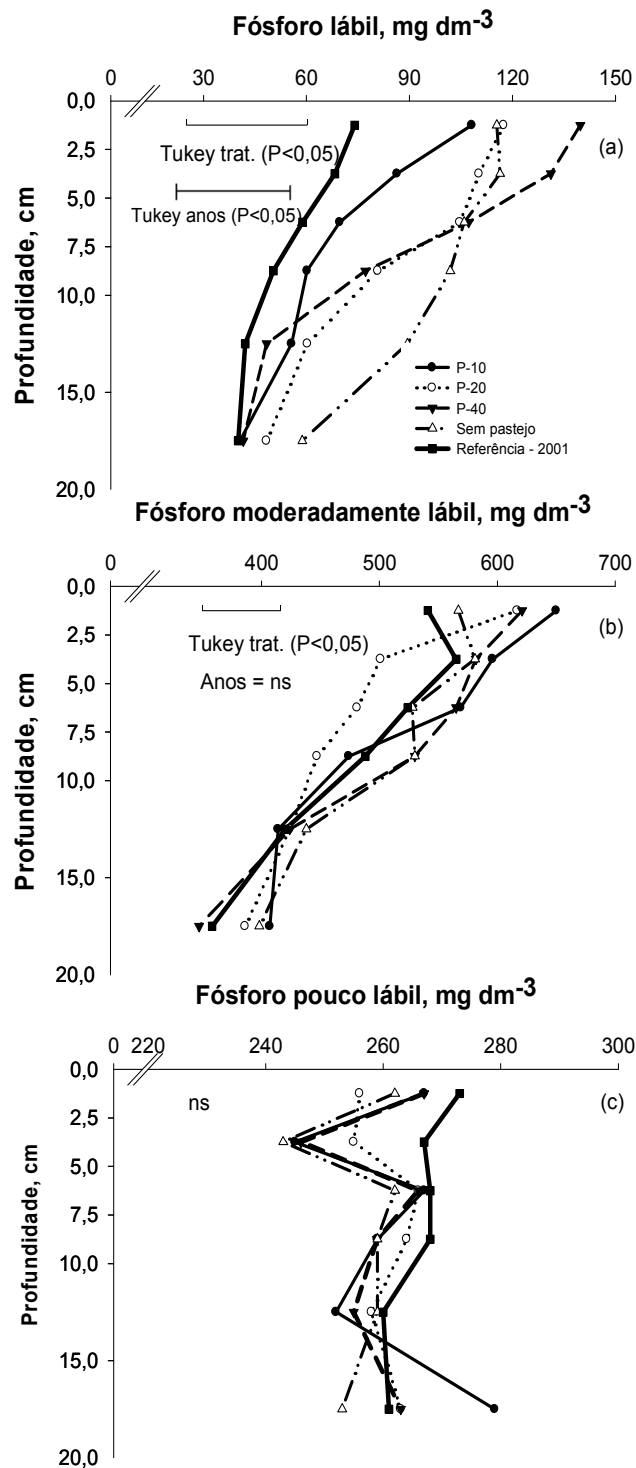


**FIGURA 17.** Teores de fósforo inorgânico (a), fósforo orgânico (b) e fósforo total em diferentes profundidades do solo, no início (2001) e após seis anos, em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na horizontal compara os tratamentos e os anos dentro de cada profundidade, Tukey (P<0,05). ns= não significativo.

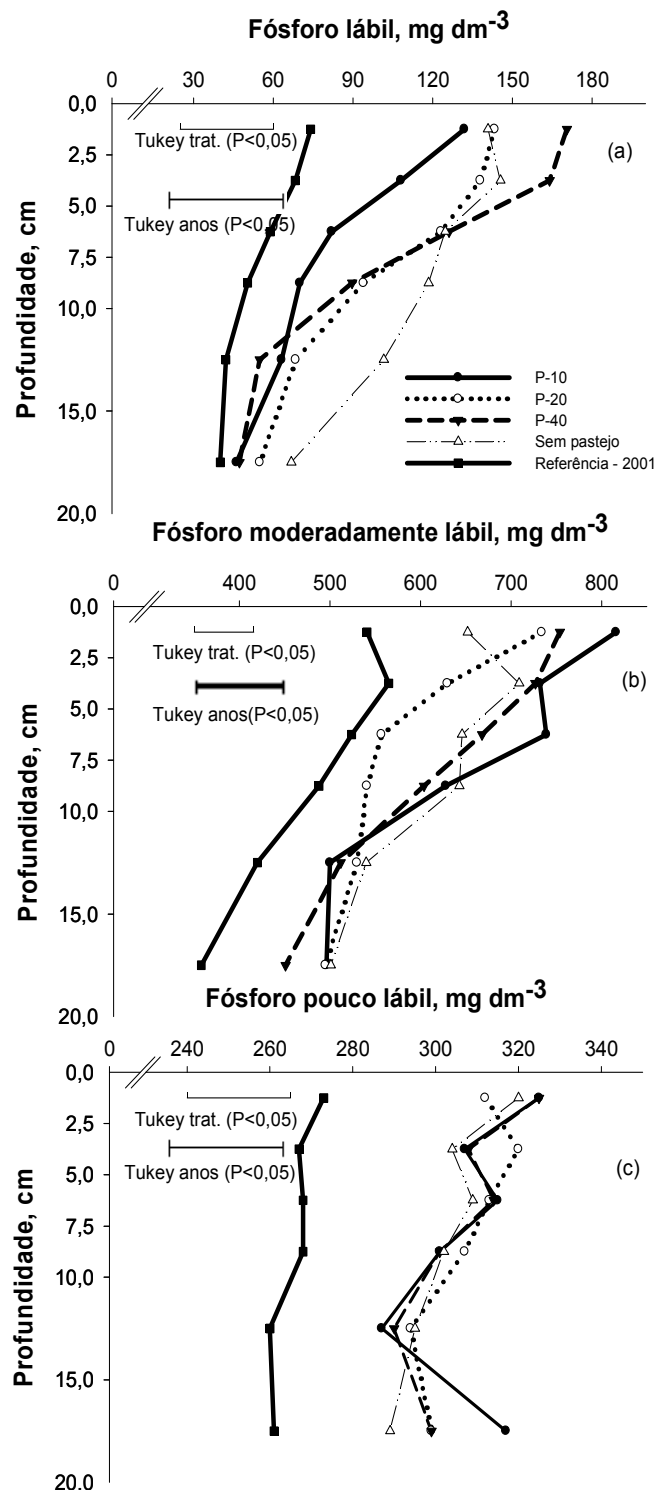
A aplicação de fertilizantes na semeadura da cultura da soja é realizada até a uma profundidade de aproximadamente 7,0 cm e, por este motivo, as principais variações no P, em geral, deverão ocorrer até essa profundidade. Mesmo com a aplicação do adubo nessa região, se observa em alguns tratamentos que ocorre um aumento nos teores de P chegando até os 20,0 cm de profundidade em relação ao primeiro ano. O que se imagina é que as alterações na forma inorgânica se devam às alterações promovidas nos teores de fósforo inorgânico lábil extraído por resina e por bicarbonato (Figura 15, apêndice 4 e 5). No pastejo a 20,0 cm foi onde se verificou os menores teores de P extraído por resina entre 5,0 e 15,0 cm de profundidade, o que pode ter ocorrido provavelmente devido a uma migração deste P para a fração orgânica extraída por NaOH 0,1 molL<sup>-1</sup> (Figura 15, apêndice 8).

O que se verifica é um aumento nos teores de P orgânico com o tempo de condução do trabalho, ocorrendo até no máximo 10,0 cm em intensidade moderada de pastejo; já, em alta intensidade de pastejo, somente é observado aumento na camada superficial do solo. Mesmo havendo aumento nos teores de P orgânico com o tempo, este se manteve, na média da camada de 0 a 20,0 cm, com 28% do P total (Figura 14), sendo esta porcentagem próxima da encontrada por Rheinheimer (2000). A pouca alteração na porcentagem de P orgânico nesse solo se deve ao fato de ter havido concomitante aumento no P total, mantendo a mesma proporção.

A distribuição de fósforo no perfil do solo, em função de sua labilidade no solo no tempo em função do pastejo está apresentada nas Figuras 18 e 19. O P lábil foi alterado após três e seis anos de condução do experimento até 15,0 cm de profundidade (Figura 18a e 19a), sendo que, no terceiro ano, os aumentos ocorreram nas intensidades de pastejo P-20, P-40 e sem pastejo até a profundidade de 7,5 cm. Na área sem pastejo esse acréscimo seguiu ocorrendo até a profundidade de 15,0 cm e, a partir dessa profundidade não houve acréscimo nos teores de P lábil no terceiro ano. Já, para o P moderadamente lábil e pouco lábil (Figura 18) não há efeito do tempo após três anos de condução do trabalho.



**FIGURA 18.** Teores de fósforo lábil (a), moderadamente lábil (b) e pouco lábil (c) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo, após três anos. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na horizontal compara os tratamentos e os anos dentro de cada profundidade, Tukey (P<0,05). ns= não significativo.



**FIGURA 19.** Teores de fósforo lábil (a), moderadamente lábil (b) e pouco lábil (c) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo, após seis anos. P-10, P-20 e P-40 representam alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na horizontal compara os tratamentos e os anos dentro de cada profundidade, Tukey (P<0,05). ns= não significativo.

Do primeiro para o sexto ano, em todas as intensidades de pastejo foi observado aumento nos teores de P lábil (Figura 19a); de 5,0 a 10,0 cm, esse aumento ocorreu em todas as intensidades de pastejo, com exceção à maior intensidade; e, na de 10,0 a 15,0 cm, o aumento nos teores de P lábil somente ocorreu na área sem pastejo. É de se esperar aumento das formas lábeis de P principalmente na região de deposição do adubo, visto que o fósforo da solução do solo vai saturando os sítios de adsorção de P extraído por resina e bicarbonato. No sexto ano, todas as intensidades de pastejo tiveram os teores de P moderadamente lábil aumentados na camada superficial do solo (Figura 19 b). Entre 2,5 e 10,0 cm, com exceção à P-20, nas demais intensidades de pastejo, os teores de P moderadamente lábil aumentaram em relação ao primeiro ano e, na camada de 10,0 a 15,0 cm, somente na intensidade P-20 e na área sem pastejo, houve esse aumento. O P pouco lábil, após seis anos (Figura 19c), aumentou em todas as intensidades de pastejo e em todas as profundidades; isto ocorre devido a que, no tempo, o P aplicado via fertilizante e o remanescente, fica exposto aos sítios de adsorção, ávidos por esse nutriente, os quais o adsorvem com alta energia de ligação, tornando-os quase que indisponíveis às plantas.

As intensidades de pastejo influenciaram os teores de P lábil, no terceiro ano (Figura 18a), em que, na camada de 2,5 a 5,0 cm, na maior intensidade de pastejo o teor foi menor que na intensidade P-40, que foi semelhante às demais. Na camada de 5,0 a 7,5 cm, os menores teores ocorreram na maior intensidade de pastejo e, entre 7,5 e 10,0 cm somente na área não pastejada foi superior do que na maior intensidade de pastejo. O mesmo comportamento foi observado no sexto ano de condução (Figura 19a). A variação observada entre as intensidades de pastejo parece ser mais em função do somatório das variações em cada extrator do que propriamente uma variação em função das intensidades de pastejo. Isso porque a absorção de P pela cultura da soja é semelhante entre os tratamentos de pastejo, visto que, o rendimento de grãos não difere entre as áreas (Flores, 2008) e, a exportação de P via animal, além de ser pequena, é também similar, e as perdas de P são quase nulas.

Com os dados obtidos no presente trabalho pode-se inferir que, em sistemas de manejo que possuem pastagem em rotação, há um aumento nos

teores de P em profundidade e, com o passar do tempo, haverá aumentos nos teores de P lábil até a profundidade de 20,0 cm. Isto, porque após seis anos de sua condução houve um aumento nos teores de P extraídos por resina até a profundidade de 10,0 cm nas áreas pastejadas (10 e 40 cm) e até 15,0 cm na área sem pastejo, devido, principalmente, ao efeito da aplicação localizada do fertilizante e o de bioporos formados pelas raízes e fauna do solo. Os teores de P extraídos por bicarbonato parecem seguir a mesma tendência do P extraído por resina, com o P remanescente no solo migrando para a fração extraída por hidróxido de sódio 0,1 (fração moderadamente lábil). Como há uma estreita relação entre essas frações, pode-se concluir que esses compartimentos são sensíveis à diminuição do conteúdo de fósforo na solução do solo e que, juntos, compõem o chamado fósforo disponível do solo.

Para o P moderadamente lábil, se verificou que, de maneira geral, na maior intensidade de pastejo obteve-se os maiores teores no perfil do solo e o pastejo a 20 cm, os menores, em que as maiores diferenças ocorreram na região de deposição do adubo. O que se constata é que nessa intensidade de pastejo (20 cm) o fósforo moderadamente lábil sofreu uma migração para outras formas, pois, nessa intensidade, ele foi menor, tanto no terceiro como no sexto ano. Além disso, no sexto ano houve um grande aumento do teores de P moderadamente lábil em relação ao primeiro ano, devido ao fósforo aplicado via fertilizante ficar em contato com sítios ávidos por esse fósforo, que acabam por se ligarem com alta energia de adsorção. Já, para o P pouco lábil, não foi verificado efeito do pastejo, seja no terceiro ou sexto ano, visto que esta fração é bastante estável no solo e modificações irão ocorrer somente quando as outras formas não lábeis não suprirem o P necessário às plantas (Gatibone, 2003).

#### **5.4. Conclusões**

1) Em sistemas de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo, as formas e as frações do fósforo moderadamente e pouco lábil (inorgânica e orgânica), se comportam de maneira semelhante ao sistema de plantio direto sem a inserção dos animais.

Somente a fração lábil é influenciada, sendo menor na presença dos animais no sistema ao longo do tempo;

2) O fósforo inorgânico é a principal via de acúmulo de fósforo em todas as intensidades de pastejo, tendo aumentado em praticamente todas as camadas avaliadas (até 20 cm), sendo maior na área sem pastejo; já, o fósforo orgânico tem seu aumento até cerca de 10 cm de profundidade e não sofre influência do pastejo;

3) O fósforo se acumula preferencialmente em frações moderadamente lábeis, com predomínio na forma inorgânica, em todas as intensidades de pastejo, e não há influência do animal neste acúmulo. Além disso, o maior acúmulo de fósforo nessa fração se dá nas camadas mais superficiais, até cerca de 10 cm;

## **6. CAPÍTULO 5. VARIAÇÃO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO EM UM CICLO DE PASTEJO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO, SUBMETIDO A INTENSIDADES DE PASTEJO**

### **6.1. Introdução**

A biomassa microbiana do solo (BMS) é a fração viva da matéria orgânica, responsável por processos bioquímicos e biológicos no solo e sensivelmente influenciada pelas condições impostas pelo meio (Moreira & Siqueira, 2006). Desta forma, a biomassa microbiana é influenciada pelo clima, pela aeração e pela disponibilidade de nutrientes minerais e de carbono do solo. Em situações com maior deposição de resíduos orgânicos no solo e com grande quantidade de raízes, há estímulo da biomassa microbiana acarretando seu aumento populacional e sua atividade (Cattelan & Vidor, 1990). A biomassa microbiana também representa o compartimento central do ciclo do carbono, do nitrogênio, do fósforo e do enxofre no solo e pode funcionar como compartimento de reserva desses nutrientes ou como catalisador na decomposição da matéria orgânica (Moreira & Siqueira, 2006). Desta forma, além dos fatores de ambiente, a quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais depositados sobre o solo podem alterar consideravelmente a população microbiana.

Em sistemas de manejo do solo em que são incluídas gramíneas para pastejo, ocorre uma grande presença de raízes, que promovem aumento na proporção de solo rizosférico. Quanto maior a quantidade dessas raízes, aliado



ao corte da parte aérea, que provoca alta exsudação de compostos orgânicos (Tisdall & Oades, 1979), maior é o favorecimento da biomassa microbiana, que utiliza esses compostos como fonte de carbono e energia.

Em sistemas de integração agricultura-pecuária, ocorre adição de resíduos vegetais provenientes da cultura de verão e da pastagem, cujo maior ou menor aporte será função da intensidade de pastejo adotada. Em menores intensidades de pastejo, ocorre maior adição de resíduos pela parte aérea das plantas; já, na maior intensidade ocorre maior adição de resíduos provenientes dos dejetos animais, afetando, desta forma, a labilidade da matéria orgânica (Capítulo 3). Com diferentes labilidades da matéria orgânica, a biomassa microbiana tende a se comportar de maneira distinta entre as intensidades de pastejo, pois ela utiliza principalmente essa fração como fonte de carbono e de energia para sua manutenção, afetando tanto os teores de nutrientes em suas células como sua atividade (Moreira & Siqueira, 2006). Além disso, o estágio de desenvolvimento da pastagem e a inserção ou não dos animais pode afetar a biomassa microbiana, pois esta é muito sensível a mudanças, mesmo que pequenas, no manejo do solo, por ser a fração viva da matéria orgânica (Souza et al., 2006a; Souza et al., 2006b; Conceição et al., 2007; Souza et al., 2008). Com isso, espera-se que: 1) o aumento na intensidade de pastejo diminua a população e a atividade microbiana do solo, devido ao menor suprimento de resíduos vegetais; 2) a biomassa microbiana aumente ou diminua de acordo com o estágio de desenvolvimento da pastagem, devido à quantidade e à qualidade de resíduos disponíveis e às condições de clima e; 3) os teores de nitrogênio e de fósforo no tecido microbiano varia em função da época de amostragem e dos teores desses nutrientes disponíveis no solo.

Objetivou-se avaliar os teores de carbono, de nitrogênio e de fósforo da biomassa microbiana, a sua atividade no solo e os seus estoques de carbono e de nitrogênio ao longo do ciclo de pastejo em um sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo.

## 6.2. Material e Métodos

As características gerais da área experimental foram apresentadas no Capítulo 2, por ser comum a todos os estudos. Para as determinações relacionadas à biomassa microbiana, foram realizadas amostragens nas seguintes épocas: 1) logo após o final do ciclo da cultura de verão (soja) na safra 2006/07, que ocorreu no início do mês de maio/2007; 2) no início da época de pastejo pelo gado (meados de julho/2007); 3) no meio do ciclo de pastejo pelo gado (meados de setembro/2007) e; 4) ao final do ciclo de pastejo (em meados do mês de novembro). As amostras foram coletadas na profundidade de 0 a 10 cm, em oito pontos por parcela, formando uma amostra composta e representativa de cada tratamento, o qual possui três repetições. As amostras foram acondicionadas em caixa térmica para o transporte até o laboratório, onde foram armazenadas em geladeira. Um dia antes da realização das análises, as amostras foram retiradas da geladeira e deixadas sob temperatura ambiente por 24 horas; posteriormente foram retiradas as raízes e o solo passado em peneira de 2 mm de abertura.

O carbono da biomassa microbiana foi obtido pelo método da irradiação-extração (Mendonça & Matos, 2005), o qual consiste na utilização de energia eletromagnética (microondas) causando efeito na transferência de energia e temperatura, o que leva a um rompimento celular com liberação dos compostos intracelulares. Posteriormente, a extração foi realizada com sulfato de potássio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , oxidação com dicromato de potássio  $0,066 \text{ mol L}^{-1}$  e titulação com sulfato ferroso amoniacal  $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ . A respiração microbiana foi estimada pelo  $\text{CO}_2$  evoluído a partir de 20 g de solo durante 72 h, com extração por  $\text{NaOH } 0,05 \text{ mol L}^{-1}$  e titulação com  $\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1}$  (Alef & Nannipieri, 1995). O quociente metabólico foi determinado pela relação entre a respiração microbiana e a biomassa microbiana (Anderson & Domsh, 1993). O nitrogênio da biomassa microbiana foi determinado no mesmo extrato em que foi determinado o carbono da biomassa microbiana e a determinação foi efetivada segundo Tedesco et al. (1995).

Avaliou-se o conteúdo de fósforo na biomassa microbiana pelo método da irradiação-extração (Mendonça & Matos, 2005). Para isso, foram pesadas

amostras de 5,0 g de solo em triplicata, que foram colocadas em frascos de vidro, sendo irradiadas por 118 segundos (tempo determinado após cálculo da potência do aparelho de microondas). Outras três amostras de cada tratamento não foram submetidas à irradiação. A extração do P foi realizada pela adição de 50 mL de uma solução de  $\text{NaHCO}_3$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (pH 8,5) e, posteriormente, quantificado pelo método colorimétrico do molibdato-ácido ascórbico. Para a correção da fixação do P inorgânico durante a extração, foi estimada a taxa de recuperação de uma quantidade conhecida de P adicionado ao solo juntamente com o extrator  $\text{NaHCO}_3$ . O fator de correção para o cálculo do P da biomassa foi de 0,40, considerando que nem todo o P microbiano é extraído por essa metodologia.

Os resultados das análises realizadas foram submetidos à análise de variância, empregando-se o teste de Tukey com  $P < 0,05$  para a separação das médias, utilizando o seguinte modelo estatístico para a análise da variância:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + A_j + \text{erro } a(i,j) + C_k + \text{erro } b(i,k) + AC_{jk} + \text{erro } c(i,j,k)$$

Onde: B = blocos ( $i = 1,2,3$ ); A = intensidades de pastejo ( $j = 1,2,3,4$ ); C = épocas de amostragem ( $k = 1,2,3,4$ ).

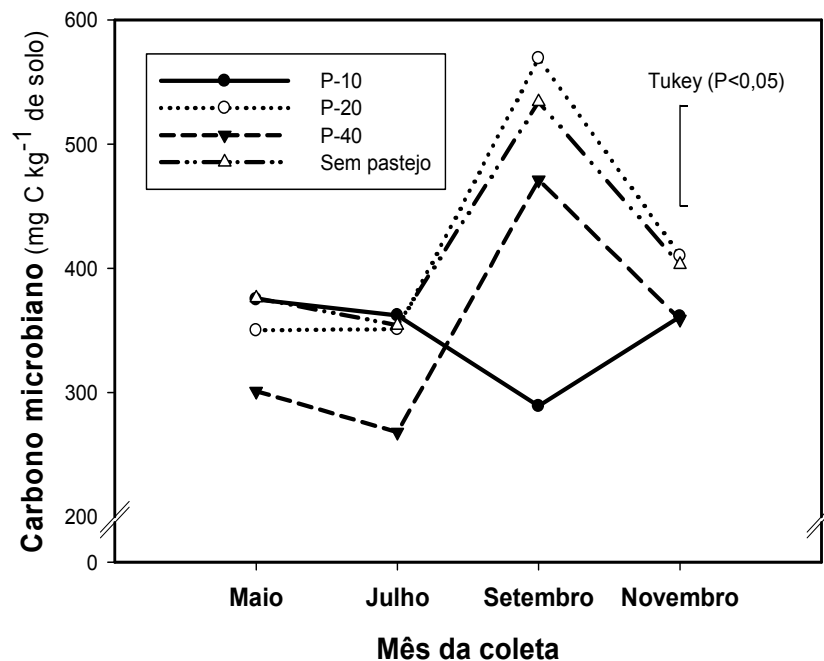
### 6.3. Resultados e Discussão

O carbono (C-BM), o nitrogênio (N-BM) e o fósforo (P-BM) na biomassa microbiana foram influenciados tanto pelas intensidades de pastejo como pela época de amostragem do solo (Figuras 20, 21 e 22).

No início do estabelecimento da pastagem (maio) e no final do ciclo de pastejo (novembro) os valores de C-BM foram semelhantes (Figura 20). Na primeira coleta, o C-BM de 301 a  $376 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo, não variou ( $P > 0,05$ ) pois, havia no solo, resíduos de fácil decomposição (baixa relação C/N) advindos da soja, porém com a baixa liberação de exsudatos pelo sistema radicular, por estar na fase de final do ciclo. Já, na coleta do mês de novembro, o C-BM mesmo variando de 340 a  $416 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo, era similar, devido a possuir um maior sistema radicular no tratamento P-10 (Conte, 2007), que pode ter provocado aumento do C-BM, a valores similares determinados pelo

maior resíduo da parte aérea nos demais tratamentos, como anteriormente verificado por Souza et al., (2008) na mesma área experimental.

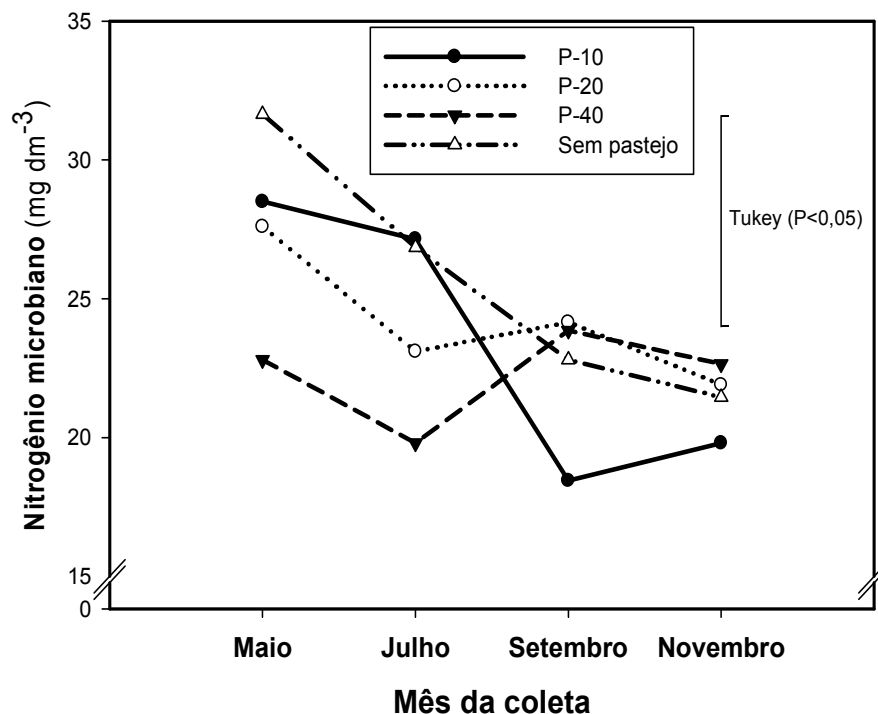
Para o N-BM (Figura 21), se verifica a importância da sazonalidade de amostragem, visto que se pôde constatar que a biomassa responde mais ao N proveniente de resíduos de plantas de soja do que ao N aplicado via fertilizante. Isso se verifica nas avaliações de julho e setembro, quando a pastagem se encontra em pleno desenvolvimento, visto que, na semeadura da aveia são aplicados cerca de 45 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de uréia. Mesmo com essa aplicação, houve uma diminuição do N-BM em comparação ao mês de maio, no qual as folhas da soja se encontram na superfície do solo, e as raízes já estão em plena decomposição.



**FIGURA 20.** Carbono na biomassa microbiana no ciclo de pastejo, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em função de intensidades de pastejo em sistema de integração agricultura-pecuária sob plantio direto. P-10, P-20 e P-40 representam as alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos meses, pelo teste de Tukey (P<0,05).

As épocas de amostragem tiveram menor influência no P-BM (Figura 22), em relação ao C-BM e N-BM; isto, porque sistemas de integração agricultura-pecuária conduzidos em solos como o do presente estudo, somente

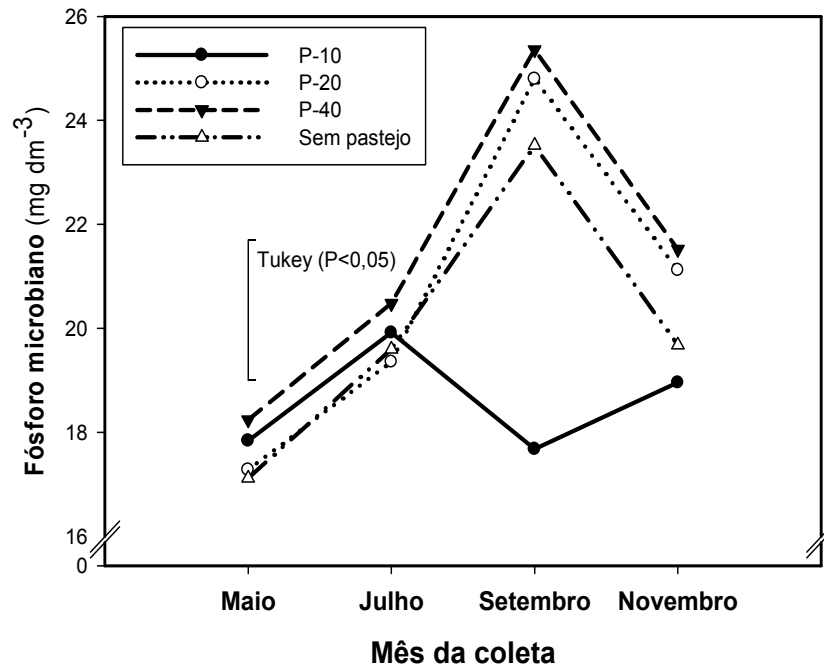
irão promover reduções nos teores de P-BM em intensidades muito elevadas de pastejo, que afetarão negativamente a população microbiana do solo. A incorporação de P na biomassa microbiana no presente estudo, como observado por Conte et al. (2002), se deve à combinação da adição de fertilizante fosfatado com o período de grande disponibilidade de carbono proveniente dos resíduos das culturas sobre o solo. A adição de apenas 20 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na semeadura da soja contribuiu, segundo esses autores, para a obtenção de valores de P-BM de 19,2 mg dm<sup>-3</sup> no final do ciclo da soja, superior aos 9,4 mg dm<sup>-3</sup> da área sem aplicação de fósforo.



**FIGURA 21.** Nitrogênio na biomassa microbiana no ciclo de pastejo, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em função de intensidades de pastejo em sistema de integração agricultura-pecuária sob plantio direto. P-10, P-20 e P-40 representam as alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos meses, pelo teste de Tukey (P<0,05).

Na amostragem de julho, a biomassa microbiana é baixa, pois, nesta época, ocorrem menores temperaturas, fazendo com que a mesma se mantenha estacionada em um determinado nível. Além disto, a pastagem está ainda em fase inicial de desenvolvimento e a liberação de exsudatos radiculares é baixa, não havendo estímulo à biomassa microbiana. Entretanto,

é nesse mês em que foram inicialmente observadas as diferenças entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ) para o C-BM (Figura 20), sendo mais baixo ( $268 \text{ mg kg}^{-1}$ ) na menor intensidade de pastejo (P-40) em relação às demais, que não diferenciaram entre si (em torno de  $360 \text{ mg kg}^{-1}$ ).



**FIGURA 22.** Fósforo na biomassa microbiana no ciclo de pastejo, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em função de intensidades de pastejo em sistema de integração agricultura-pecuária sob plantio direto. P-10, P-20 e P-40 representam as alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Barra na vertical compara os tratamentos dentro dos meses, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Setembro foi o mês com o maior C-BM (Figura 20) e P-BM (Figura 22), com exceção à maior intensidade de pastejo (P-10), sendo as intensidades P-20 ( $580 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e sem pastejo ( $550 \text{ mg kg}^{-1}$ ) que atingiram os valores mais elevados, com o P-20 diferindo do P-40 ( $480 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Nessa época de amostragem, ocorrem as condições mais propícias de umidade e de temperatura para o desenvolvimento da pastagem e da biomassa microbiana. No entanto, nesse mês ocorreu um déficit hídrico (estiagem); assim, na maior intensidade de pastejo, houve baixa proteção do solo contra a perda de água por evaporação e, ainda, o efeito quase que direto dos raios solares, aumentando a temperatura do solo. Essa associação de baixa umidade e alta

temperatura foi maléfica ao C-BM, N-BM e P-BM (Figuras 20 a 22), visto que apresentaram o menor teor. Por outro lado, nas áreas com menores intensidades de pastejo, havia cobertura do solo, evitando a perda de água e aumento de temperatura, favorecendo o bom desenvolvimento da biomassa microbiana. Segundo Matsuoka et al. (2003), o acúmulo de material vegetal na superfície do solo propicia menor variação e níveis mais adequados de temperatura e umidade no solo, o que contribuirá para a ocorrência de maiores níveis de C-BM nessas áreas, em comparação às áreas com menores quantidades de resíduos.

O que se verifica é que, em situações sem estresse, mesmo na maior intensidade de pastejo, o sistema de integração agricultura-pecuária consegue manter elevados teores de nutrientes da biomassa microbiana, em níveis iguais às menores intensidades de pastejo. Com o C-BM e P-BM, sendo semelhante nos meses de maio e novembro; isto, também devido à pastagem já estar em fase de senescência, com menor liberação de exsudatos, com exceção da área P-10, que durante todo o ciclo da pastagem fica em constante emissão de afilhos e raízes em função do pastejo intensivo. No entanto, no momento em que ocorre alguma condição adversa aos microrganismos, como na maior intensidade de pastejo, a resposta é rápida, com diminuição na sua população e, com isso, redução nas quantidades de C-BM, N-BM e P-BM.

Devido à competição entre planta e microrganismos, o N-BM segue diminuindo com o tempo, fazendo com que desapareçam as diferenças entre as intensidades de pastejo em novembro (Figura 21), com teores variando somente de 19,8 a 22,7 mg kg<sup>-1</sup> de solo para os tratamentos P-10 e SP, respectivamente, seguindo a tendência do C-BM. No mês de maio, o maior N-BM foi na área sem pastejo e o menor em P-40 (Figura 21). O tratamento sem pastejo, disponibiliza maiores quantidades de resíduos vegetais sobre o solo e, em associação a isso, as condições climáticas (temperatura ficando mais amena) favorecem uma menor decomposição da matéria orgânica do solo, além de resíduos foliares da soja estarem em senescência, diminuindo a relação C/N do material vegetal sobre a superfície do solo. Com grandes quantidades de material prontamente decomponível pelos microrganismos, há um favorecimento ao desenvolvimento microbiano e, como consequência, ocorre maior acúmulo de nitrogênio nos tecidos microbianos.

Diferentemente do que ocorreu para o C-BM, o N-BM se diferenciou menos entre os tratamentos nas diferentes épocas de coleta. Isto demonstra que o N-BM é menos sensível que o C-BM em detectar o efeito de sistemas de manejo sobre a qualidade do solo. A biomassa microbiana do solo na intensidade P-10 sofreu um estresse no mês de setembro, com conseqüente diminuição no C-BM. Com isso, também no N-BM foi diminuído e a recuperação do C-BM na amostragem seguinte (Figura 20) não foi suficiente para recuperar o N-BM (Figura 21). Blankenau et al. (2000) consideraram o N-BM um indicador fraco da imobilização de nitrogênio adicionado ao solo na forma de fertilizantes, pois apenas 2,9 a 23,8% do nitrogênio perdido do sistema solo-planta foi imobilizado na biomassa microbiana durante o cultivo do trigo. Hatch et al. (2000) e Vargas et al. (2005) observaram, em solo sob pastagem e plantio direto, respectivamente, aumentos no N-BM apenas em longo prazo. Esses autores argumentam que isso se deve ao efeito da maior produção de biomassa vegetal e do conseqüente aumento de carbono orgânico no solo. O mesmo foi observado no trabalho de Silvan et al. (2003), onde a imobilização de N-BM ocorreu apenas um ano depois do início do experimento.

Os teores de P-BM (Figura 22) apresentam comportamento semelhante aos observados no C-BM; assim como no C-BM, nos meses de maio, julho e novembro o P-BM não sofreu influência das intensidades de pastejo, sendo esta influência apenas observada no mês de setembro. Nesta época, o P-BM sofreu influência das intensidades de pastejo (Figura 22) variando de 17,7 e 25,4 mg dm<sup>-3</sup>, para as intensidades P-10 e P-40, respectivamente. O solo do presente estudo possui elevados teores de P lábil (Capítulo 4), ou seja, disponível às plantas e também aos microrganismos. O P, diferentemente do N, não é sujeito a perdas significativas, e o P aplicado que não for absorvido será acumulado no solo. Como a sua disponibilidade no solo é alta e a aplicação de adubo fosfatado é anual, sempre haverá P prontamente disponível para as plantas e aos microrganismos. Assim, sempre que a biomassa microbiana aumentar sua população haverá acúmulo de P-BM, pois haverá P disponível para ser utilizado em seu metabolismo.

No presente estudo, são aplicados 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 00-20-30, na semeadura da soja, o que significa uma adição de 25 kg ha<sup>-1</sup> de P. Em setembro, os teores de P-BM foram superiores a 25 mg dm<sup>-3</sup>, o que

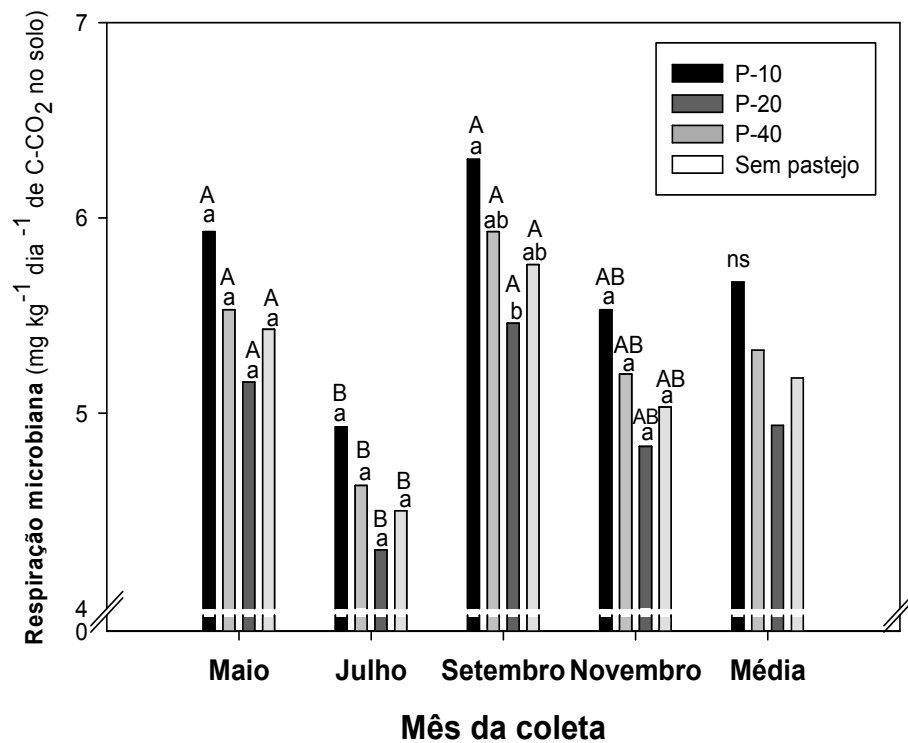


representaria cerca de 25 kg de P ha<sup>-1</sup> na camada de 0 a 10 cm. Com isso, pode-se afirmar que, além do efeito temporário da aplicação do fertilizante fosfatado, o aumento do P no solo proveniente de aplicações anteriores levam ao aumento da quantidade de P na biomassa microbiana, como também observado por Conte et al. (2002).

O P-BM no presente estudo foi, na média entre as épocas, de 6,5%, 7,5%, 7,7% e 7,2% do P orgânico (Po) total para as intensidades P-10, P-20, P-40 e SP, respectivamente (Capítulo 4). Rheinheimer et al. (2000), em um Latossolo Vermelho distroférico típico, como o do presente estudo, obtiveram P-BM de até 19% do Po total; este valor é considerado alto, pois, de acordo com Magid et al. (1996), os teores médios encontrados na literatura são de 2 a 5%; apesar de já terem sido encontrados teores de até 20% do Po total (Qualls & Richardson, 1995).

Alguns importantes fatores contribuem para o aumento de nutrientes na biomassa microbiana, sendo, porém mais determinado pelos resíduos disponíveis no solo e em sua superfície. Segundo Tisdall & Oades (1979), o corte da parte aérea de plantas de azevém promove um aumento na exsudação de compostos orgânicos pelas raízes, além de aumento da rizosfera. Desta forma, quanto maior for a presença de raízes, maior deve ser a exsudação de compostos orgânicos que servirão como fonte de carbono e energia à biomassa microbiana, ocorrendo um estímulo ao aumento da mesma. Com isso, pode-se afirmar que intensidades moderadas de pastejo podem influenciar positivamente tanto a parte aérea como o sistema radicular da pastagem, o que justifica que na intensidade P-20, no presente estudo, os teores de nutrientes na biomassa microbiana foram elevados, sendo semelhantes aos verificados na área sem pastejo.

As intensidades de pastejo nas amostragens de maio, julho e novembro não influenciaram ( $P > 0,05$ ) a respiração da biomassa microbiana (R-BM), entretanto na amostragem de setembro ela foi maior na maior intensidade de pastejo (P-10) (Figura 23). É interessante observar, porém, que em todos os meses, a R-BM seguiu a mesma tendência.

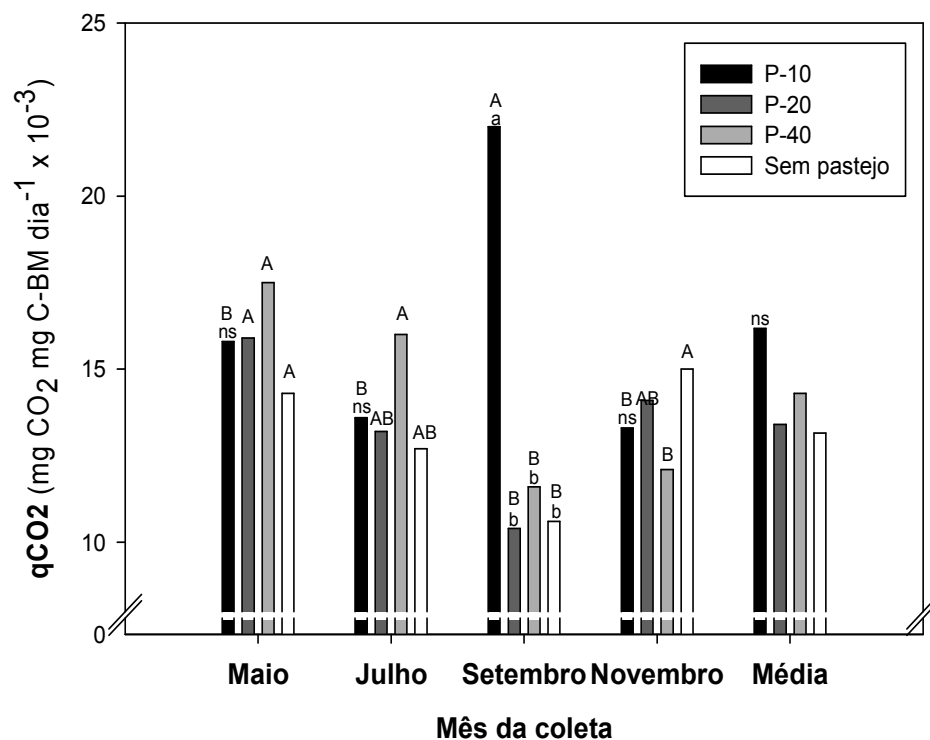


**FIGURA 23.** Respiração da biomassa microbiana no ciclo de pastejo, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto. P-10, P-20 e P-40 representam as alturas de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Letras minúsculas comparam tratamentos dentro de cada época. Letras maiúsculas comparam cada tratamento entre as épocas. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na avaliação do mês de julho, ocorreu a menor R-BM, devido às temperaturas mais baixas, que resultou em atividade da biomassa microbiana diminuída pela menor atividade (fisiológica) da planta e, conseqüentemente, menor quantidade de exsudatos radiculares (Chen et al., 2006), fonte de carbono prontamente mineralizável para a biomassa microbiana. Nessa amostragem, os valores de R-BM não foram afetados pelo pastejo e os valores baixos nessa ocasião, não necessariamente significam condições indesejáveis (D'Andréa, 2001) pois, a longo prazo, alta R-BM significa perdas de COT do solo, embora, no curto prazo, possa significar liberação de nutrientes que podem ser absorvidos pelas plantas.

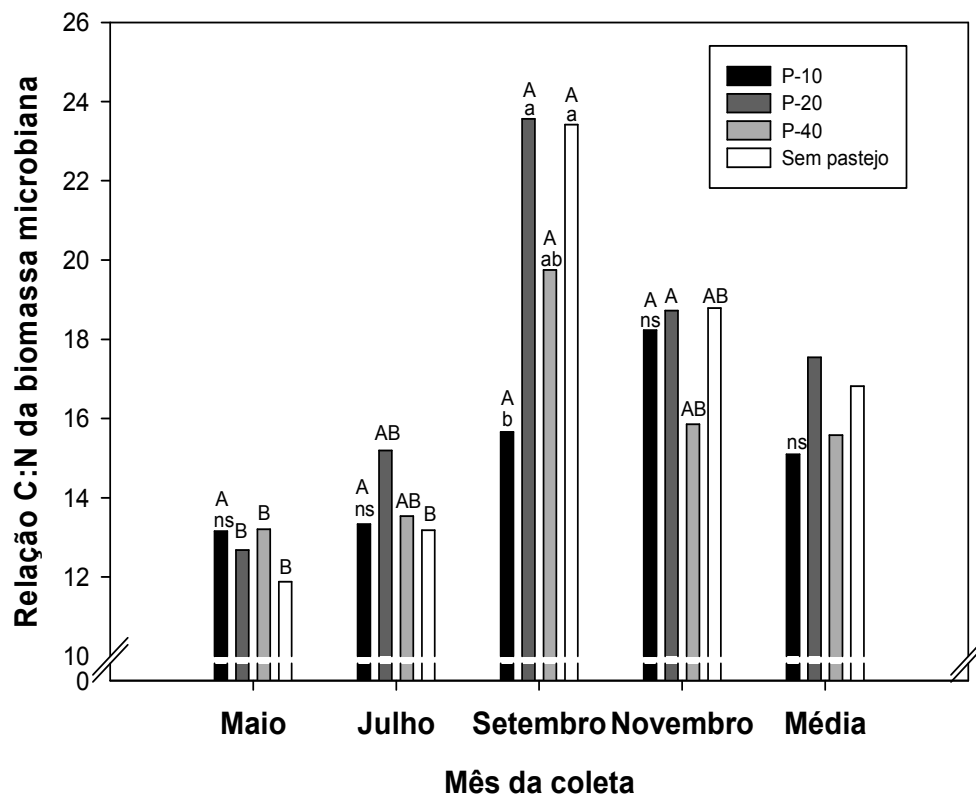
O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) (Figura 24) seguiu a mesma tendência observada para a R-BM (Figura 23), em que no mês de setembro, a biomassa microbiana sofreu um estresse devido ao clima, aumentando sua atividade,

como citado anteriormente, o que pode explicar o elevado valor do  $qCO_2$  na maior intensidade de pastejo (P-10) em relação às demais. Na média das épocas de amostragem, não houve variações no  $qCO_2$  entre as intensidades de pastejo. Maiores valores de  $qCO_2$  são encontrados em condições ambientais estressantes, nas quais a biomassa microbiana gasta mais carbono para sua manutenção. Segundo Gama-Rodrigues (1999), à medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos carbono é perdido como  $CO_2$  pela respiração, e uma fração significativa é incorporada ao tecido microbiano e, com isto, solos com baixo  $qCO_2$  estariam próximos ao estado de equilíbrio. No entanto, deve-se tomar cuidado nas interpretações do quociente metabólico, visto que, somente 15-30% da biomassa microbiana do solo é catabolicamente ativa (Mac Donald, 1986) e o restante dos microrganismos do solo está na forma inativa ou latente, possuindo baixa atividade (Moreira & Siqueira, 2006).



**FIGURA 24.** Quociente metabólico no ciclo de pastejo, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto. P-10, P-20 e P-40 representam as alturas de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Letras minúsculas comparam tratamentos dentro de cada época. Letras maiúsculas comparam cada tratamento entre as épocas. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = não significativo.

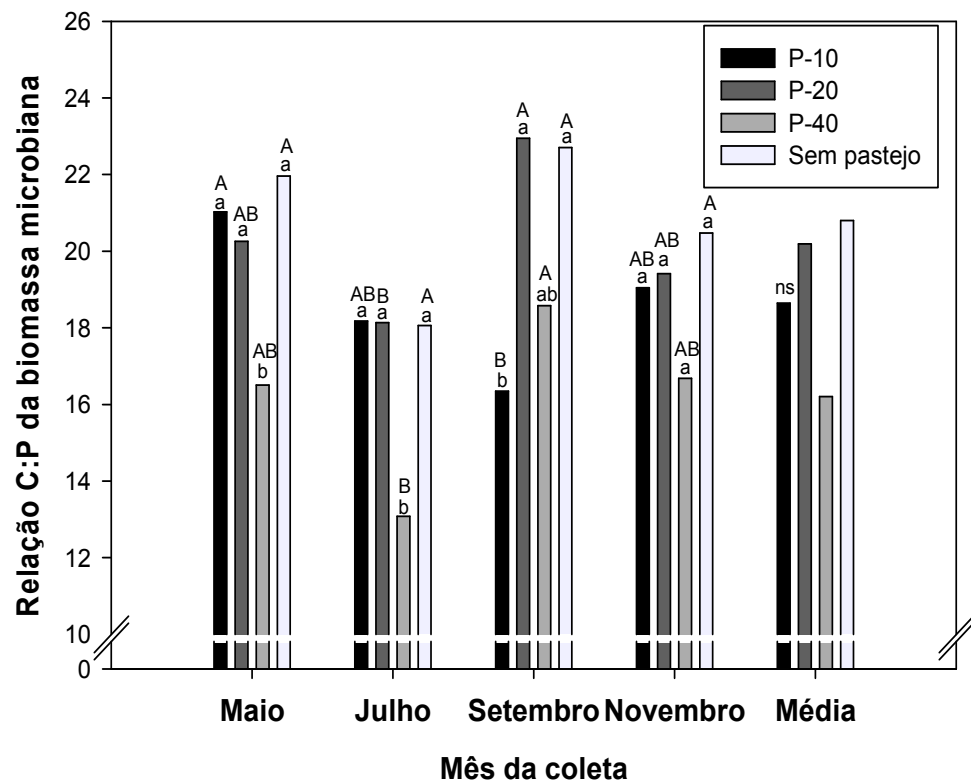
A exemplo da R-BM e  $q\text{CO}_2$ , a relação C/N (Figura 25) não sofreu influência das intensidades de pastejo nos meses de maio, junho e novembro; já no mês de setembro houve efeito das intensidades de pastejo. Nas duas coletas iniciais, havia quantidades significativas de nitrogênio no solo, primeiramente, devido aos resíduos da cultura da soja e, posteriormente, em função da aplicação de adubação nitrogenada na semeadura da aveia preta em cobertura. Isso causa uma diminuição da relação C/N do material vegetal, que é mais rapidamente decomposto pelos microrganismos e, por conseguinte, parte dos nutrientes nos resíduos são liberados ao solo e parte é incorporada ao tecido microbiano.



**FIGURA 25.** Relação C:N da biomassa microbiana no ciclo de pastejo, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura pecuária submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto. P-10, P-20 e P-40 representam as alturas de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Letras minúsculas comparam tratamentos dentro de cada época. Letras maiúsculas comparam cada tratamento entre as épocas. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = não significativo.

A relação C/N foi maior nos meses de setembro e novembro, nos quais parte do N já tinha sido perdido ou absorvido pelas plantas e/ou ingerido pelos animais. Nos meses de menor disponibilidade de N no solo, a biomassa microbiana tornou-se mais eficiente em aproveitar o N do solo, o que pode ser observado na Figura 21, que ilustra o aumento do C-BM no mês de novembro, mesmo com menor disponibilidade de N. Gijsman et al. (1997) verificaram que, em sistemas de gramíneas, a relação C/N da biomassa microbiana era maior; e quando se inseria uma leguminosa no sistema, a relação C/N diminuía. No presente estudo, isto fica bem evidente, pois quando o efeito dos resíduos da cultura da soja começa a diminuir, a relação C/N da biomassa microbiana tende a aumentar.

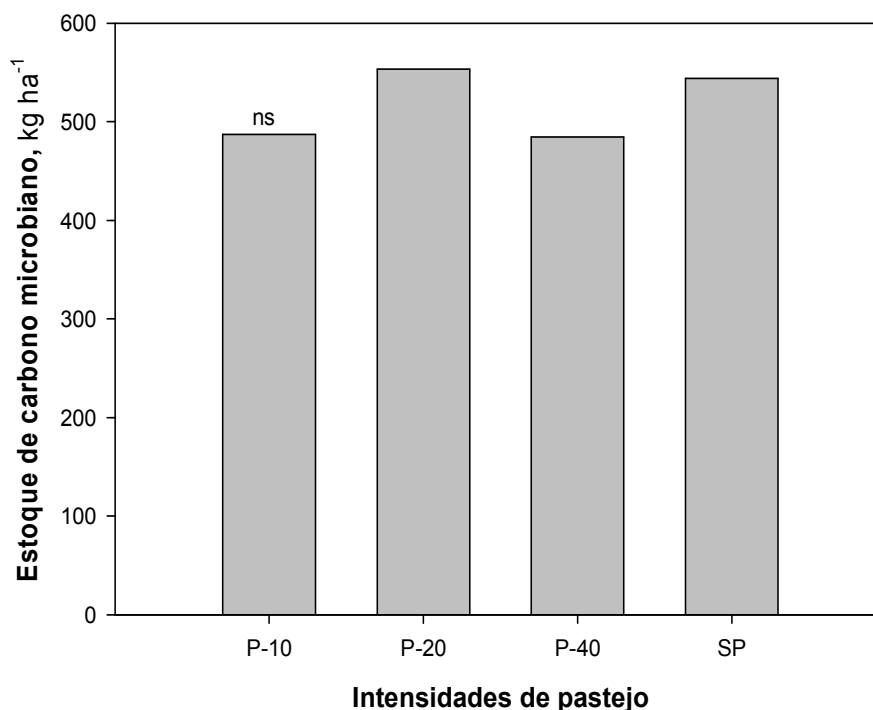
A relação C/P (Figura 26), assim como o P-BM (Figura 22) não segue a mesma tendência do C-BM (Figura 20) e N-BM (Figura 21), pois apresenta grande variação entre as intensidades de pastejo e as épocas de amostragem. Em todas as avaliações, houve influência das intensidades de pastejo sobre a relação C/P, que pode ser comparada à variação do P-BM, e também relacionada com o C-BM. Segundo Gijsman et al. (1997), a relação C/P é influenciada pela utilização de leguminosas no sistema. Entretanto, no presente estudo, o que parece ter mais influenciado essa relação, foi o C-BM e o alto teor de P disponível no solo (Capítulo 4), tal como sugerido por Chauhan et al. (1981).



**FIGURA 26.** Relação C:P da biomassa microbiana no ciclo de pastejo, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto. P-10, P-20 e P-40 representam as alturas de 10, 20 e 40 cm, respectivamente. Letras minúsculas comparam tratamentos dentro de cada época. Letras maiúsculas comparam cada tratamento entre as épocas. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = não significativo.

Os estoques de C-BM (média das épocas) não diferiram ( $P > 0,05$ ) entre as intensidades de pastejo (Figura 27), mesmo variando de 487 a 554 kg ha<sup>-1</sup>, para as áreas P-10 e P-20 respectivamente. Estes altos estoques de C-BM demonstram que a biomassa microbiana pode representar um importante compartimento do estoque total de matéria orgânica do solo, a qual pode acumular quantidades significativas de carbono no solo, auxiliando na minimização dos efeitos causados pelo excesso de carbono na atmosfera. O estoque de C-BM do presente trabalho, mesmo obtido para a camada de 0 a 10 cm, é superior (43%) daquele encontrado por Xavier et al. (2006), na camada de 0 a 20 cm de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem no Ceará. Isto, devido, principalmente ao clima, ao solo e ao manejo adotado, em que temperaturas amenas, solos mais argilosos e sistemas que integram

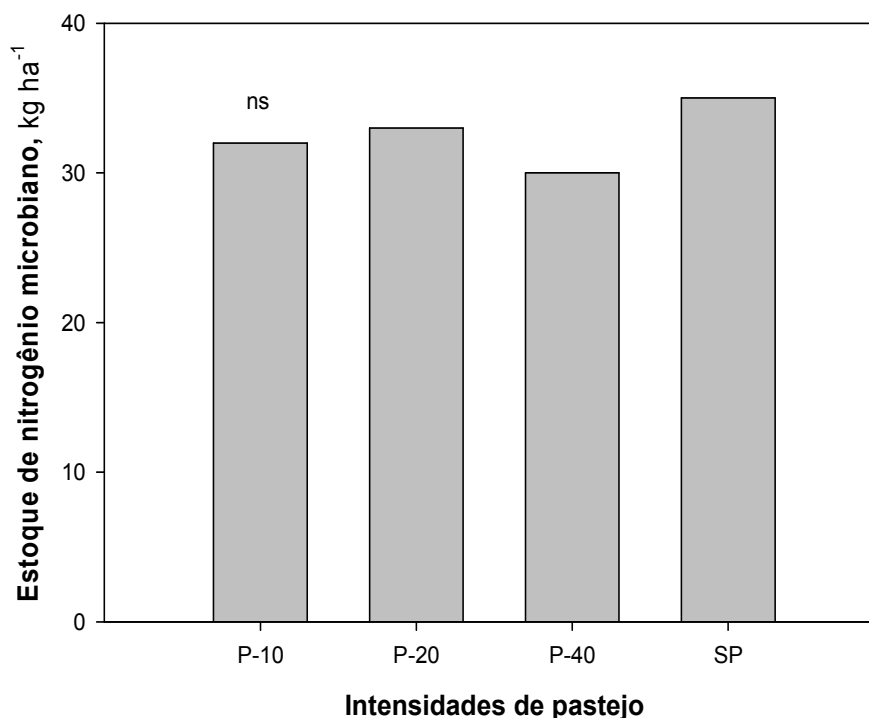
leguminosa e gramíneas favorecem o aumento do C-BM do solo (Moreira & Siqueira, 2006).



**FIGURA 27.** Estoque de carbono médio na biomassa microbiana, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em função de intensidades de pastejo em sistema de integração agricultura-pecuária sob plantio direto. P-10, P-20, P-40 e SP representam as alturas de 10, 20, 40 cm e sem pastejo, respectivamente. ns = não significativo.

Os estoques de N-BM também não diferiram ( $P > 0,05$ ) entre as intensidades de pastejo (Figura 28), e variaram de 30 a 35 kg ha<sup>-1</sup>, para as áreas P-40 e SP respectivamente. Esses estoques de N-BM mostram que a biomassa microbiana representa, assim como o carbono, um importante compartimento do estoque de nitrogênio no solo. Com isso, parte desse N pode ser liberado após a morte dos microrganismos e, assim, ser absorvido pelas plantas. Ao mesmo tempo, em sistemas que o resíduo depositado ao solo tenha baixa relação C/N, o N presente pode ser utilizado pela biomassa microbiana do solo e, conseqüentemente, ficar indisponível para as plantas. Assim como citado para o C-BM, o estudo de Xavier et al. (2006) pode auxiliar na demonstração do efeito do sistema de integração agricultura-pecuária no Sul do Brasil, em que esses autores verificaram, na camada de 0 a 20 cm,

estoques de N-BM de  $15 \text{ kg ha}^{-1}$ , em pastagem. Ao comparar esse estoque de N-BM do solo ao do presente estudo, somente na camada de 0 a 10 cm, o estoque é 111% superior.



**FIGURA 28.** Estoque de nitrogênio médio na biomassa microbiana, na camada de 0 a 10 cm, de um Latossolo Vermelho em função de intensidades de pastejo em sistema de integração agricultura-pecuária sob plantio direto. ns = não significativo. P-10, P-20, P-40 e SP representam as alturas de 10, 20, 40 cm e sem pastejo, respectivamente. ns = não significativo.

#### 6.4. Conclusões

1) Sistemas de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetidos a intensidades moderadas de pastejo conseguem manter o nível de qualidade biológica do solo semelhante ou melhor do que o sistema plantio direto isoladamente;

2) Os teores de carbono, de nitrogênio e de fósforo microbiano variam em função da época de desenvolvimento da pastagem, em que, não há efeito negativo da inserção do animal no sistema nas intensidades moderadas de pastejo;



3) Alta intensidade de pastejo (10 cm) pode provocar redução no carbono, no nitrogênio e no fósforo da biomassa microbiana e aumento na respiração microbiana do solo, principalmente, sob condições de estresse hídrico.

## **7. CAPÍTULO 6. INTENSIDADES DE PASTEJO E AGREGAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO, SUBMETIDO A INTENSIDADES DE PASTEJO**

### **7.1. Introdução**

A estabilidade de agregados faz parte de um conjunto de informações propostas para monitoramento da qualidade do solo, tendo sido incluída em um índice conceitual de qualidade do solo, formulado por Karlen & Stott (1994) e relacionado com a resistência do solo à degradação. No Brasil, estudos de avaliação de atributos indicadores da qualidade do solo na região Sul (Silva et al., 2000; Conceição, 2006; Boeni, 2007) ou na região dos Cerrados (Beutler et al., 2001) têm envolvido a quantificação de índices de estabilidade de agregados e a distribuição de agregados por classe de tamanho, estabelecendo relações com atributos químicos e físicos em vários sistemas de manejo e situações de cobertura do solo.

A estabilidade dos agregados do solo pode ser resultado da ação de união mecânica de partículas de solo por células e hifas de organismos, dos efeitos cimentantes dos produtos derivados da síntese microbiana ou da ação estabilizadora dos produtos de decomposição que agem individualmente ou em combinação (Baver et al., 1973). O manejo do solo adotado irá influenciar o estado de agregação do solo, em que esta pode sofrer alterações temporárias ou permanentes. Reinert (1993) encontrou grande variação temporal na agregação e concluiu que experimentos com poucas avaliações podem levar a erros interpretativos. A variação estacional da estabilidade estrutural do solo

varia com os processos físicos relacionados com o preparo do solo e tráfego de máquinas agrícolas, o clima e o crescimento de plantas (Kay, 1990). Existe também um estreito relacionamento entre as condições físicas do solo e o desenvolvimento de vegetais (Letey, 1985).

Segundo Allison (1973), as plantas exercem significativo benefício na agregação, pois apresentam raízes finas que se ramificam pelo solo, pressionando as raízes e predispondo a formação de agregados. Além disso, removem continuamente a água, criando secamento nas regiões próximas a elas e, pela exsudação, fornecem alimento para microrganismos da rizosfera que, direta ou indiretamente, influenciam a agregação. As gramíneas perenes, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecem as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e agregados, contribuindo para sua formação e estabilidade, e podem ser usadas como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas (Silva & Mielniczuk, 1997). Porém, a consorciação de gramíneas e leguminosas é mais eficiente na reagregação do que somente leguminosas ou somente gramíneas (Allison, 1973).

Como existe relação direta entre o teor de carbono no solo e a agregação, a variação nesses teores passa a ter importância ainda maior, pois esse deve promover maior agregação e, com isso, tem-se maior proteção da matéria orgânica. Entretanto, o aumento no teor de carbono do solo não tem sido evidenciado em solos argilosos com elevados teores de óxidos (Bayer et al., 2000). Além disso, os estudos enfocando o efeito de intensidades de pastejo sobre a agregação do solo têm sido poucos, em que, a maioria têm avaliado somente sistemas de manejo do solo em comparação com áreas nativas ou somente pastagem permanente. Estudos sobre o efeito do tempo de pastejo em sistemas de integração agricultura-pecuária sobre a agregação do solo ainda são escassos. Daí, surge a necessidade de se verificar o efeito deste tempo de pastejo na agregação do solo e, conseqüentemente, na proteção física da MOS, visto que há relação direta entre agregação e acúmulo de MOS.

Desta forma, espera-se que em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo, ocorra um

aumento dos macroagregados com a diminuição das intensidades de pastejo e que, mesmo em menores intensidades de pastejo, a agregação tenda a aumentar com o decorrer do ciclo da pastagem e do tempo de desenvolvimento dos sistemas. Com isso, o objetivo deste estudo é avaliar a estabilidade dos agregados em água ao final do ciclo da soja e durante o desenvolvimento da pastagem em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo.

## **7.2. Material e Métodos**

No Capítulo 2 foram apresentados os Materiais e Métodos gerais, que são comuns a todos os estudos. Para o presente estudo, as amostras referentes à agregação do solo foram coletadas nas camadas 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm. Para que se pudesse verificar a influência do animal na agregação, as amostras foram coletadas ao final do ciclo da soja, no início do mês de maio de 2007, no meio do pastejo pelos animais, em meados de setembro de 2007, e ao final do pastejo, logo após a retirada dos animais, em meados de novembro de 2007. As amostras foram acondicionadas em potes plásticos e transportadas em caixas para conservar, ao máximo, a estrutura do solo. Posteriormente, as amostras foram mantidas à sombra para atingir o ponto de friabilidade, sendo destorroadas manualmente, observando os pontos de fraqueza. Desta forma, o volume total da amostra foi fracionado para transpassar a malha de 9,52 mm, sendo excluídos da amostra, fragmentos de plantas, outros resíduos não componentes do solo, pedras e cascalhos retidos na peneira. Para a determinação da estabilidade dos agregados do solo, utilizou-se o método descrito por Kemper & Chepil (1965), com alterações propostas por Carpenedo & Mielniczuk (1990) e Silva & Mielniczuk (1997b), consistindo na separação dos agregados em classes de tamanho, pela dispersão e peneiramento em meio úmido.

O procedimento adotado para o peneiramento das amostras em água inicia com a retirada de duas subamostras com aproximadamente 50 g de cada amostra de campo, contendo agregados e terra solta, sendo elas o mais representativo possível da amostra integral. Cada subamostra foi colocada em

um funil de papel filtro, inserido em recipiente com lâmina d'água suficiente para o umedecimento por capilaridade da subamostra. Após 16 horas, as subamostras foram transferidas para um recipiente plástico, cilíndrico, com dimensões de 21 cm x 9,5 cm, contendo 500 ml de água, o qual foi colocado em um agitador rotativo durante 2 minutos a 16 rpm. Logo após, o conteúdo de cada recipiente plástico foi transferido para um conjunto de peneiras com aberturas de 4,76; 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm, que se encontrava dentro de um balde e acoplado a um agitador com oscilação vertical. Cada balde continha volume de água suficiente para encobrir a amostra de solo depositada na peneira de 4,76 mm, quando na posição mais elevada do curso de oscilação. As amostras foram agitadas neste conjunto durante 15 minutos a 42 oscilações por minuto. Em seguida, o material retido em cada peneira foi transferido, com auxílio de jatos de água para os recipientes, as quais foram levados à estufa a 105°C, para determinação da massa seca de terra retida em cada peneira. O volume de água, juntamente com o material inferior a 0,25 mm, foi transposto a outro balde por um conjunto de peneiras com abertura de 0,105 e 0,053 mm, sendo o material retido em cada peneira transferido para latas como nas demais peneiras. No balde com água e material de tamanho inferior a 0,053 mm foi colocado 50 ml de alúmen de potássio (5%) para precipitar o material sólido suspenso que, após sifonamento da água, foi também colocado em recipientes, seco em estufa (105°C) e a massa devidamente quantificada.

Na seqüência, o material obtido de cada peneira foi lavado com água e com auxílio de dispersante (solução de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>), sobre a respectiva peneira sendo o material retido, após a dispersão, colocado em recipientes, levado a estufa a 105°C e determinada a massa. Esse procedimento foi realizado com a finalidade de descontar a massa existente de partículas individuais de tamanho equivalente aos agregados dessa classe; desta forma sendo excluídos cascalhos, grãos de areia e outras partículas existentes na fração, obtendo-se apenas a massa de agregados correspondente à respectiva classe de tamanho (peneira).

Os valores obtidos forma usados para cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP) pela seguinte equação matemática:

$$AGR_i = (mAGR_i / \sum AGR) \times 100$$

onde:

$AGR_i$  = percentagem de agregados da classe  $i$

$mAGR_i$  = massa de agregados da classe  $i$

$\sum AGR$  = massa total de agregados

e:

$$DMP = [ \sum (AGR_i \times d_i / \sum AGR) ]$$

onde:

$d_i$  = diâmetro médio da classe  $i$ , obtido por [(malha superior+malha inferior)/2]

Os resultados de DMP foram submetidos à análise de variância, empregando-se o teste de Tukey com  $P < 0,05$  para a separação das médias, utilizando o seguinte modelo estatístico para a análise da variância:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + A_j + \text{erro } a(i,j) + C_k + \text{erro } b(i,k) + AC_{jk} + \text{erro } c(i,j,k)$$

Onde: B = blocos ( $i = 1,2,3$ ); A = intensidades de pastejo ( $j = 1,2,3,4$ ); C = camadas amostradas ( $k = 1,2,3$ ).

Na análise de variância entre as épocas de amostragem, utilizou-se o mesmo modelo estatístico, alterando-se o fator "A", do modelo, denominado intensidades de pastejo, para épocas de amostragem ( $j = 1,2,3$ ), pois essa análise foi realizada comparando as médias dentro de cada intensidade de pastejo.

### 7.3. Resultados e Discussão

As variações na agregação do solo verificadas nas amostras coletadas em maio de 2007 (Tabela 5) podem ser consideradas como sendo função do tempo em que o sistema está sob integração agricultura-pecuária. Esse efeito acumulativo da presença dos animais se manifestou na camada de 0 a 5 cm (Tabela 5), em que no final do ciclo da soja (época em que as áreas estavam sem animais há seis meses), as áreas que foram submetidas ao pastejo obtiveram maiores proporções de agregados maiores que 4,76 mm, em relação à área sem pastejo. O mesmo pode ser observado nas camadas de 5 a 10 e 10 a 20 cm (Tabela 5), sendo isto devido ao efeito do pisoteio dos animais nas áreas pastejadas, além do efeito da maior quantidade de raízes (Conte, 2007) que, aliados à ausência de revolvimento, favoreceram o aumento da estabilidade desses agregados do solo.

O aumento dos agregados maiores que 4,76 mm foi associado à uma menor proporção de agregados nas classes menores que 1 mm (Tabela 5), o que evidencia que esses agregados menores se mantêm unidos, resultando em alta agregação (Conceição, 2006), principalmente nesse solo, que vem sendo conduzido em plantio direto desde 1991. Assim, os resíduos que são adicionados ao solo funcionam como núcleo orgânico de formação de agregados. Nessa visão, ao se iniciar o processo de decomposição dos resíduos orgânicos, a liberação de exsudatos microbianos estabiliza os agregados e, à medida que esse núcleo de matéria orgânica é decomposto, a produção de agentes ligantes diminui até que ocorra a ruptura das estruturas grandes em menores. Desta forma, com a adição constante desses resíduos ao solo, essas pequenas estruturas irão se rearranjar em estruturas maiores novamente, permanecendo estáveis até que a energia das ligações dos agentes que irão estabilizá-las seja menor que a energia dos agentes externos que atuam sobre os agregados (Dexter, 1988). Isso evidencia a grande importância de se manter fluxos constantes de energia e de matéria no sistema, visto que, com isso, se tem a manutenção dos agentes ligantes.

**TABELA 5.** Distribuição da massa de solo quanto ao diâmetro de agregados estáveis em água em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração agricultura-pecuária, submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto. Maio/2007.

Tamanho (mm)	Intensidades de pastejo			
	P-10 <sup>(1)</sup>	P-20	P-40	SP
----- % -----				
----- Camada 0 a 5 cm -----				
4,76 a 9,45	33,38	44,84	36,19	30,77
2 a 4,76	17,28	16,00	17,56	23,25
1 a 2	13,81	10,42	12,76	14,06
0,5 a 1	12,69	11,78	10,61	12,40
0,25 a 0,5	7,67	5,42	6,99	6,12
0,105 a 0,25	7,10	4,36	7,24	3,52
0,053 a 0,105	1,52	1,36	1,26	2,47
<0,053	6,56	5,82	7,39	7,41
----- Camada 5 a 10 cm -----				
4,76 a 9,45	31,51	43,52	36,23	27,36
2 a 4,76	26,61	21,99	19,63	28,78
1 a 2	16,52	12,81	11,54	19,15
0,5 a 1	9,19	7,47	9,76	8,56
0,25 a 0,5	4,82	3,72	8,00	4,25
0,105 a 0,25	4,18	3,16	5,99	3,42
0,053 a 0,105	1,09	1,06	1,53	0,98
<0,053	6,08	6,29	7,31	7,50
----- Camada 10 a 20 cm -----				
4,76 a 9,45	32,80	34,34	35,48	23,72
2 a 4,76	24,38	25,21	24,52	26,48
1 a 2	16,04	15,68	13,78	21,48
0,5 a 1	9,91	8,38	9,13	10,60
0,25 a 0,5	5,36	4,14	6,57	4,55
0,105 a 0,25	3,12	3,76	4,69	4,41
0,053 a 0,105	1,18	0,91	1,12	1,11
<0,053	7,21	7,58	4,72	7,64

<sup>(1)</sup> P-10, P-20, P-40 e SP representam as alturas de pastejo de 10 cm, 20 cm, 40 cm e sem pastejo, respectivamente.



O tempo em que os animais permanecem em pastejo influencia a distribuição de agregados no solo, uma vez que, na coleta do mês de setembro (Tabela 6), na camada de 0 a 5 cm, houve uma maior proporção de agregados maiores que 4,76 mm em todas as intensidades de pastejo, inclusive na sem pastejo, em relação à coleta de maio, devido ao desenvolvimento da pastagem, porém, com maior proporção nas áreas pastejadas, demonstrando o efeito do animal em aumentar a agregação do solo; a área P-20, com maior proporção de agregados grandes, apresentou cerca de 30% mais do que a área sem pastejo. O fato da área sem pastejo apresentar, em setembro, maior proporção de agregados grandes em relação à coleta de maio demonstra o importante efeito das gramíneas na agregação do solo, como proposto por Silva & Mielniczuck (1997).

Na camada de 5 a 10 cm (Tabela 6), seguiu-se a mesma tendência das áreas pastejadas promoverem maior agregação do solo em relação à não pastejada e também houve o efeito do sistema radicular das gramíneas em aumentar a agregação, com a área sem pastejo apresentando maior agregação em relação à coleta anterior. Na camada de 10 a 20 cm, houve um efeito não esperado na agregação, visto que, houve uma diminuição nos agregados maiores que 4,76 mm nas áreas P-10 e P-20, um pequeno aumento na P-40 e estabilidade no sem pastejo, com concomitantemente aumento na proporção de agregados entre 2 e 4,76 mm.

**TABELA 6.** Distribuição da massa de solo quanto ao diâmetro de agregados estáveis em água em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração agricultura-pecuária, submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto. Setembro/2007.

Tamanho (mm)	Intensidades de pastejo			
	P-10 <sup>(1)</sup>	P-20	P-40	SP
----- % -----				
----- Camada 0 a 5 cm -----				
4,76 a 9,45	40,87	47,77	41,16	34,59
2 a 4,76	20,80	19,09	18,62	23,64
1 a 2	11,94	11,31	12,77	16,36
0,5 a 1	8,89	7,48	10,46	9,76
0,25 a 0,5	5,78	3,97	6,38	4,27
0,105 a 0,25	4,62	3,18	4,89	2,56
0,053 a 0,105	1,25	1,44	0,74	1,17
<0,053	5,85	5,76	4,98	7,65
----- Camada 5 a 10 cm -----				
4,76 a 9,45	37,61	39,62	50,89	32,44
2 a 4,76	21,01	23,30	18,79	25,44
1 a 2	13,56	13,23	10,44	17,76
0,5 a 1	9,37	7,54	6,61	8,44
0,25 a 0,5	4,76	4,03	3,64	4,07
0,105 a 0,25	3,40	2,95	2,80	3,15
0,053 a 0,105	0,98	0,69	0,82	1,23
<0,053	9,31	8,64	6,02	7,48
----- Camada 10 a 20 cm -----				
4,76 a 9,45	23,58	27,37	38,64	24,36
2 a 4,76	29,50	25,57	25,43	25,49
1 a 2	20,34	19,64	15,60	21,47
0,5 a 1	10,00	11,38	7,63	11,15
0,25 a 0,5	5,20	4,83	3,39	5,35
0,105 a 0,25	3,80	3,28	2,86	3,51
0,053 a 0,105	1,06	0,91	0,81	1,09
<0,053	6,54	7,02	5,65	7,57

<sup>(1)</sup> P-10, P-20, P-40 e SP representam as alturas de pastejo de 10 cm, 20 cm, 40 cm e sem pastejo, respectivamente.

No mês de novembro (Tabela 7), houve diminuição na proporção de agregados maiores que 4,76 nas áreas de maior intensidade de pastejo (P-10) e sem pastejo e aumento nas áreas P-20 e P-40, em relação à coleta de setembro, na camada de 0 a 5 cm (Tabela 6). Estes dois fenômenos podem ser explicados de forma distinta, em que, na maior intensidade de pastejo, ocorre menor quantidade de carbono facilmente decomponível (Capítulo 3), uma vez que a adição pela parte aérea é baixa e parte desse carbono já foi utilizado pelos microrganismos e, conseqüentemente, ocorre menor ligação dos microagregados na formação de agregados maiores. Já, na área sem pastejo, o efeito das raízes das gramíneas começa a ser diminuído, visto que não há renovação da parte aérea, pois não há pastejo e, com isso, não há mais crescimento de raízes e, assim, a liberação de exsudatos também é menor, diminuindo a quantidade de agentes ligantes e com isso uma menor formação de agregados grandes. Nas áreas P-20 e P-40, ainda ocorre crescimento de raízes, pois ainda há pastejo, além do efeito da parte aérea em reduzir as variações de umidade do solo e o efeito do pisoteio do animal ocorre em uma proporção moderada, devido à redução do seu impacto pela parte aérea, favorecendo maior agregação do solo nessas áreas. Na camada de 5 a 10 cm (Tabela 7), houve aumento na proporção de agregados maiores que 4,76 em relação à coleta de setembro (Tabela 6) em todas as áreas, decorrente do pisoteio animal, da exsudação radicular e da atividade microbiana nas áreas pastejadas e da atividade microbiana e resíduos de raízes na área não pastejada, que irão favorecer a formação de agregados grandes. O mesmo comportamento observado na camada de 5 a 10 cm ocorreu também na camada de 10 a 20 cm (Tabela 7), demonstrando que há grande efeito de raízes das gramíneas (Salton, 2005) e do pisoteio animal no aumento da proporção de agregados grandes.

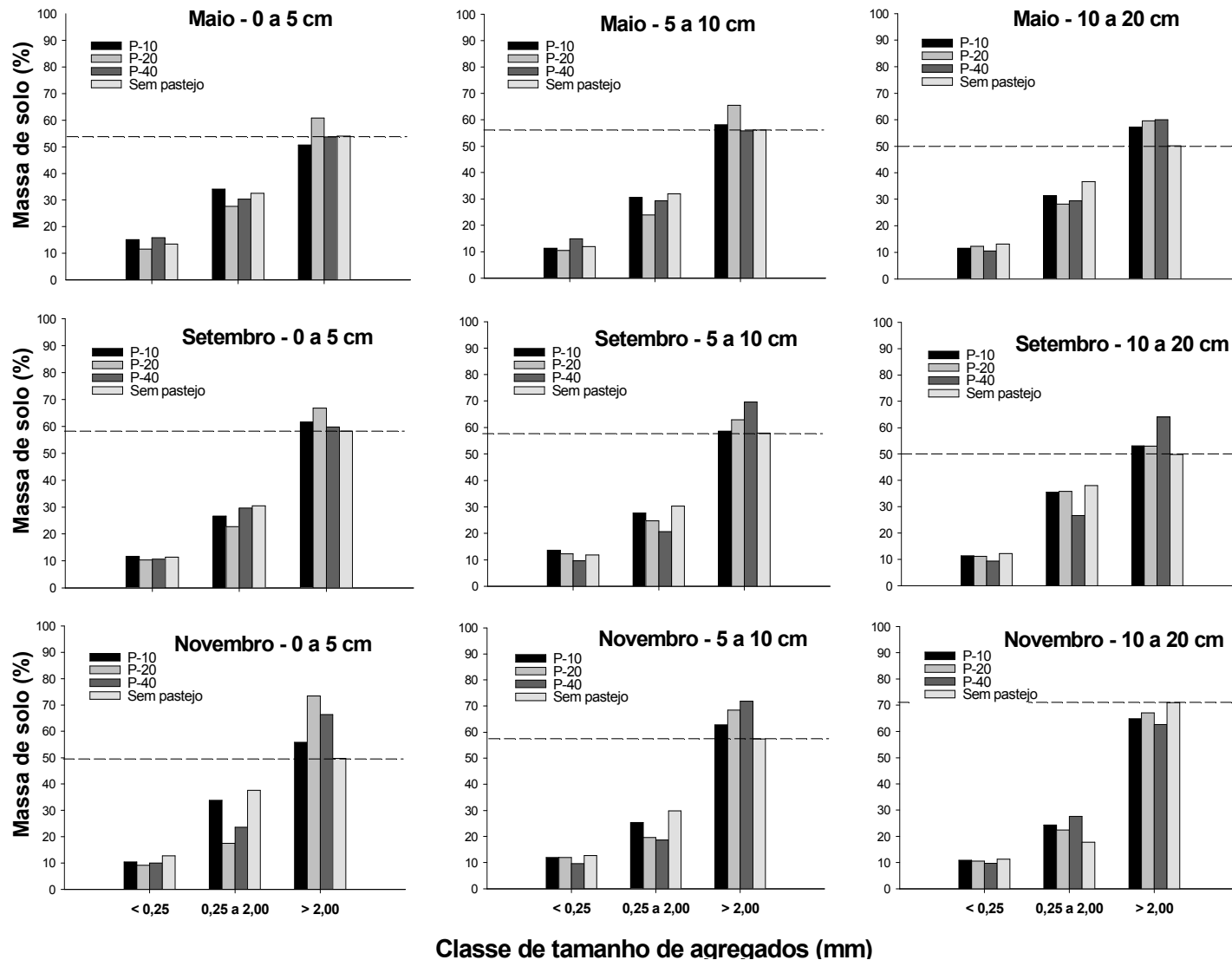
**TABELA 7.** Distribuição da massa de solo quanto ao diâmetro de agregados estáveis em água em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração agricultura-pecuária, submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto. Novembro/2007.

Tamanho (mm)	Intensidades de pastejo			
	P-10 <sup>(1)</sup>	P-20	P-40	SP
----- % -----				
----- Camada 0 a 5 cm -----				
4,76 a 9,45	31,35	57,20	44,11	25,92
2 a 4,76	24,47	16,25	22,25	23,77
1 a 2	17,54	7,40	12,88	19,48
0,5 a 1	10,67	5,88	6,60	12,29
0,25 a 0,5	5,61	4,17	4,13	5,83
0,105 a 0,25	3,85	2,83	3,86	3,84
0,053 a 0,105	1,25	1,17	1,33	1,30
<0,053	5,26	5,10	4,83	7,57
----- Camada 5 a 10 cm -----				
4,76 a 9,45	41,31	49,90	49,44	38,02
2 a 4,76	21,51	18,52	22,37	19,38
1 a 2	13,20	10,03	9,96	11,59
0,5 a 1	7,20	5,99	5,65	11,39
0,25 a 0,5	4,91	3,61	2,98	6,85
0,105 a 0,25	2,86	3,11	2,54	4,57
0,053 a 0,105	0,98	1,06	1,23	1,18
<0,053	8,03	7,78	5,83	7,01
----- Camada 10 a 20 cm -----				
4,76 a 9,45	42,89	40,67	35,29	49,26
2 a 4,76	21,93	26,35	27,31	21,74
1 a 2	12,48	12,50	15,22	10,30
0,5 a 1	7,92	6,25	8,25	5,11
0,25 a 0,5	3,90	3,64	4,15	2,28
0,105 a 0,25	3,88	3,53	3,27	3,24
0,053 a 0,105	0,90	0,77	0,98	1,04
<0,053	6,11	6,30	5,52	7,03

<sup>(1)</sup> P-10, P-20, P-40 e SP representam as alturas de pastejo de 10 cm, 20 cm, 40 cm e sem pastejo, respectivamente.

Com o intuito de auxiliar na discussão dos resultados da distribuição dos agregados, estes foram divididos em três classes de tamanho (Figura 29), quais sejam: < 0,25 mm, 0,25-2,00 mm e > 2,00 mm. Verificou-se nas três camadas na amostragem de maio, que todas as intensidades de pastejo apresentaram proporções maiores que 50% de agregados > 2,00 mm, em que a intensidade P-20, na camada de 0 a 5 e 5 a 10 cm, houve a maior proporção desta classe de agregados após a colheita da soja. Já, na camada de 10 a 20 cm, houve similaridade entre as intensidades de pastejo, sendo, no entanto, maiores que na área sem pastejo.

Na amostragem de setembro, foi observado maior proporção de agregados > 2,00 mm, tanto na camada de 0 a 5 como na de 5 a 10 cm, com concomitante diminuição na proporção de agregados 0,25 a 2,00 mm, demonstrando que, nessas camadas, ocorre uma hierarquia no processo de agregação do solo. No mês de novembro houve maior proporção de agregados > 2,00 mm em intensidades de pastejo moderadas e menor aumento em alta intensidades e na área sem pastejo na camada de 0 a 5 cm. Este menor efeito na agregação na área sem pastejo se deve ao fato de se ter aumentado a proporção de agregados da classe de 0,25 a 2,00 mm, demonstrando um possível efeito das raízes e sua exsudação na formação de agregados grandes. Verifica-se que, no final do ciclo do pastejo, o aumento da proporção de agregados grandes é relacionado com a diminuição de agregados < 0,25, diferentemente do que foi observado no mês de setembro.



**FIGURA 29.** Distribuição dos agregados estáveis em água em diferentes camadas e épocas de amostragem de um Latossolo Vermelho, agrupados em três classes de tamanho para as intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 representam 10, 20, 40 cm de altura do pasto, respectivamente.

A adição de resíduos vegetais nas áreas varia em função da intensidade de pastejo, sendo maior via sistema radicular (P-10), da parte aérea (sem pastejo) ou intermediário (P-20 e P-40) (Conte, 2007). Mesmo neste solo, rico em óxidos, o efeito de ligantes orgânicos na formação de agregados > 2,00 mm é bastante evidente, principalmente por estas áreas estarem sob pastagem por pelo menos seis meses. De acordo com Boeni (2007), o solo constituinte de estruturas granulares primárias, representado pelos microagregados (< 0,25 mm) e parte dos mesoagregados (0,25 a 2,00 mm), ao interagir com os agentes orgânicos de formação e estabilização, passam a constituir estruturas maiores e, possivelmente, mais ricas em carbono. A mesma autora, estudando um solo com as mesmas características do solo do presente estudo, cita que grande parte dos agregados com diâmetro até 2,00 mm são, provavelmente, resultantes da ação de ligantes minerais como partículas de argila e óxidos de ferro, que é cerca de 274 mg kg<sup>-1</sup>, no solo do presente estudo (Rheinheimer & Anghinoni, 2001). Segundo Tisdall & Oades (1982), a estabilidade de agregados com diâmetro superior a 2,00 mm é relacionada ao crescimento de raízes e hifas; desta forma, em sistemas de manejo que permitam o contínuo crescimento de raízes, como nas áreas pastejadas, acarretará em maior proporção de agregados na classe > 2,00 mm.

A maior proporção de agregados > 2,00 mm, verificado nas áreas em que há inserção de animais, pode ser mais evidenciada no diâmetro médio ponderado (DMP) (Tabela 8), visto que, nas camadas amostradas, a área sem pastejo apresentou, em geral, menores valores numéricos de DMP, embora não significativas. Na camada de 0 a 5 cm observa-se que a intensidade P-20 sofreu um aumento no DMP com o tempo de pastejo nessa camada de solo, não sendo observado o mesmo comportamento para as demais intensidades. Esta ausência de diferença entre as épocas no DMP pode ser devido ao efeito dissipador da cobertura vegetal sobre o pisoteio animal na camada mais superficial. Entretanto, ao se avaliar a camada de 5 a 10 cm o que se pode observar é que o efeito do pisoteio animal é mais evidente nesta camada, em que nas áreas pastejadas houve tendência de aumento no DMP com o tempo de pastejo, sendo isto bem evidente quando se avalia a média dos tratamentos, que mostra aumento de 3,61 para 4,12 mm no DMP, o mesmo ocorrendo para a camada de 10 a 20 cm. No entanto, nesta camada, na média, as

intensidades variaram menos e, com isso, pode-se inferir que, em maiores profundidades, o efeito do animal é reduzido, equivalendo-se ao sistema sem pastejo.

**TABELA 8.** Diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração agricultura-pecuária, submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto.

Épocas	Intensidades de pastejo				
	P-10 <sup>(1)</sup>	P-20	P-40	SP	Média
----- mm -----					
----- Camada 0 a 5 cm -----					
Maio	3,31 aA	4,02 bA	3,49 aA	3,32 aA	3,53
Setembro	3,90 aA	4,30 abA	3,87 aA	3,61 aA	3,92
Novembro	3,44 aB	4,81 aA	4,17 aAB	3,07 aB	3,87
Média	3,55	4,37	3,84	3,33	
----- Camada 5 a 10 cm -----					
Maio	3,49 aA	4,12 aA	3,54 bA	3,30 aA	3,61
Setembro	3,69 aA	3,89 aA	4,49 aA	3,53 aA	3,90
Novembro	3,95 aA	4,40 aA	4,49 aA	3,66 aA	4,12
Média	3,71	4,13	4,17	3,49	
----- Camada 10 a 20 cm -----					
Maio	3,51 abA	3,63 abA	3,67 aA	3,02 bA	3,45
Setembro	3,09 bA	3,22 bA	3,93 aA	3,03 bA	3,31
Novembro	4,07 aA	4,05 aA	3,75 aA	4,46 aA	4,08
Média	3,55	3,63	3,78	3,50	

Letras minúsculas, na coluna, comparam o efeito de épocas dentro de cada tratamento na mesma profundidade. Letras maiúsculas, na linha, comparam o efeito dos tratamentos dentro de cada época. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. P-10, P-20, P-40 e SP representam 10, 20, 40 cm de altura do pasto e sem pastejo, respectivamente.

Tanto na avaliação dos agregados em classes de tamanho ou o seu DMP, se observa que as intensidades P-20 e P-40, têm demonstrado serem os sistemas de manejo que melhor favorecem a formação de agregados grandes e, como consequência, podem ser os sistemas com maior proteção física da



matéria orgânica. Com relação ao DMP, não apenas um fator isolado pode estar contribuindo para a sua elevação, mas deve estar ocorrendo efeito combinado das várias substâncias agregantes responsáveis pela agregação. Entretanto, como citado por Boeni (2007), este comportamento sugere que as gramíneas podem exercer um efeito benéfico na formação de agregados grandes a partir da união de agregados menores. Mas não se pode deixar de citar que parte da estabilidade dos agregados em solos que tem predominância de minerais de argila do tipo 1:1 e óxidos, como no caso presente, é induzida pela capacidade ligante destes minerais e óxidos (Oades & Waters, 1991).

#### **7.4. Conclusões**

1) Sistemas de integração agricultura-pecuária submetidos a intensidades moderadas de pastejo em plantio direto promovem maior agregação do solo em relação a áreas submetidas ao pastejo intensivo ou não pastejadas, com aumento na classe de agregados maiores;

2) Nessas áreas, os efeitos, especialmente, do pisoteio animal na agregação do solo ocorrem predominantemente na camada de 0 a 10 cm;

3) Com o aumento do tempo em que os animais permanecem em tais áreas, ocorre aumento no diâmetro médio ponderado, tanto na camada de 5 a 10 cm como na de 10 a 20 cm;

4) De forma geral, o pastejo a 20 cm de altura da pastagem proporciona as melhores condições de agregação do solo, com elevada proporção de agregados maiores que 2 mm, além de maiores diâmetros médios ponderados.

## 8. CONCLUSÕES GERAIS

Sistemas de integração agricultura-pecuária em plantio direto no Rio Grande do Sul podem ser utilizados em intensidades moderadas de pastejo, visto que, nessas intensidades os ganhos na qualidade do solo são iguais e/ou superiores ao plantio direto sem a inserção dos animais.

Em intensidades moderadas de pastejo o sistema de integração agricultura pecuária promove aumentos nos estoques de carbono e de nitrogênio do solo; já, em intensidades altas de pastejo, ocorrem perdas nos teores desses nutrientes, tanto do teor total como das frações lábeis, que iniciam após o terceiro ano de condução do sistema. Em que, nas intensidades moderadas e sem pastejo, ocorre aumento nos estoques de carbono e de nitrogênio até a profundidade de 20 cm.

O carbono e o nitrogênio da fração particulada e o Índice de Manejo de Carbono demonstraram ser bons indicadores de qualidade do solo e devem ser utilizados com maior frequência, para se inferir sobre sistemas de manejo e sua influência na qualidade dos solos.

O fósforo é pouco influenciado pela inserção do animal, principalmente, em solo com alto teor de óxidos e matéria orgânica. A dinâmica desse nutriente no solo em sistema de integração agricultura-pecuária segue a mesma daquela em plantio direto sem animais, se acumulando inicialmente em frações lábeis e, preferencialmente, moderadamente lábeis, que são as frações mais sensíveis em indicar os efeitos do manejo do solo.

A biomassa microbiana e sua atividade não é influenciada pelas intensidades de pastejo no decorrer do ano, desde que, não ocorram condições que podem ser estressantes. Nessa situação, a biomassa microbiana sofre

perdas drásticas em sua população e aumento na sua atividade em altas intensidades de pastejo, promovendo maiores perdas de carbono para a atmosfera.

Intensidades moderadas de pastejo são benéficas para a agregação do solo, em nível superior ao promovido no sistema plantio direto sem a inserção do animal, até a camada de 10 cm.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AE, N.; ARIHARA, J.; OKADA, K.; YOSHIHARA, T.; JOHANSEN, C. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian subcontinent. **Science**, Washington, v. 248, p. 477-480, 1990.

ALBUQUERQUE, J.A. et al. Efeito da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p. 717-723, 2001.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576 p.

ALLISON, F.E. **Soil organic matter and its role in crop production**. Amsterdam, Elsevier, 1973. p.215-345.

AMADO, T.J. et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 189-197, 2001.

AMBROSI, I. et al. Lucratividade e riscos de sistemas de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 1213-1219, 2001.

ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, p. 393-395, 1993.

ANDERSON, T.H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.98, p.285-293, 2003.

ARAUJO, M. S. B. et al.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Efeito de 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, 1993.

BAIA FILHO, A.F. et al. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 221-226, 1983.

BAGGIO, C. Comportamento em pastejo de novilhos numa pastagem de inverno submetida a diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária. 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

BALOTA, E.L. *et al.* Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 641-649, 1998.

BAUDOIN, E.; BENIZRI, E.; GUCKERT, A. Impact of artificial root exudates on the bacterial community structure in bulk soil and maize rhizosphere. **Soil Biology and Biochemistry**, v.35, p.1183-1192, 2003.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. **Física de solos**. Barcelona, Union Tipográfica Editorial Hispano-Americana, 1973. 529p.

BAYER, C. Aumento do estoque de matéria orgânica de um Cambissolo Húmico catarinense sob plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.2, p. 88-96, 2003.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 677-683, 2004.

BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, p. 101-109, 2000.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. et al. Tillage and cropping system effects on soil humic acid characteristics as determined by electron spin resonance and fluorescence spectroscopies. **Geoderma**, Amsterdam, v.105, p.81-92, 2002a.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 105-112, 1997.

BAYER, C.; 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: Gênese, 1999. p. 09-26.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 599-607, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. et al. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.238, p.133-140, 2002b.

BEUTLER, A.N. et al. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionado com o manejo na região dos cerrados no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 129-136, 2001.

BIRCHAM, J.S. **Herbage growth and utilization under continuous stocking management**. 1981. Thesis (Ph.D), University of Edinburgh, Edinburgh, 1981.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a Carbon Management Index, for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v.46, p. 1459-1466, 1995.

BLANKENAU, K.; OLFS, H.-W.; KUHLMANN, H. Effect of microbial nitrogen immobilization during the growth period on the availability of nitrogen fertilizer for winter cereals. **Biology and Fertility of Soils**, v.32, p.157-165, 2000.

BODDEY, R. M. et al. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 389-403, 2004.

BOENI, M. **Proteção física da matéria orgânica em Latossolos sob sistemas com pastagens na região do Cerrado brasileiro**. 2007. 136 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S. Preventing phosphorus losses during perchloric acid digestion of sodium bicarbonate soil extracts. **Journal of Science and Food Agriculture**, London, v. 32, p. 671-674, 1981.

BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S. & JENKINSON, D.S. Phosphorus in the soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**., 16:169-175, 1984.

BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.19, p. 269-279, 1995.

BUCHANAN, M. & KING, L.D. Seasonal fluctuations in soil microbial biomass carbon, phosphorus and activity in no-till and reduced-chemical-input maize agroecosystems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 13, p. 211-217, 1992.

BURLE, M. L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.190, p.309-316, 1997

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 123-130, 1994.

CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 56, p. 777-783, 1992.

CAMPOS, B.C. et al. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p. 99-105, 1990.

CASSOL, L.C. **Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 157 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 133-142, 1990.

CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B.P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, p. 1-4, 1985.

CHAN, K.Y. Consequences of changes in particulate organic carbon in vertisols under pasture and cropping. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.1376-1382, 1997.

CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, Baltimore, v 84, p. 133-144, 1957.

CHAUHAN B. S. et al. Effect of labile inorganic phosphate status and organic carbon additions on the microbial uptake of phosphorus in soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 61, p. 373-385, 1981.

CHEN, Y.; LEE, P.; LEE, G.; MARIKO, S. & OIKAWA, T. Simulating root responses to grazing of a Mongolian grassland ecosystem. **Plant Ecology**, v. 183, p. 265-275, 2006.

CHENU, C.; STOTZKY, G. Interactions between microorganisms and soil particles. An overview. In: HUANG, P.M.; BOLLAG, J.M.; SENESI, N. (eds.) **Interactions between soil particles and microorganisms**. Weinheim: Wiley VCH Verlag, 2002. p. 3-39.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, New York, v.20, p. 1-90, 1992.



COCHRAN, V.L.; HORTON, K.A.; COLE, C.V. An estimation of microbial death rate and limitations of N or C during wheat straw decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.20, p.293-298, 1988.

CONAB. 2008. **Sexto levantamento de avaliação da safra 2007/08 - Março de 2008**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10/03/2008.

CONCEIÇÃO, P. C. **Proteção física da matéria orgânica do solo em solos do Sul do Brasil**. 2006. 145 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência de Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2006.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p. 777-788, 2005.

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.; GOH, K.M.; NEWMAN, R.H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by <sup>31</sup>P nuclear magnetic resonance analysis. **Journal of Soil Science**, Oxford, v 36, p.199-207, 1985.

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

CONTE, E. et al. Frações de fósforo acumulada em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p.893-900, 2003.

CONTE, O. **Atributos físicos de solo e demanda de tração em semeadura direta de soja, com diferentes pressões de pastejo em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2007. 91p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação á vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 425-432, 1999.

COSTA, F.S. et al. Aumento da matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 103-107, 2004.

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

CUBILLA, M.A. et al. Calibração visando à fertilização com fósforo para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1463-1474, 2007.

D'ANDRÉA, A.F. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no sul de Goiás**. 2001. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

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

DEXTER, A.R. Advances in characterization soil structure. **Soil Tillage Research**, v.11, p.199-238, 1988.

DICK, W. A.; TABATABAI, M. A. determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 6, p. 82-85, 1977.

DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2003. f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência de Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, p. 319-328, 2005.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H. et al. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.81, p.87-95, 2005a.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA-ASA, 1994. p.3-21. (Publication, 35)

EDWARDS, A.P. & BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science**, 18:64-73, 1967.

ELLERT, B.H. & BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 529-538, 1995.

ERNÝ, J.; BALÍK, J.; PAVLÍKOVÁ, D.; ZITKOVÁ, M.; SÝKORA, K. The influence of organic and mineral nitrogen fertilizers on microbial biomass nitrogen and extractable organic nitrogen in long term experiments with maize. **Plant, Soil and Environment**, v.49, p.560-564, 2003.

FABRÍCIO, A. C.; SALTON, J. C. **Alterações no teor de matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de produção**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1999. 4 p. (Comunicado Técnico, 7)

FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V.; FURTINI, A.E. & CURI, N. Formas de fósforo em solos de várzea e biodisponibilidade para o feijoeiro. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.37, p.373-383, 2002.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: **REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA**, 45., 2000, São Carlos, SP. *Programa e resumos...* São Carlos: Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, p. 255-258, 2000.

FLORES, J.P.C. **Atributos de solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo em plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. 2003. 74 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo,

Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FONTANELI, R.S. et al. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2129-2137, 2000.

FREIXO, A. A. et al. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 425-434, 2002.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; SANTOS, H. P. et al. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.64, p. 221-230, 2002.

FUJISAKA, S. et al. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: Estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 69, p. 17-26, 1998.

GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. *In*: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 227-244.

GAMA-RODRIGUES, E.F. da; GAMA-RODRIGUES, A.C. da; BARROS, N.F. da. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.361-365, 1997.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 245 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

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

GERALDES, A.P.A.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 55-60, 1995.

GIJSMAN, A.J. et al. Nutrient cycling through microbial biomass under rice-pasture rotations replacing native savanna. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 29, p. 1433-1441, 1997.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.34, p.93-102, 2002.

GREGORICH, E. G.; JANZEN, H. H. Storage of soil carbon in the light fraction and macroorganic matter. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Eds.) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Lewis, 1996. p. 167-190.

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

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

GUERRA, J.G.M.; FONSECA, M.C.C.; ALMEIDA, D.J.; DE-POLLI, H. & FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo em amostras de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, p.291-299, 1996.

HATCH, D.J.; LOVELL, R.D.; ANTIL, R.S.; JARVIS, S.C.; OWEN, P.M. Nitrogen mineralization and microbial activity in permanent pastures amended with nitrogen fertilizer or dung. **Biology and Fertility of Soils**, v.30, p.288-293, 2000.

HAYNES, R. J.; BEARE, M. H. Aggregation and organic matter storage in mesothermal humid soils. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (eds.) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Press, 1996. p.214-262

HAYNES, R.J. & WILLIAMS, P.H. Influence of stock camping behavior on the soil microbiological and biochemical properties of grazed pastoral soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 28:253-258, 1999.

HEDLEY, M.J. et al. Changes in inorganic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, p. 970-976, 1982.

HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, R.M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under conventional and no-tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, v.34, p.1563-1570, 2002.

HERNANI, L. C.; GUIMARÃES, J. B. R. Efeitos de sistemas de preparo do solo e rotação de culturas em atributos físicos de um Latossolo Roxo. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14. 1999. Temuco. **Resúmenes...** Temuco: Universidad de La Frontera: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 1999. 1 CD ROM.

JASTROW, J. D.; MILLER, R. M. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organomineral associations. In: LAL, R. et al. (Eds.) **Soil Processes and the Carbon Cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 207-223.

JENKINSON, D.S. The determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. In: WILSON, J.R. (ed.) **Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems**. Walingford: Commonwealth Agricultural Bureau International, 1988. p.368-386.

JENKINSON, D.S.; BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S. Measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.36, p.5-7, 2004.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. **Soil biochemistry**. New York: M. Dekker, 1981. v.5, p.415-471.

KARLEN, D.L. & STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BZEDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a**

**sustainable environment.** Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.53-72. (Special Publication, 35)

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In.: BLACK, C. A. (Ed). **Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

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.

KLEMEDTSSON, L.; BERG, P.; CLARHOLM, M.; SCHNURER, L. Microbial nitrogen transformation in the root environment of bailey. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.19, p.551-558, 1987.

LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental pollution**, Oxford, v. 116, p. 353-362, 2002.

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

LEFROY, R. D. B.; BLAIR, G. J.; STRONG, W. M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and <sup>13</sup>C natural isotope abundance. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.155/156, 399-402, 1993.

LEITE, L.F.C., MENDONÇA, E.S., MACHADO, P.L.O.A., FERNANDES-FILHO, E.I., NEVES, J.C.L. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-till and discplow systems using the Century model. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 183–195, 2004.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advanced in Soil Science**, 1:277-294, 1985.

LIMA, V.C. *et al.* Conteúdo de carbono e biomassa microbiana em agrossistemas: comparação entre métodos de preparo do solo. **Agrárias**, Curitiba. v. 13, n. 2, p. 297-302, 1994.

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

LOGINOW, W.; WISNIEWSKI, W.; GONET, S. et al. Fractionation of organic carbon based on susceptibility to oxidation. **Polish Journal of Soil Science**, Lublin, v.20, p. 47-52, 1987.

LOPES, M. L. T. **Sistema de integração lavoura-pecuária: desempenho de novilhos superprecoces e rendimento subsequente da cultura de soja**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. 124 p.

LOVATO, T. et al. Carbono e nitrogênio adicionados e sua relação com o rendimento do milho e estoques destes elementos no solo em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.175-187, 2004.

Mac DONALD, R.M. Extraction of microorganisms from soil. **Biology Agriculture Horticulture**, v. 3, p. 361-365, 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 de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, 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.; TIESSEN, 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.

MANHÃES, M.S. Eficiência no uso de fertilizantes em cana-de-açúcar no Brasil. **Brasil açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 90, p. 17-22, 1977.

MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Carbono, Carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 257-263, 1999.



MARTINAZZO, R.; RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONE, L.C. & KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 563-570, 2007

MATSUOKA, M. *et al.* Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 425-433, 2003.

MENDONÇA, E.S. & MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. 107 p.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M. *et al.* Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURTI, N. *et al.* (eds.) **Tópicos em Ciência do Solo**, n.3, Viçosa, 2003, p.209-248

MOORE, J.M.; KLOSE, S.; TABATABAI, M.A. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. **Biology and Fertility of Soils**, v.31, p.200-210, 2000.

MORAES, A. *et al.* Lavoura-pecuária em sistemas integrados na pequena propriedade. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 3., 1998, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco:CEFET-PR, 1998. 1 CD-ROM.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 727 p.

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

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

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 76, p. 319-337, 1984.

OADES, J. M.; WATERS, A. G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 29, p. 815-828, 1991.

OLSEN, S. R.; SOMMERS, L. E.; Phosphorus. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, Q. R. (Eds.) **Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties**. 2. ed. SSSA. Madison, 1982 p. 403-430.

PALADINI, F.L.S. & MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 135-140, 1991.

PATELLA, J.F. Influência de quinze anos de adubação NPK sobre o rendimento do trigo e algumas propriedades químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, p. 31-35, 1980.

PATRA, D.D.; BROOKES, P.C.; COLEMAN, K.; JENKINSON, D.S. Seasonal changes of soil microbial biomass in an arable and a grassland soil which have been under uniform management for many years. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.22, p.739-742, 1990.

PURI, G.; ASHMAN, M.R. Relationship between soil microbial biomass and gross N mineralisation. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.30, p.251-256, 1998.

QUALLS, R.G. & RICHARDSON, C. Forms of soil phosphorus along a nutrient enrichment gradient in the northern everglades. **Soil Science**, v. 160, p. 183-198, 1995.

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

RANGELEY, A.; KNOWLES, R. Nitrogen transformations in a scottish peat soil under laboratory conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.20, p.385-391, 1988.

READ, D.W.L. et al. Residual value of phosphorus fertilizer on chernozemic soil. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v. 53, p. 389-398, 1973.

REINERT, D.J. **Recuperação da agregação pelo uso de leguminosas e gramíneas em solo Podzólico vermelho amarelo**. Santa Maria - RS, 62 p. Dissertação (Professor Titular) - Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, 1993.

RESTLE, J., et al. **Avaliação da mistura de aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) sob pastejo submetida a níveis de nitrogênio**. Produção animal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 30, 1993, Rio de Janeiro. **Anais**. Viçosa: SBZ, 1993.

REZENDE, C. P. et al. Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the atlantic forest region of the south of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agro ecosystems**. Dordrecht, v. 54, p. 99-112, 1999.

REZENDE, L.A.; ASSIS, L.C. & NAHAS, E. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization in two soils amended with distillery yeast. **Biores. Technology**, v. 94, p. 159-167, 2004.

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

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

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

RHEINHEIMER, D.S. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. 210 p.

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 4, p. 713-721, 1998.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. 86 p.

ROSS, D. J.; SPEIR, T. W.; KETTLES, H. A. & MACKAY, A. D. Soil microbial biomass, C and N mineralization and enzyme activities in a hill pasture:

influence of season and slow-release P and sorption fertilizer. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 27, p. 1431-1443, 1995.

SÁ, J. C. de M. et al. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, p. 1486-1499, 2001.

SALTON, J. C. et al. Avaliação de atributos físicos e químicos do solo e rendimento de grãos na rotação lavoura-pastagem no Sistema Plantio Direto. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., 1999, Temuco. **Resúmenes...** Temuco: Universidad de La Frontera: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 1999. 1 CD ROM.

SALTON, J. C. et al. Pastoreio de aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 69, p. 32-34, 2002.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005..

SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J.C. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.98, p.255-262, 2003.

SELLES, F.; KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; ZENTNER, R. P.; FAGANELLO, A. Distribution of phosphorus fractions in Brazilian oxisol under different tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 44, n. 1, p. 23-34, 1997.

SHUNKE, R. M. Alternativas de manejo de pastagem para melhor aproveitamento do nitrogênio do solo. In.: MERCANTE, F. M. (Ed.) **Workshop nitrogênio na sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agropecuária**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. p.125-140. (Documentos, 26)

SILVA, I. F. ; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de planta na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p. 113-117, 1997a.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 313-319, 1997b.

SILVA, V. R. et al. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 191-199, 2000.

SILVAN, N.; VASANDER, H.; KARSISTO, M.; LAINE, J. Microbial immobilisation of added nitrogen and phosphorus in constructed wetland buffer. **Applied Soil Ecology**, v.24, p.143-149, 2003.

SIX, J. et al. Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 681-689, 2000b.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, p. 2099-2103, 2000.

SKJEMSTAD, J.O., P. CLARKE, J.A. TAYLOR, J.M. OADES, AND S.G. MCCLURE. The chemistry and nature of protected carbon in soil. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 34, p. 251-276, 1996.

SOUZA, E.D. et al., Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistemas de integração agricultura-pecuária submetidos a intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2008. (no prelo)

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. & BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, p. 323-329, 2006.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. & BUZETTI, S. Alterações nas frações do carbono em um neossolo quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, p. 305-311, 2006.

SRIVASTAVA, S.C.; SINGH, J.S. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: effects of alternate landuses and nutrient flux. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 23, p.117-124, 1991.

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

TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 111-119, 1991.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**, 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

TESTA, W. M. **Características químicas de um Podzólico Vermelho-escuro, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de culturas**. 1989. f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência de Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

TIAN, G.; KANG, B. T. & BRUSSARD, L. Biological Effects of Plant Residues with Contrasting Chemical Compositions under Humic Tropical Conditions - Decomposition and Nutrient Release. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 24, p. 1051-1060, 1992.

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

TIESSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Nutrients and soil organic matter dynamic under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environments**, Amsterdam, v. 38, p. 139-159, 1992.

TIQUIA, S.M.; LLOYD, J.; HERMS, D.A.; HOITINK, H.A.J.; MICHEL JUNIOR, F.C. Effects of mulching and fertilization on soil nutrients, microbial activity and rhizosphere bacterial community structure determined by analysis of TRFLPs of PCR-amplified 16S rRNA genes. **Applied Soil Ecology**, v.21, p.31-48, 2002.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Hagerstown, v. 33, p.141-163, 1982.

USEPA - *United States Environmental Protection Agency*. **Methods of chemical analysis for water and wastes**. Cincinnati: USEPA, 1971.

VANCE, G. F.; STEVENSON, F. J.; SIKORA, F. J. Environment chemistry of aluminum-organic complexes. In: SPOSITO, G. (ed.) **The environment chemistry of aluminium**. Boca Raton: Lewis, 1995. p.169-220

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em solo sob diferentes sistemas de manejo, estimado por métodos de fumigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.411-417, 1998.

VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S. de. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v.35, p.76-83, 2005.

VEZZANI, F. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VIEIRA, F.C.B. **Estoques e labilidade da matéria orgânica e acidificação de um Argissolo sob plantio direto afetado por sistemas de cultura e adubação nitrogenada**. 2007. 123 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

WAGAR, B.J.; STEWART, J.W.B. & MOIR, J.O. Changes with time in the form and availability of residual fertilizer phosphorus on Chernozemic soils. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v. 66, p. 105-119, 1986.

WALKER, T. W.; SYERS, J. K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, Netherlands, v 15, p. 1-19, 1976.

WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors with influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biology Review**, Cambridge, v.67, p.321-358, 1992.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.891-900, 2004.

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F., OLIVEIRA, T.S. & MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 247-258, 2006.

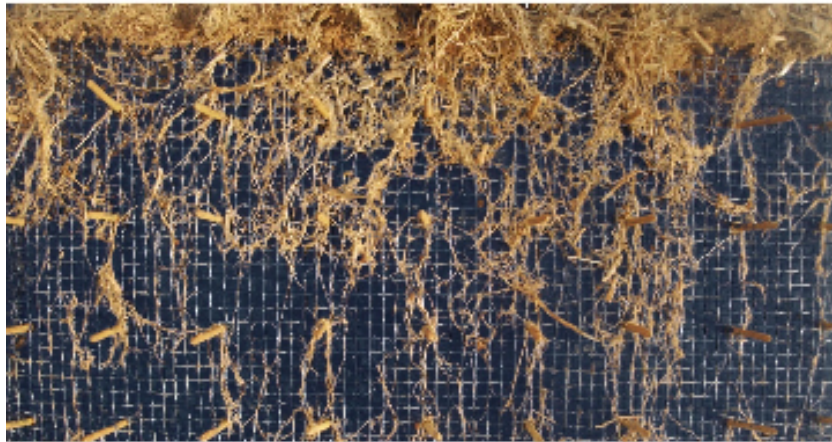
ZANATTA, J. A. **Estoques e labilidade do carbono em frações da matéria orgânica de um Argissolo afetados por sistemas de manejo de solo**. Dissertação de Mestrado, PPG Ciências do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 2006.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.17-161, 1997.

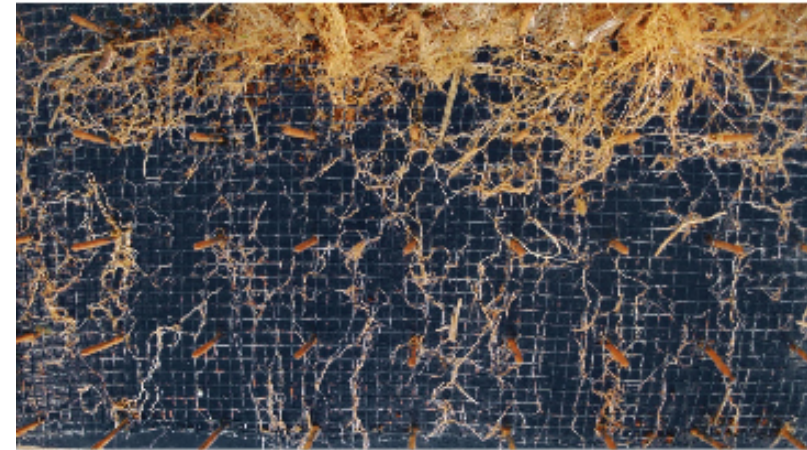


## **10. APÊNDICES**

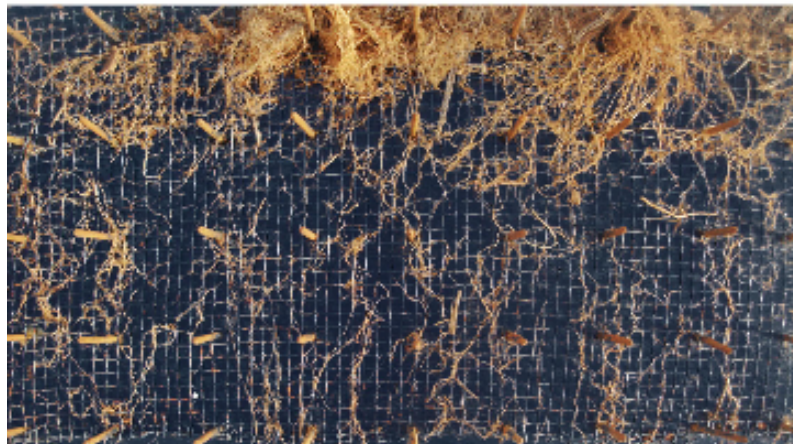
**APÊNDICE 1.** Placas com distribuição de raízes de aveia preta e azevém no perfil do solo, entre 0 e 20 cm, no mês de setembro em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária submetido a intensidades de pastejo.



10 cm



20 cm



40 cm



SP

**APÊNDICE 2.** Teores de carbono orgânico total e nas frações físicas da matéria orgânica nas camadas amostradas em diferentes anos em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária. P-10, P-20 e P-40 representam a altura de manejo do pasto de 10, 20 e 40 cm, respectivamente, e SP a área sem pastejo.

Trat.	Ano	Rep.	Prof.	Carbono orgânico		
				Total	Particulado	Assoc. Minerais
				-----g kg <sup>-1</sup> -----		
P-10	2001	1	0 - 2,5	29,2	6,8	22,4
P-10		2		29,2	6,8	22,4
P-10		3		29,2	6,8	22,4
P-10		1	2,5 - 5,0	23,4	3,0	20,4
P-10	2	23,4		3,0	20,4	
P-10	3	23,4		3,0	20,4	
P-10		1	5,0 - 7,5	20,3	1,6	18,7
P-10	2	20,3		1,6	18,7	
P-10	3	20,3		1,6	18,7	
P-10		1	7,5 - 10,0	18,4	1,1	17,2
P-10	2	18,4		1,1	17,2	
P-10	3	18,4		1,1	17,2	
P-10		1	10,0 - 15,0	16,2	0,7	15,5
P-10	2	16,2		0,7	15,5	
P-10	3	16,2		0,7	15,5	
P-10		1	15,0 - 20,0	15,1	0,5	14,6
P-10	2	15,1		0,5	14,6	
P-10	3	15,1		0,5	14,6	
P-20		1	0 - 2,5	29,2	6,8	22,4
P-20	2	29,2		6,8	22,4	
P-20	3	29,2		6,8	22,4	
P-20		1	2,5 - 5,0	23,4	3,0	20,4
P-20	2	23,4		3,0	20,4	
P-20	3	23,4		3,0	20,4	
P-20		1	5,0 - 7,5	20,3	1,6	18,7
P-20	2	20,3		1,6	18,7	
P-20	3	20,3		1,6	18,7	
P-20		1	7,5 - 10,0	18,4	1,1	17,2
P-20	2	18,4		1,1	17,2	
P-20	3	18,4		1,1	17,2	
P-20		1	10,0 - 15,0	16,2	0,7	15,5
P-20	2	16,2		0,7	15,5	
P-20	3	16,2		0,7	15,5	
P-20		1	15,0 - 20,0	15,1	0,5	14,6
P-20	2	15,1		0,5	14,6	
P-20	3	15,1		0,5	14,6	
P-40		1	0 - 2,5	29,2	6,8	22,4
P-40	2	29,2		6,8	22,4	
P-40	3	29,2		6,8	22,4	
P-40		1	2,5 - 5,0	23,4	3,0	20,4
P-40	2	23,4		3,0	20,4	

Continua...

...continuação.

P-40		3		23,4	3,0	20,4
P-40		1	5,0 - 7,5	20,3	1,6	18,7
P-40		2		20,3	1,6	18,7
P-40		3		20,3	1,6	18,7
P-40		1	7,5 - 10,0	18,4	1,1	17,2
P-40		2		18,4	1,1	17,2
P-40		3		18,4	1,1	17,2
P-40		1	10,0 - 15,0	16,2	0,7	15,5
P-40		2		16,2	0,7	15,5
P-40		3		16,2	0,7	15,5
P-40		1	15,0 - 20,0	15,1	0,5	14,6
P-40		2		15,1	0,5	14,6
P-40		3		15,1	0,5	14,6
SP		1	0 - 2,5	29,2	6,8	22,4
SP		2		29,2	6,8	22,4
SP		3		29,2	6,8	22,4
SP		1	2,5 - 5,0	23,4	3,0	20,4
SP		2		23,4	3,0	20,4
SP		3		23,4	3,0	20,4
SP		1	5,0 - 7,5	20,3	1,6	18,7
SP		2		20,3	1,6	18,7
SP		3		20,3	1,6	18,7
SP		1	7,5 - 10,0	18,4	1,1	17,2
SP		2		18,4	1,1	17,2
SP		3		18,4	1,1	17,2
SP		1	10,0 - 15,0	16,2	0,7	15,5
SP		2		16,2	0,7	15,5
SP		3		16,2	0,7	15,5
SP		1	15,0 - 20,0	15,1	0,5	14,6
SP		2		15,1	0,5	14,6
SP		3		15,1	0,5	14,6
P-10	2004	1	0 - 2,5	26,0	5,3	20,7
P-10		2		33,9	11,7	22,2
P-10		3		32,6	10,4	22,2
P-10		1	2,5 - 5,0	25,9	2,7	23,2
P-10		2		25,9	6,3	19,6
P-10		3		25,9	4,6	21,3
P-10		1	5,0 - 7,5	22,8	1,5	21,3
P-10		2		22,8	3,2	19,6
P-10		3		22,8	2,1	20,8
P-10		1	7,5 - 10,0	18,0	1,1	17,0
P-10		2		18,0	1,9	16,2
P-10		3		18,0	1,4	16,7
P-10		1	10,0 - 15,0	18,2	1,0	17,2
P-10		2		18,7	1,0	17,7
P-10		3		18,5	0,8	17,6
P-10		1	15,0 - 20,0	16,7	0,6	16,2
P-10		2		17,0	0,5	16,5
P-10		3		15,6	0,6	15,0
P-20		1	0 - 2,5	30,5	6,3	24,2
P-20		2		30,5	9,0	21,5
P-20		3		35,3	10,8	24,5
P-20		1	2,5 - 5,0	23,8	3,0	20,8

Continua...

...continuação.

P-20		2		25,9	3,6	22,3
P-20		3		29,0	5,1	23,8
P-20		1	5,0 - 7,5	22,4	1,4	21,0
P-20		2		21,5	1,9	19,6
P-20		3		23,3	2,7	20,5
P-20		1	7,5 - 10,0	17,9	1,2	16,6
P-20		2		20,0	1,0	19,0
P-20		3		18,0	1,2	16,8
P-20		1	10,0 - 15,0	17,3	1,2	16,1
P-20		2		17,6	0,7	16,9
P-20		3		16,7	0,9	15,9
P-20		1	15,0 - 20,0	16,3	0,5	15,8
P-20		2		16,3	0,4	15,8
P-20		3		15,4	0,5	14,9
P-40		1	0 - 2,5	30,6	5,4	25,1
P-40		2		29,5	5,5	24,1
P-40		3		31,7	8,1	23,5
P-40		1	2,5 - 5,0	24,2	2,5	21,7
P-40		2		23,6	2,7	20,9
P-40		3		23,8	3,6	20,3
P-40		1	5,0 - 7,5	20,8	1,4	19,4
P-40		2		20,9	1,9	19,0
P-40		3		21,0	1,8	19,3
P-40		1	7,5 - 10,0	20,3	1,0	19,3
P-40		2		19,4	1,1	18,2
P-40		3		19,4	1,1	18,3
P-40		1	10,0 - 15,0	18,5	0,8	17,7
P-40		2		16,4	0,7	15,7
P-40		3		17,6	0,7	16,9
P-40		1	15,0 - 20,0	16,8	0,6	16,2
P-40		2		15,3	0,6	14,7
P-40		3		16,1	0,6	15,6
SP		1	0 - 2,5	23,5	10,8	12,7
SP		2		27,0	7,9	19,0
SP		3		29,1	8,8	20,2
SP		1	2,5 - 5,0	23,5	7,0	16,5
SP		2		21,4	4,4	17,0
SP		3		28,0	6,1	22,0
SP		1	5,0 - 7,5	21,3	3,4	18,0
SP		2		21,2	2,8	18,3
SP		3		24,6	2,4	22,2
SP		1	7,5 - 10,0	19,4	1,4	18,0
SP		2		18,4	1,6	16,8
SP		3		20,4	1,3	19,2
SP		1	10,0 - 15,0	17,1	1,0	16,0
SP		2		17,1	1,1	15,9
SP		3		17,1	1,1	16,0
SP		1	15,0 - 20,0	17,5	0,8	16,7
SP		2		17,5	0,9	16,5
SP		3		17,5	0,7	16,7
P-10	2007	1	0 - 2,5	28,1	6,0	22,1
P-10		2		33,1	8,7	24,4
P-10		3		28,0	6,5	21,4

Continua...

...continuação.

P-10	1	2,5 - 5,0	28,3	1,2	27,1
P-10	2		26,3	3,8	22,5
P-10	3		23,5	3,0	20,5
P-10	1	5,0 - 7,5	23,9	3,1	20,8
P-10	2		21,9	1,8	20,1
P-10	3		20,8	1,6	19,2
P-10	1	7,5 - 10,0	19,9	1,2	18,6
P-10	2		19,0	1,1	17,9
P-10	3		18,5	1,0	17,5
P-10	1	10,0 - 15,0	18,9	0,8	18,1
P-10	2		16,9	0,6	16,3
P-10	3		16,2	0,7	15,5
P-10	1	15,0 - 20,0	18,0	0,7	17,3
P-10	2		15,2	0,4	14,8
P-10	3		15,4	0,5	14,9
P-20	1	0 - 2,5	31,8	6,9	24,9
P-20	2		35,3	12,1	23,2
P-20	3		35,3	7,3	28,0
P-20	1	2,5 - 5,0	24,2	2,7	21,5
P-20	2		30,9	6,5	24,4
P-20	3		27,6	3,7	23,9
P-20	1	5,0 - 7,5	24,3	4,6	19,7
P-20	2		24,3	0,7	23,6
P-20	3		24,3	1,8	22,5
P-20	1	7,5 - 10,0	21,3	0,8	20,5
P-20	2		24,2	1,4	22,8
P-20	3		22,7	1,0	21,7
P-20	1	10,0 - 15,0	19,0	0,6	18,4
P-20	2		19,0	0,8	18,2
P-20	3		17,6	0,6	17,0
P-20	1	15,0 - 20,0	16,9	0,4	16,5
P-20	2		16,9	0,6	16,3
P-20	3		15,6	0,6	15,0
P-40	1	0 - 2,5	34,7	10,5	24,2
P-40	2		30,9	7,7	23,2
P-40	3		33,1	10,3	22,7
P-40	1	2,5 - 5,0	28,5	4,1	24,4
P-40	2		28,1	2,3	25,8
P-40	3		27,7	5,5	22,2
P-40	1	5,0 - 7,5	24,3	2,0	22,3
P-40	2		23,1	1,1	22,1
P-40	3		21,9	2,2	19,7
P-40	1	7,5 - 10,0	21,8	1,6	20,3
P-40	2		21,8	0,4	21,4
P-40	3		19,9	1,1	18,8
P-40	1	10,0 - 15,0	19,9	1,1	18,8
P-40	2		18,9	0,6	18,3
P-40	3		17,9	0,5	17,4
P-40	1	15,0 - 20,0	17,3	0,6	16,7
P-40	2		15,7	2,3	13,4
P-40	3		16,5	0,4	16,0
SP	1	0 - 2,5	32,6	4,3	28,3
SP	2		34,0	8,1	25,9

Continua...

...continuação.

SP	3		31,3	6,3	25,0
SP	1	2,5 - 5,0	28,3	1,7	26,6
SP	2		27,7	3,6	24,0
SP	3		29,7	5,2	24,5
SP	1	5,0 - 7,5	26,8	1,1	25,7
SP	2		23,7	1,5	22,2
SP	3		24,2	2,5	21,7
SP	1	7,5 - 10,0	23,3	0,9	22,4
SP	2		19,7	1,1	18,6
SP	3		21,5	1,4	20,1
SP	1	10,0 - 15,0	21,2	0,7	20,6
SP	2		17,3	0,7	16,7
SP	3		19,7	0,7	19,0
SP	1	15,0 - 20,0	18,1	0,5	17,6
SP	2		18,1	0,5	17,6
SP	3		17,5	1,2	16,3

**APÊNDICE 3.** Teores de nitrogênio totais e nas frações físicas da matéria orgânica nas camadas amostradas em diferentes anos em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária. P-10, P-20 e P-40 representam a altura de manejo do pasto de 10, 20 e 40 cm, respectivamente, e SP a área sem pastejo.

Trat.	Ano	Rep.	Prof.	Nitrogênio		
				Total	Particulado	Assoc. Minerais
				-----g kg <sup>-1</sup> -----		
P-10	2001	1	0 - 2,5	2,48	0,58	1,89
P-10		2		2,48	0,58	1,89
P-10		3		2,48	0,58	1,89
P-10		1	2,5 - 5,0	2,15	0,32	1,84
P-10	2	2,15		0,32	1,84	
P-10	3	2,15		0,32	1,84	
P-10		1	5,0 - 7,5	1,83	0,14	1,69
P-10	2	1,83		0,14	1,69	
P-10	3	1,83		0,14	1,69	
P-10		1	7,5 - 10,0	1,65	0,07	1,58
P-10	2	1,65		0,07	1,58	
P-10	3	1,65		0,07	1,58	
P-10		1	10,0 - 15,0	1,38	0,04	1,33
P-10	2	1,38		0,04	1,33	
P-10	3	1,38		0,04	1,33	
P-10		1	15,0 - 20,0	1,25	0,02	1,23
P-10	2	1,25		0,02	1,23	
P-10	3	1,25		0,02	1,23	
P-20		1	0 - 2,5	2,48	0,58	1,89
P-20	2	2,48		0,58	1,89	
P-20	3	2,48		0,58	1,89	
P-20		1	2,5 - 5,0	2,15	0,32	1,84
P-20	2	2,15		0,32	1,84	
P-20	3	2,15		0,32	1,84	
P-20		1	5,0 - 7,5	1,83	0,14	1,69
P-20	2	1,83		0,14	1,69	
P-20	3	1,83		0,14	1,69	
P-20		1	7,5 - 10,0	1,65	0,07	1,58
P-20	2	1,65		0,07	1,58	
P-20	3	1,65		0,07	1,58	
P-20		1	10,0 - 15,0	1,38	0,04	1,33
P-20	2	1,38		0,04	1,33	
P-20	3	1,38		0,04	1,33	
P-20		1	15,0 - 20,0	1,25	0,02	1,23
P-20	2	1,25		0,02	1,23	
P-20	3	1,25		0,02	1,23	
P-40		1	0 - 2,5	2,48	0,58	1,89
P-40	2	2,48		0,58	1,89	
P-40	3	2,48		0,58	1,89	
P-40		1	2,5 - 5,0	2,15	0,32	1,84
P-40	2	2,15		0,32	1,84	

Continua...



...continuação.

P-40		3		2,15	0,32	1,84
P-40		1	5,0 - 7,5	1,83	0,14	1,69
P-40		2		1,83	0,14	1,69
P-40		3		1,83	0,14	1,69
P-40		1	7,5 - 10,0	1,65	0,07	1,58
P-40		2		1,65	0,07	1,58
P-40		3		1,65	0,07	1,58
P-40		1	10,0 - 15,0	1,38	0,04	1,33
P-40		2		1,38	0,04	1,33
P-40		3		1,38	0,04	1,33
P-40		1	15,0 - 20,0	1,25	0,02	1,23
P-40		2		1,25	0,02	1,23
P-40		3		1,25	0,02	1,23
SP		1	0 - 2,5	2,48	0,58	1,89
SP		2		2,48	0,58	1,89
SP		3		2,48	0,58	1,89
SP		1	2,5 - 5,0	2,15	0,32	1,84
SP		2		2,15	0,32	1,84
SP		3		2,15	0,32	1,84
SP		1	5,0 - 7,5	1,83	0,14	1,69
SP		2		1,83	0,14	1,69
SP		3		1,83	0,14	1,69
SP		1	7,5 - 10,0	1,65	0,07	1,58
SP		2		1,65	0,07	1,58
SP		3		1,65	0,07	1,58
SP		1	10,0 - 15,0	1,38	0,04	1,33
SP		2		1,38	0,04	1,33
SP		3		1,38	0,04	1,33
SP		1	15,0 - 20,0	1,25	0,02	1,23
SP		2		1,25	0,02	1,23
SP		3		1,25	0,02	1,23
P-10	2004	1	0 - 2,5	2,82	0,33	2,49
P-10		2		2,92	0,90	2,02
P-10		3		2,72	0,71	2,01
P-10		1	2,5 - 5,0	2,03	0,45	1,58
P-10		2		2,58	0,41	2,17
P-10		3		2,42	0,37	2,05
P-10		1	5,0 - 7,5	2,15	0,25	1,90
P-10		2		2,24	0,25	1,98
P-10		3		2,07	0,20	1,87
P-10		1	7,5 - 10,0	1,69	0,08	1,60
P-10		2		2,04	0,09	1,95
P-10		3		1,80	0,10	1,70
P-10		1	10,0 - 15,0	1,59	0,06	1,53
P-10		2		1,80	0,08	1,72
P-10		3		1,66	0,06	1,59
P-10		1	15,0 - 20,0	1,46	0,04	1,42
P-10		2		1,42	0,03	1,39
P-10		3		1,35	0,02	1,32
P-20		1	0 - 2,5	2,70	0,43	2,27
P-20		2		2,68	0,58	2,09
P-20		3		2,72	0,75	1,97
P-20		1	2,5 - 5,0	2,31	0,19	2,12

Continua...

...continuação.

P-20		2		2,37	0,31	2,05
P-20		3		2,25	0,36	1,90
P-20		1	5,0 - 7,5	2,11	0,16	1,95
P-20		2		2,04	0,16	1,88
P-20		3		2,18	0,21	1,97
P-20		1	7,5 - 10,0	1,72	0,08	1,64
P-20		2		1,80	0,08	1,72
P-20		3		1,64	0,09	1,56
P-20		1	10,0 - 15,0	1,56	0,05	1,51
P-20		2		1,53	0,04	1,49
P-20		3		1,54	0,06	1,48
P-20		1	15,0 - 20,0	1,33	0,02	1,31
P-20		2		1,39	0,03	1,36
P-20		3		1,33	0,04	1,29
P-40		1	0 - 2,5	2,44	0,61	1,83
P-40		2		2,44	0,61	1,83
P-40		3		2,44	0,61	1,83
P-40		1	2,5 - 5,0	2,41	0,35	2,06
P-40		2		2,28	0,35	1,93
P-40		3		2,15	0,40	1,75
P-40		1	5,0 - 7,5	2,10	0,12	1,98
P-40		2		1,94	0,15	1,79
P-40		3		2,03	0,17	1,86
P-40		1	7,5 - 10,0	1,80	0,08	1,72
P-40		2		1,57	0,10	1,47
P-40		3		1,74	0,13	1,62
P-40		1	10,0 - 15,0	1,59	0,04	1,54
P-40		2		1,43	0,05	1,38
P-40		3		1,46	0,05	1,41
P-40		1	15,0 - 20,0	1,36	0,04	1,32
P-40		2		1,33	0,03	1,30
P-40		3		1,43	0,03	1,40
SP		1	0 - 2,5	2,50	0,66	1,84
SP		2		2,34	0,60	1,74
SP		3		2,66	0,60	2,06
SP		1	2,5 - 5,0	2,35	0,35	2,00
SP		2		2,17	0,35	1,82
SP		3		2,54	0,40	2,13
SP		1	5,0 - 7,5	2,00	0,17	1,83
SP		2		2,00	0,13	1,87
SP		3		2,14	0,17	1,97
SP		1	7,5 - 10,0	1,15	0,09	1,06
SP		2		1,86	0,07	1,79
SP		3		1,77	0,10	1,67
SP		1	10,0 - 15,0	1,54	0,04	1,50
SP		2		1,58	0,04	1,53
SP		3		1,51	0,05	1,46
SP		1	15,0 - 20,0	1,42	0,02	1,40
SP		2		1,42	0,03	1,39
SP		3		1,42	0,03	1,39
P-10	2007	1	0 - 2,5	2,42	0,44	1,98
P-10		2		2,89	0,66	2,22
P-10		3		2,39	0,50	1,89

Continua...

...continuação.

P-10	1	2,5 - 5,0	2,45	0,29	2,16
P-10	2		2,35	0,29	2,06
P-10	3		2,18	0,24	1,94
P-10	1	5,0 - 7,5	2,07	0,22	1,85
P-10	2		2,01	0,15	1,86
P-10	3		1,80	0,15	1,65
P-10	1	7,5 - 10,0	1,79	0,10	1,69
P-10	2		1,65	0,07	1,57
P-10	3		1,51	0,07	1,44
P-10	1	10,0 - 15,0	1,54	0,07	1,47
P-10	2		1,51	0,08	1,43
P-10	3		1,53	0,10	1,43
P-10	1	15,0 - 20,0	1,39	0,04	1,35
P-10	2		1,37	0,03	1,33
P-10	3		1,20	0,05	1,15
P-20	1	0 - 2,5	2,82	0,48	2,34
P-20	2		3,08	0,88	2,21
P-20	3		2,95	0,88	2,07
P-20	1	2,5 - 5,0	2,37	0,19	2,18
P-20	2		2,63	0,48	2,16
P-20	3		2,37	0,48	1,89
P-20	1	5,0 - 7,5	2,15	0,33	1,82
P-20	2		2,15	0,24	1,91
P-20	3		2,15	0,24	1,91
P-20	1	7,5 - 10,0	1,74	0,09	1,65
P-20	2		1,97	0,11	1,86
P-20	3		1,86	0,10	1,76
P-20	1	10,0 - 15,0	1,69	0,05	1,64
P-20	2		1,69	0,05	1,64
P-20	3		1,60	0,05	1,55
P-20	1	15,0 - 20,0	1,35	0,03	1,32
P-20	2		1,45	0,03	1,42
P-20	3		1,40	0,03	1,37
P-40	1	0 - 2,5	2,93	0,66	2,27
P-40	2		2,59	0,70	1,89
P-40	3		2,65	0,74	1,91
P-40	1	2,5 - 5,0	2,48	0,39	2,09
P-40	2		2,51	0,39	2,12
P-40	3		2,54	0,48	2,06
P-40	1	5,0 - 7,5	2,18	0,21	1,97
P-40	2		2,08	0,07	2,01
P-40	3		2,13	0,18	1,95
P-40	1	7,5 - 10,0	1,82	0,13	1,68
P-40	2		1,68	0,13	1,55
P-40	3		1,75	0,11	1,64
P-40	1	10,0 - 15,0	1,63	0,07	1,57
P-40	2		1,49	0,05	1,44
P-40	3		1,56	0,06	1,50
P-40	1	15,0 - 20,0	1,42	0,04	1,39
P-40	2		1,42	0,04	1,38
P-40	3		1,42	0,04	1,38
SP	1	0 - 2,5	2,79	0,74	2,05
SP	2		2,90	0,67	2,23

Continua...

...continuação.

SP	3		2,68	0,61	2,07
SP	1	2,5 - 5,0	2,81	0,54	2,26
SP	2		2,42	0,50	1,92
SP	3		2,61	0,45	2,15
SP	1	5,0 - 7,5	2,37	0,20	2,17
SP	2		2,24	0,21	2,03
SP	3		2,27	0,20	2,07
SP	1	7,5 - 10,0	1,94	0,12	1,82
SP	2		1,88	0,13	1,76
SP	3		1,94	0,11	1,83
SP	1	10,0 - 15,0	1,90	0,09	1,81
SP	2		1,71	0,08	1,64
SP	3		1,62	0,09	1,52
SP	1	15,0 - 20,0	1,57	0,05	1,52
SP	2		1,42	0,06	1,36
SP	3		1,50	0,05	1,45

**APÊNDICE 4.** Teores de fósforo inorgânico na fração resina do fracionamento no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo.

Profundidade	Intensidades de pastejo			
	10 cm	20 cm	40 cm	Sem pastejo
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
<b>2001</b>				
0 - 2,5	41,6 <sup>ns</sup> B	41,6 B	41,6 B	41,6 B
2,5 - 5,0	41,6 B	41,6 B	41,6 B	41,6 B
5,0 - 7,5	40,3 B	40,3 A	40,3 B	40,3 B
7,5 - 10,0	35,0 B	35,0 A	35,0 B	35,0 B
10,0 - 15,0	33,5 A	33,5 A	33,5 A	33,5 B
15,0 - 20,0	32,8 A	32,8 A	32,8 A	32,8 A
<b>2004</b>				
0 - 2,5	59,8 <sup>ns</sup> AB	67,3 AB	78,5 AB	63,7 AB
2,5 - 5,0	72,8 AB	54,3 AB	89,3 AB	83,4 AB
5,0 - 7,5	80,7 AB	49,9 A	86,9 AB	84,0 AB
7,5 - 10,0	61,4 AB	43,0 A	59,5 AB	82,2 AB
10,0 - 15,0	45,8 A	44,3 A	35,6 A	72,2 AB
15,0 - 20,0	36,3 A	32,6 A	29,1 A	45,9 A
<b>2007</b>				
0 - 2,5	72,9 aA	82,1 aA	95,7 aA	77,7 aA
2,5 - 5,0	91,0 aA	67,9 aA	111,6 aA	104,3 aA
5,0 - 7,5	94,9 aA	58,7 bA	102,2 aA	98,8 aA
7,5 - 10,0	71,4 abA	50,0 bA	69,2 abA	95,6 aA
10,0 - 15,0	52,0 abA	50,3 abA	40,4 bA	82,1 aA
15,0 - 20,0	41,2 aA	37,1 aA	33,1 aA	52,2 aA

Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam cada profundidade entre os anos dentro de cada tratamento. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = não significativo.

**APÊNDICE 5.** Teores de fósforo inorgânico na fração bicarbonato de sódio do fracionamento no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo.

Profundidade	Intensidades de pastejo			Sem pastejo
	10 cm	20 cm	40 cm	
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
	<b>2001</b>			
0 - 2,5	14,2 <sup>ns</sup> B	14,2 B	14,2 B	14,2 B
2,5 - 5,0	8,6 B	8,6 B	8,6 B	8,6 B
5,0 - 7,5	9,3 B	9,3 B	9,3 B	9,3 B
7,5 - 10,0	7,9 B	7,9 B	7,9 B	7,9 B
10,0 - 15,0	3,3 B	3,3 B	3,3 B	3,3 B
15,0 - 20,0	3,3 B	3,3 A	3,3 B	3,3 B
	<b>2004</b>			
0 - 2,5	24,2 <sup>ns</sup> AB	19,7 AB	26,8 AB	23,4 AB
2,5 - 5,0	17,7 AB	14,2 AB	16,9 AB	16,8 AB
5,0 - 7,5	16,0 AB	11,9 AB	13,2 AB	14,6 AB
7,5 - 10,0	12,6 AB	10,8 AB	11,2 AB	13,2 AB
10,0 - 15,0	8,9 AB	6,6 AB	8,4 AB	12,0 AB
15,0 - 20,0	7,8 AB	4,5 A	7,5 AB	8,3 AB
	<b>2007</b>			
0 - 2,5	29,5 bcA	24,0 dA	32,7 aA	28,5 cA
2,5 - 5,0	22,1 aA	17,8 bA	21,1 aA	21,0 aA
5,0 - 7,5	18,8 aA	14,0 cA	15,5 bA	17,2 abA
7,5 - 10,0	14,7 abA	12,6 bA	13,0 bA	15,3 aA
10,0 - 15,0	10,1 bA	7,5 cA	9,5 bcA	13,6 aA
15,0 - 20,0	8,9 aA	5,1 bA	8,5 aA	9,4 aA

Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam cada profundidade entre os anos dentro de cada tratamento. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = não significativo.

**APÊNDICE 6.** Teores de fósforo orgânico na fração bicarbonato de sódio do fracionamento no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo.

Profundidade	Intensidades de pastejo			
	10 cm	20 cm	40 cm	Sem pastejo
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
	<b>2001</b>			
0 - 2,5	18,3 <sup>ns</sup> B	18,3 A	18,3 B	18,3 B
2,5 - 5,0	18,1 A	18,1 A	18,1 A	18,1 A
5,0 - 7,5	9,3 A	9,3 A	9,3 A	9,3 A
7,5 - 10,0	7,5 A	7,5 A	7,5 A	7,5 A
10,0 - 15,0	5,4 A	5,4 A	5,4 A	5,4 A
15,0 - 20,0	4,0 A	4,0 A	4,0 A	4,0 A
	<b>2004</b>			
0 - 2,5	33,5 <sup>ns</sup> AB	21,2 A	34,5 AB	28,4 AB
2,5 - 5,0	19,8 A	17,9 A	25,0 A	16,2 A
5,0 - 7,5	8,0 A	7,9 A	7,2 A	7,4 A
7,5 - 10,0	6,8 A	6,4 A	6,5 A	6,5 A
10,0 - 15,0	5,6 A	4,8 A	4,4 A	5,2 A
15,0 - 20,0	4,3 A	3,5 A	5,0 A	4,6 A
	<b>2007</b>			
0 - 2,5	40,9 abA	25,8 bA	42,1 aA	34,6 abA
2,5 - 5,0	24,8 aA	22,4 aA	31,3 aA	20,2 aA
5,0 - 7,5	9,4 aA	9,3 aA	8,5 aA	8,7 aA
7,5 - 10,0	7,9 aA	7,4 aA	7,5 aA	7,6 aA
10,0 - 15,0	6,4 aA	5,4 aA	5,0 aA	5,9 aA
15,0 - 20,0	4,9 aA	4,0 aA	5,7 aA	5,2 aA

Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam cada profundidade entre os anos dentro de cada tratamento. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = não significativo.

**APÊNDICE 7.** Teores de fósforo inorgânico na fração hidróxido de sódio 0,1 mol L<sup>-1</sup> do fracionamento no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo.

Profundidade	Intensidades de pastejo			
	10 cm	20 cm	40 cm	Sem pastejo
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
	<b>2001</b>			
0 - 2,5	201,3 <sup>ns</sup> B	201,3 B	201,3 B	201,3 B
2,5 - 5,0	214,6 B	214,6 A	214,6 B	214,6 B
5,0 - 7,5	185,8 B	185,8 A	185,8 A	185,8 B
7,5 - 10,0	176,9 B	176,9 A	176,9 A	176,9 B
10,0 - 15,0	148,2 A	148,2 A	148,2 A	148,2 A
15,0 - 20,0	136,3 A	136,2 A	136,2 A	136,2 A
	<b>2004</b>			
0 - 2,5	229,5 <sup>ns</sup> AB	243,6 AB	267,2 AB	216,0 AB
2,5 - 5,0	209,1 AB	186,2 A	213,8 AB	210,2 AB
5,0 - 7,5	209,8 AB	168,6 A	188,6 A	210,3 AB
7,5 - 10,0	190,8 AB	169,4 A	171,7 A	219,9 AB
10,0 - 15,0	163,9 A	138,1 A	147,6 A	135,8 A
15,0 - 20,0	150,4 A	117,8 A	131,8 A	140,9 A
	<b>2007</b>			
0 - 2,5	279,9 <sup>ns</sup> A	297,1 A	325,8 A	263,4 A
2,5 - 5,0	261,4 A	232,7 A	267,2 A	262,7 A
5,0 - 7,5	246,8 A	198,3 A	221,9 A	247,4 A
7,5 - 10,0	221,9 A	197,0 A	199,6 A	255,7 A
10,0 - 15,0	186,2 A	156,9 A	167,7 A	154,3 A
15,0 - 20,0	170,9 A	133,9 A	149,8 A	160,1 A

Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam cada profundidade entre os anos dentro de cada tratamento. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = não significativo.



**APÊNDICE 8.** Teores de fósforo orgânico na fração hidróxido de sódio 0,1 mol L<sup>-1</sup> do fracionamento no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo.

Profundidade	Intensidades de pastejo			Sem pastejo
	10 cm	20 cm	40 cm	
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
	<b>2001</b>			
0 - 2,5	197,4 <sup>ns</sup> A	197,4 B	197,4 A	197,4 A
2,5 - 5,0	185,1 A	185,1 B	185,1 B	185,1 B
5,0 - 7,5	168,0 A	168,0 A	168,0 B	168,0 A
7,5 - 10,0	164,5 A	164,5 A	164,5 A	164,5 A
10,0 - 15,0	164,6 A	164,6 A	164,6 A	164,6 A
15,0 - 20,0	140,9 A	140,9 A	140,9 A	140,9 A
	<b>2004</b>			
0 - 2,5	215,3 <sup>ns</sup> A	268,9 AB	188,0 A	192,9 A
2,5 - 5,0	166,8 A	238,6 AB	219,9 AB	222,6 AB
5,0 - 7,5	148,2 A	195,2 A	212,0 AB	153,3 A
7,5 - 10,0	124,3 A	131,2 A	203,0 A	156,7 A
10,0 - 15,0	117,0 A	125,8 A	151,0 A	177,8 A
15,0 - 20,0	156,3 A	141,8 A	106,9 A	145,8 A
	<b>2007</b>			
0 - 2,5	262,5 <sup>ns</sup> A	327,9 A	229,3 A	235,2 A
2,5 - 5,0	208,5 A	298,3 A	274,9 A	278,3 A
5,0 - 7,5	174,4 A	229,6 A	249,4 A	180,3 A
7,5 - 10,0	144,5 A	152,5 A	236,1 A	182,2 A
10,0 - 15,0	133,0 A	142,9 A	171,6 A	202,0 A
15,0 - 20,0	177,6 A	161,1 A	121,5 A	165,7 A

Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam cada profundidade entre os anos dentro de cada tratamento. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = não significativo.

**APÊNDICE 9.** Teores de fósforo inorgânico na fração HCl do fracionamento no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo.

Profundidade	Intensidades de pastejo			
	10 cm	20 cm	40 cm	Sem pastejo
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
	<b>2001</b>			
0 - 2,5	10,7 <sup>ns</sup> B	10,7 B	10,7 B	10,7 B
2,5 - 5,0	8,0 B	8,0 B	8,0 B	8,0 B
5,0 - 7,5	8,0 B	8,0 B	8,0 B	8,0 B
7,5 - 10,0	8,6 A	8,6 B	8,6 A	8,6 A
10,0 - 15,0	6,9 A	6,9 A	6,9 A	6,9 A
15,0 - 20,0	6,7 A	6,7 A	6,7 A	6,7 A
	<b>2004</b>			
0 - 2,5	23,6 <sup>ns</sup> AB	23,9 AB	22,1 AB	20,3 AB
2,5 - 5,0	15,4 AB	13,7 AB	13,9 AB	10,6 AB
5,0 - 7,5	14,3 AB	17,6 AB	13,7 AB	11,0 AB
7,5 - 10,0	9,2 A	13,4 AB	8,3 A	8,3 A
10,0 - 15,0	10,1 A	11,4 A	6,3 A	9,7 A
15,0 - 20,0	9,7 A	12,3 A	6,1 A	9,0 A
	<b>2007</b>			
0 - 2,5	28,8 <sup>ns</sup> A	29,2 A	27,0 A	24,8 A
2,5 - 5,0	19,2 A	17,1 A	17,4 A	17,3 A
5,0 - 7,5	16,8 A	20,7 A	16,1 A	16,9 A
7,5 - 10,0	10,7 A	15,6 A	9,7 A	9,7 A
10,0 - 15,0	11,5 A	13,0 A	7,2 A	11,0 A
15,0 - 20,0	11,0 A	10,0 A	6,9 A	10,2 A

Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam cada profundidade entre os anos dentro de cada tratamento. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = não significativo.

**APÊNDICE 10.** Teores de fósforo inorgânico na fração hidróxido de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup> do fracionamento no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo.

Profundidade	Intensidades de pastejo			Sem pastejo
	10 cm	20 cm	40 cm	
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
	<b>2001</b>			
0 - 2,5	112,8 <sup>ns</sup> A	112,8 B	112,8 B	112,8 B
2,5 - 5,0	132,4 B	132,4 B	132,4 B	132,4 B
5,0 - 7,5	126,1 B	126,1 B	126,1 B	126,1 B
7,5 - 10,0	106,2 B	106,2 B	106,2 A	106,2 B
10,0 - 15,0	95,1 A	95,1 A	95,1 B	95,1 A
15,0 - 20,0	75,2 A	75,2 A	75,2 A	75,2 A
	<b>2004</b>			
0 - 2,5	102,2 <sup>ns</sup> A	106,4 AB	110,5 AB	106,4 AB
2,5 - 5,0	124,2 AB	122,1 AB	120,1 AB	122,1 AB
5,0 - 7,5	123,3 AB	123,3 AB	126,1 AB	124,4 AB
7,5 - 10,0	107,2 AB	105,0 AB	102,8 A	105,0 AB
10,0 - 15,0	94,0 A	96,3 A	98,5 AB	96,3 A
15,0 - 20,0	73,8 A	76,1 A	78,3 A	76,1 A
	<b>2007</b>			
0 - 2,5	124,6 <sup>ns</sup> A	129,7 A	134,8 A	129,7 A
2,5 - 5,0	155,2 A	152,6 A	150,1 A	152,6 A
5,0 - 7,5	145,0 A	145,0 A	148,3 A	146,3 A
7,5 - 10,0	124,6 A	122,1 A	119,5 A	122,1 A
10,0 - 15,0	106,8 A	109,4 A	111,9 A	109,4 A
15,0 - 20,0	83,9 A	86,5 A	89,0 A	86,5 A

Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam cada profundidade entre os anos dentro de cada tratamento. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = não significativo.

**APÊNDICE 11.** Teores de fósforo orgânico na fração hidróxido de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup> do fracionamento no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo.

Profundidade	Intensidades de pastejo			Sem pastejo
	10 cm	20 cm	40 cm	
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
	<b>2001</b>			
0 - 2,5	63,9 <sup>nsNS</sup>	63,9	63,9	63,9
2,5 - 5,0	30,0	30,0	30,0	30,0
5,0 - 7,5	48,5	48,5	48,5	48,5
7,5 - 10,0	56,6	56,6	56,6	56,6
10,0 - 15,0	32,3	32,3	32,3	32,3
15,0 - 20,0	34,2	34,2	34,2	34,2
	<b>2004</b>			
0 - 2,5	52,4 <sup>ns</sup>	50,4	49,3	50,2
2,5 - 5,0	31,2	30,8	32,5	33,2
5,0 - 7,5	41,2	38,2	37,2	35,4
7,5 - 10,0	48,7	44,6	40,3	32,1
10,0 - 15,0	28,4	26,4	29,5	32,9
15,0 - 20,0	30,1	29,1	30,2	30,9
	<b>2007</b>			
0 - 2,5	43,6 <sup>ns</sup>	44,7	42,1	45,6
2,5 - 5,0	35,0	35,9	35,4	32,1
5,0 - 7,5	32,1	38,6	30,9	30,1
7,5 - 10,0	30,2	36,5	32,1	29,1
10,0 - 15,0	29,2	32,1	28,8	28,5
15,0 - 20,0	28,4	31,6	28,1	26,7

Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam cada profundidade entre os anos dentro de cada tratamento. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = não significativo.

**APÊNDICE 12.** Teores de fósforo residual do fracionamento no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo.

Profundidade	Intensidades de pastejo			
	10 cm	20 cm	40 cm	Sem pastejo
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
	<b>2001</b>			
0 - 2,5	263,2 <sup>nsNS</sup>	263,2	263,2	263,2
2,5 - 5,0	258,6	258,6	258,6	258,6
5,0 - 7,5	260,5	260,5	260,5	260,5
7,5 - 10,0	260,0	260,0	260,0	260,0
10,0 - 15,0	253,1	253,1	253,1	253,1
15,0 - 20,0	254,5	254,5	254,5	254,5
	<b>2004</b>			
0 - 2,5	243,4 <sup>ns</sup>	242,4	245,1	242,1
2,5 - 5,0	230,6	234,9	232,2	232,4
5,0 - 7,5	253,1	248,7	253,1	251,3
7,5 - 10,0	250,0	250,9	250,9	251,1
10,0 - 15,0	242,7	247,3	248,9	249,9
15,0 - 20,0	255,6	250,5	246,0	247,1
	<b>2007</b>			
0 - 2,5	296,8	295,6	298,9	295,2
2,5 - 5,0	288,2	293,6	290,2	290,5
5,0 - 7,5	297,8	292,6	297,8	295,6
7,5 - 10,0	290,7	291,7	291,7	292,0
10,0 - 15,0	275,8	281,0	282,8	284,0
15,0 - 20,0	290,5	284,7	279,5	280,8

Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam cada profundidade entre os anos dentro de cada tratamento. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = não significativo.

**APÊNDICE 13.** Teores de fósforo somatório do fracionamento no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo.

Profundidade	Intensidades de pastejo			Sem pastejo
	10 cm	20 cm	40 cm	
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
	<b>2001</b>			
0 - 2,5	923,4 <sup>ns</sup> B	923,4 B	923,4 B	923,4 B
2,5 - 5,0	897,0 B	897,0 B	897,0 B	897,0 B
5,0 - 7,5	855,8 B	855,8 B	855,8 B	855,8 B
7,5 - 10,0	823,2 A	823,2 A	823,2 B	823,2 B
10,0 - 15,0	742,4 A	742,4 A	742,4 A	742,4 A
15,0 - 20,0	657,7 A	657,7 A	657,7 A	657,7 A
	<b>2004</b>			
0 - 2,5	983,9 <sup>ns</sup> AB	1043,0 AB	1022,0 AB	943,4 AB
2,5 - 5,0	887,6 AB	912,7 AB	963,6 AB	947,5 AB
5,0 - 7,5	894,6 AB	861,3 AB	938,0 AB	891,7 AB
7,5 - 10,0	811,0 A	774,7 A	854,2 AB	875,0 AB
10,0 - 15,0	716,4 A	701,0 A	730,2 A	791,8 A
15,0 - 20,0	724,3 A	668,2 A	640,9 A	708,6 A
	<b>2007</b>			
0 - 2,5	1179,5 <sup>ns</sup> A	1256,1 A	1228,4 A	1134,7 A
2,5 - 5,0	1105,4 A	1138,3 A	1199,2 A	1175,0 A
5,0 - 7,5	1036,0 A	1006,8 A	1090,6 A	1037,3 A
7,5 - 10,0	916,6 A	885,4 A	978,4 A	1009,3 A
10,0 - 15,0	811,0 A	798,5 A	824,9 A	890,8 A
15,0 - 20,0	817,3 A	758,0 A	722,1 A	796,8 A

Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam cada profundidade entre os anos dentro de cada tratamento. Letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = não significativo.