

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

**ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO E  
CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO  
SOJA-BOVINOS DE CORTE EM PLANTIO DIRETO DE LONGA  
DURAÇÃO**

**Joice Mari Assmann  
(Tese de Doutorado)**

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

**Estoque de carbono e nitrogênio no solo e ciclagem de  
nutrientes em sistema de integração soja-bovinos de corte em  
plantio direto de longa duração**

JOICE MARI ASSMANN  
Engenheira-Agrônoma (UTFPR)  
Mestre em Agronomia (UTFPR)

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

Porto Alegre (RS) Brasil  
Julho de 2013

#### CIP - Catalogação na Publicação

Assmann, Joice Mari

Estoque de carbono e nitrogênio no solo e  
ciclagem de nutrientes em sistema de integração soja-  
bovinos de corte em plantio direto de longa duração /  
Joice Mari Assmann. -- 2013.  
151 f.

Orientador: Ibanor Anghinoni.

Coorientador: Paulo César de Faccio Carvalho.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de  
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-RS,  
2013.

1. liberação de nutrientes. 2. pastejo. 3.  
qualidade do solo. 4. sacos de decomposição. I.  
Anghinoni, Ibanor, orient. II. Carvalho, Paulo César  
de Faccio, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Joice Mari Assmann  
Engenheira Agrônoma - UTFPR  
Mestre em Agronomia - UTFPR

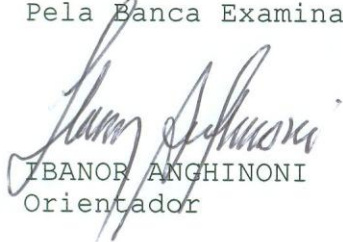
## TESE

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

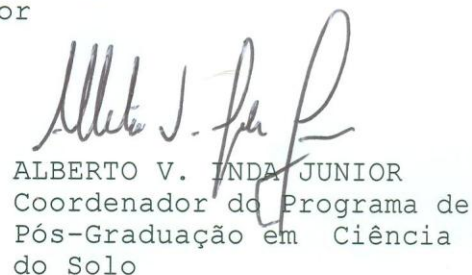
### **DOCTORA EM CIÊNCIA DO SOLO**

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 26.07.2013  
Pela Banca Examinadora

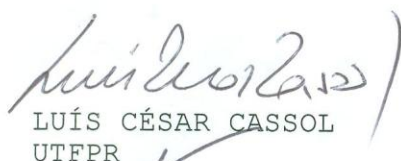
  
IBANOR ANGHINONI  
Orientador

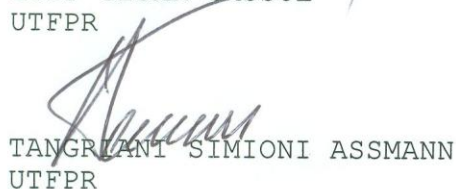
Homologado em: 23.09.2013  
Por

  
ALBERTO V. INDA JUNIOR  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Ciência  
do Solo

  
CIMÉLIO BAYER  
Departamento de Solos/UFRGS

  
RAQUEL SANTIAGO BARRO  
Departamento de Plantas Forrageiras e  
Agrometeorologia/UFRGS

  
LUÍS CÉSAR CASSOL  
UTFPR

  
TANGRIANI SIMIONI ASSMANN  
UTFPR

  
PEDRO ALBERTO SELBACH  
Diretor da Faculdade  
de Agronomia

*À minha família, meu esposo **Ederson Griz**,  
meus **pais Odilmo e Rosa Assmann**,  
meus **irmãos Anderson e Maicon**.  
Dedico, esse trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela vida e por assim traçar meu caminho;

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, à Faculdade de Agronomia e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de realização do doutorado;

Ao professor e orientador Dr. Ibanor Anghinoni, agradeço por todos os conhecimentos e ensinamentos, pela dedicação na realização dos trabalhos e pela amizade;

Ao professor Paulo Cesar de Faccio Carvalho pela co-orientação, ensinamentos, profissionalismo, conselhos e amizade;

A todos os professores do PPG em Ciência do Solo que contribuíram para a minha formação no Doutorado;

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos e financiamento do projeto;

Aos meus pais, Odilmo e Rosa e meus irmãos, Anderson e Maicon, que sempre estiveram juntos na minha jornada.

Aos colegas, eternos amigos, companheiros de trabalho e de tantas discussões e confraternizações, de forma especial a Emanuelle, Tatiana, Amanda, Sérgio Ely, Osmar, Michael, Taise e Francine e os bolsistas que estiveram nesta jornada comigo Diego, Felipe, Álvaro, Fabrício, Gabriela e Rodrigo. Agradeço a oportunidade de conviver com pessoas como vocês e as inúmeras ajudas prestadas.

A todos os colegas da Ciência do Solo que tive oportunidade de conviver, ter cursado disciplinas junto, viagens à congressos e momentos de confraternização, deixo minha satisfação;

De forma especial a Adão Luiz, pois considero ter sido a pessoa que muito me ajudou com seus ensinamentos, conselhos e a sincera amizade, para sempre serei grata;

A equipe do Projeto de Integração Lavoura-pecuária, em especial aos professores Paulo Cesar de Faccio Carvalho e Ibanor Anghinoni, assim como todos os colegas com quem compartilhei atividades na área experimental na Fazenda do Espinilho;

Aos membros da Comissão Examinadora na qualificação do

doutorado, professores Luís César Cassol, Cimélio Bayer e Celso Aita e suas contribuições.

Aos membros da Comissão Examinadora da Tese de doutorado, professores Luís César Cassol, Cimélio Bayer, Tangriani Simioni Assmann e Raquel Barro pelas suas contribuições.

A todas as pessoas que participam ou participaram da minha vida nestes últimos quatro anos, e que de uma forma ou outra contribuíram para que pudesse chegar ao final de mais esta etapa;

De forma especial ao pesquisador Alceu Luiz Assmann e a professora Tangriani Simioni Assmann, pois considero ter sido as pessoas que me despertaram para o conhecimento científico e a pós-graduação. Também aos seus ensinamentos e conselhos, vocês foram muitas vezes orientadores, para sempre serei grata;

E por último, mas de forma especial, ao meu esposo Ederson Griz pelo companheirismo, carinho e atenção, neste momento tão importante da minha jornada científica.

# ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO E CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO<sup>1</sup>

Autor: Joice Mari Assmann

Orientador: Prof. Dr. Ibanor Anghinoni

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo César de Faccio Carvalho

## RESUMO

Sistemas integrados de produção agrícola e pecuária estão sendo cada vez mais adotados no país e existe um grande potencial, no subtropico brasileiro, de integrar a pecuária nas grandes extensões de pastagens hibernais cultivadas, antecedendo lavouras de verão, como soja e milho. Nesses sistemas, enquanto o animal é considerado o elemento catalizador e o solo é o compartimento que centraliza e captura as modificações impostas pelo manejo. Neste estudo, investigou-se um sistema com produção de soja-bovinos de corte, em um consórcio de azevém + aveia preta, manejada em diferentes alturas de pastejo (10, 20, 30, 40 cm) e uma área sem pastejo. O experimento foi instalado em maio de 2001, em São Miguel das Missões - RS, em Latossolo Vermelho distroférico, em sistema plantio direto. Foram abordados aspectos relacionados aos impactos do manejo do sistema sobre os teores e os estoques de carbono e nitrogênio após nove anos da instalação do experimento. Também foi estudada a cinética de liberação de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, em dois ciclos pastejo-soja (2009/11), a partir da decomposição dos resíduos vegetais, em sacos de decomposição (litter bags). Intensidades de pastejo moderadas a leve (20, 30 e 40 cm de altura do pasto) promoveram aumento nos teores e estoques de carbono orgânico e nitrogênio, total e particulado, semelhantemente ao observado na área sem pastejo. Valores do índice de manejo de carbono (IMC), em comparação com os da área tomada como referência (mata nativa e SP), indicam alta degradação da qualidade da matéria orgânica na maior intensidade de manejo (10 cm). A velocidade da ciclagem dos nutrientes foi maior nas intensidades moderadas de pastejo (20 e 30 cm), tanto dos resíduos da pastagem como do esterco. A decomposição dos resíduos da soja, cultivada na sequência, não foi afetada pelo manejo do pasto. As folhas apresentaram uma decomposição mais rápida, e consequente liberação mais rápida de nutrientes, em relação aos caules. A quantidade de nutrientes liberados dos resíduos em um ciclo pastejo-soja é suficiente em relação à demanda das plantas (pastagem e soja) e, majoritariamente, determinada pelos resíduos do pastejo (pasto + esterco), que foram maiores nas áreas com pastejo leve e nas áreas sem pastejo.

**Palavras-chave:** estoque de carbono, liberação de nutrientes, pastejo, qualidade do solo, sacos de decomposição

---

<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. (135 p.) Julho, 2013.



# SOIL CARBON AND NITROGEN STOCKS AND NUTRIENT CYCLING IN A LONG-TERM NO-TILLAGE INTEGRATION SOYBEAN-BEEF CATTLE SYSTEM<sup>2</sup>

Author: Joice Mari Assmann

Advisor: Dr. Ibanor Anghinoni

Co-Advisor: Dr. Paulo César de Faccio Carvalho

## ABSTRACT

Integrated crop-livestock systems are lately being increasingly used in the country, and there is a great utilization potential in Brazilian subtropic region, by integrating cattle production in a large area covered by winter pastures, preceding summer crops, mostly soybean and corn. The animal, in such systems, is considered the catalyzing agent, while the soil is the compartment that captures all the modifications imposed by animal and pasture management. This research investigated a soybean-cattle system in a pasture mixture (ryegrass + black oat), managed at different plant heights (10, 20, 30 and 40 cm) and no grazed areas. The experiment was established in May, 2001, in São Miguel das Missões county, Rio Grande do Sul state – Brazil, in a clayey Hapludox, under no-tillage system. The impacts of the integrated system management in total and particulated fractions of carbon and nitrogen were studied nine years after the experiment started. Nutrient (carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium) cycling was also studied in two soybean-livestock cycles (2009/11), by plant and animal residue decomposition in *litter bags*. Moderately and light (20 and 30 and 40 cm plant height, respectively) pasture pressure resulted in similar increase of total and particulated carbon and nitrogen stocks and contents, as found in no-grazed area. Carbon management indexes (CMI), as compared with the reference areas, indicated high degradation of organic matter quality under the most intensive grazing intensity (10 cm of pasture height). Nutrient cycling was higher in moderately grazing (20 and 30 cm pastures height), for pasture and cattle residues. Soybean residue decomposition was not affected by pasture and cattle management; however soybean leaves were more readily decomposed, and in this way, fastly release nutrients, as compared with stem decomposition. The amount of released nutrients in a soybean-cattle cycle is high as compared with plants (pasture and soybean) requirement for high yields and mostly determined by cattle and pasture residues that were higher under light and no grazing intensities, due to higher residue production.

**Key words:** carbon stocks, nutrient release, grazing, soil quality, litter bags

---

<sup>2/</sup> Doctoral thesis in Soil Science, Graduate Program in Soil Science, Agronomy School, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil. 135 pages. July 2013.

## SUMÁRIO

Página

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. CAPÍTULO I. ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO.....</b>	<b>5</b>
2.1 Sistemas de integração lavoura-pecuária e seus benefícios.....	5
2.2 Carbono e nitrogênio e seus efeitos nas propriedades do solo em sistemas integrados de produção. ....	6
2.3 Ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção.....	12
<b>3. CAPÍTULO II. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
3.1 Histórico e caracterização da área experimental .....	16
3.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	17
3.3 Condução do experimento .....	18
3.3 Adubação e calagem .....	19
<b>4. CAPÍTULO III. ESTOQUES E FRAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO E DE NITROGÊNIO DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO.....</b>	<b>21</b>
4.1 Resumo.....	21
4.2 Introdução .....	22
4.3 Material e métodos .....	24
4.4 Resultados e discussão .....	26
4.5 Conclusões .....	40
<b>5. CAPÍTULO IV. CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>6. CAPÍTULO V. CICLAGEM DE CARBONO E DE NITROGÊNIO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO .....</b>	<b>45</b>
6.1 Resumo.....	45
6.2 Introdução.....	46
6.3 Material e Métodos .....	47
6.4 Resultados e Discussão .....	48
6.4.1 Decomposição dos resíduos.....	48

6.4.2 Ciclagem de carbono .....	50
6.4.3 Ciclagem de nitrogênio .....	56
6.5 Conclusões .....	63
<b>7. CAPÍTULO VI. CICLAGEM DE FÓSFORO E DE POTÁSSIO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO.....</b>	<b>64</b>
7.1 Resumo.....	64
7.2 Introdução .....	65
7.3. Material e Métodos .....	67
7.4 Resultados e discussão .....	67
7.4.1 Teores e quantidades de fósforo e de potássio nos resíduos.....	67
7.4.2 Ciclagem de fósforo .....	69
7.4.3 Ciclagem de potássio.....	75
7.4.4 Ciclagem de fósforo e potássio e recomendações de adubação em sistemas integrados de produção agrícola .....	80
7.5 Conclusões .....	81
<b>8. CAPÍTULO VII. CICLAGEM DE CÁLCIO E DE MAGNÉSIO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-PECUÁRIA DE CORTE EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO.....</b>	<b>82</b>
8.1 Resumo.....	82
8.2 Introdução .....	83
8.3 Material e Métodos .....	84
8.4 Resultados e discussão .....	84
8.4.1 Teores e quantidades de cálcio e de magnésio nos resíduos .....	84
8.4.2 Ciclagem de cálcio .....	86
8.4.3 Ciclagem de magnésio .....	93
8.5 Conclusões .....	97
<b>9. CONCLUSÕES.....</b>	<b>99</b>
<b>10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>100</b>
<b>11. RELAÇÃO DE APÊNDICES .....</b>	<b>117</b>

## RELAÇÃO DE TABELAS

Página

<b>Tabela 1</b> Atributos químicos do solo antes da implantação do sistema de integração soja-pecuária de corte em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de plantio direto (São Miguel das Missões - RS).....	17
<b>Tabela 2</b> Estimativa da taxa de adição anual de carbono orgânico e nitrogênio total em diferentes intensidades de pastejo em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS) .....	28
<b>Tabela 3</b> Índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC), em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração Isoja-pecuária de corte em plantio direto intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).....	38
<b>Tabela 4</b> Índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC), em camadas de um Latossolo Vermelho em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).....	39
<b>Tabela 5</b> Matéria seca residual da pastagem e esterco e resíduos de soja (folha e caule) e respectivos teores iniciais de carbono e nitrogênio em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS) .....	49
<b>Tabela 6</b> Parâmetros do modelo exponencial simples ajustados aos valores medidos da taxa de liberação de carbono da pastagem, esterco e soja e constantes de decomposição ( $ka$ ), tempo de meia vida ( $t^{1/2}$ ) e ajuste ( $R^2$ ) em em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS) .....	53
<b>Tabela 7</b> Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados aos valores medidos da taxa de liberação de nitrogênio da pastagem, esterco e soja e as constantes de decomposição ( $ka$ e $kb$ ), tempo de meia vida ( $t^{1/2}$ ) e ajuste ( $R^2$ ) em em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).....	59
<b>Tabela 8</b> Teores e quantidades de fósforo e potássio nos diferentes resíduos (pasto+mantilho, esterco bovino e folha e caule+vagens de soja) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS) .....	68
<b>Tabela 9</b> Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados	

<p>aos valores medidos da taxa de liberação de fósforo da biomassa da pastagem (aveia+azevém), esterco, caule e folha de soja e as constantes de decomposição (<math>ka</math> e <math>kb</math>) tempo de meia vida (<math>t^{1/2}</math>) e valores de <math>R^2</math> em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS) .....</p>	72
<p><b>Tabela 10</b> Parâmetros do modelo exponencial simples ajustados aos valores medidos da taxa de liberação do potássio da biomassa da pastagem (aveia+azevém), esterco, caule e folha de soja e a constantes de decomposição (<math>ka</math>) tempo de meia vida (<math>t^{1/2}</math>) e valores de <math>R^2</math>, em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS) .....</p>	76
<p><b>Tabela 11</b> Teores e quantidades de cálcio e de magnésio nos resíduos (pasto+mantilho, esterco bovino e folha e caule+vagens de soja) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).....</p>	85
<p><b>Tabela 12</b> Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados aos valores medidos da taxa de liberação do cálcio da biomassa dos resíduos e a constantes de decomposição (<math>ka</math> e <math>kb</math>) tempo de meia vida (<math>t^{1/2}</math>) e valores de <math>R^2</math> em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).....</p>	89
<p><b>Tabela 13</b> Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados aos valores medidos da taxa de liberação de magnésio da biomassa da dos resíduos e as constantes de decomposição (<math>ka</math> e <math>kb</math>) tempo de meia vida (<math>t^{1/2}</math>) e valores de <math>R^2</math>, em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).....</p>	94

## RELAÇÃO DE FIGURAS

Página

- Figura 1** Vista geral da área experimental, com distribuição dos tratamentos de intensidade de pastejo. Fazenda do Espinilho, São Miguel das Missões - RS..... 17
- Figura 2** Alturas de manejo da pastagem de aveia preta + azevém em plantio direto, submetida ao pastejo de bovinos. Foto: Cassol (2003). ..... 18
- Figura 3** Estoques de carbono orgânico, carbono na matéria orgânica particulada (C-MOP) e carbono na matéria orgânica associada aos minerais (C-MOM) nas camadas de 0 a 20 cm (A) e de 0-40 cm (B) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS) .....29
- Figura 4** Estoques de nitrogênio, nitrogênio na matéria orgânica particulada (N-MOP) e nitrogênio matéria orgânica associada aos minerais (N-MOM) nas camadas de 0 a 20 cm (A) e de 0 a 40 cm (B) em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).....33
- Figura 5** Teores de carbono orgânico, em diferentes camadas, de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo: carbono orgânico total (A), carbono orgânico associado a minerais (B) e carbono orgânico particulado (C) (São Miguel das Missões RS). Barra na horizontal compara cada profundidade entre intensidades de pastejo, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). .....35
- Figura 6** Teores de nitrogênio, em diferentes camadas, de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo: nitrogênio total (A), nitrogênio na matéria orgânica associada minerais (B) e nitrogênio na matéria orgânica particulada (C) (São Miguel das Missões RS). Barra na horizontal compara cada profundidade entre intensidades de pastejo, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). .....36
- Figura 7** Dados meteorológicos observados durante o período experimental (maio/2009 a janeiro/2012 – Santiago - RS) - Fonte: INMET (2013). .....42
- Figura 8** Liberação de carbono da pastagem (A), do esterco (B) e acumulado da pastagem+esterco (C), dos caules de soja (D), das folhas de soja (E) e acumulado dos resíduos de soja (F) em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).....55
- Figura 9** Liberação de nitrogênio da pastagem (A), do esterco (B) acumulado no pastagem+esterco (C), nos caules de soja (D),

	nas folhas de soja (E) e acumulado dos resíduos de soja (F) em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).....	62
<b>Figura 10</b>	Liberação de fósforo da pastagem (A), do esterco (B) e acumulado da pastagem+esterco (C), dos caules de soja (D), das folhas de soja (E) e acumulado dos resíduos de soja (F) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).....	74
<b>Figura 11</b>	Liberação de potássio da pastagem (A), do esterco (B) e acumulado da pastagem+esterco (C), dos caules de soja (D), das folhas de soja (E) e acumulado dos resíduos de soja (F) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).....	79
<b>Figura 12</b>	Liberação de cálcio (Ca) do pasto (A), do esterco (B), do acumulado do pasto+esterco (C), dos caules de soja (D), das folhas de soja (E) e acumulado dos resíduos de soja (F) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).....	92
<b>Figura 13</b>	Liberação de magnésio (Mg) da pastagem (A), do esterco (B) acumulado no pastagem+esterco (C), nos caules de soja (D), nas folhas de soja (E) e acumulado dos resíduos de soja (F) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).....	96

## RELAÇÃO DE APÊNDICES

Página

- Apêndice 1** Dados de ciclagem de carbono em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo. Ano 1 (2009/10) e Ano 2 (2010/11); 10, 20, 30 e 40 representam as alturas de manejo do pasto, e área sem pastejo (SP) - (São Miguel das Missões - RS).... 118
- Apêndice 2** Dados de ciclagem de nitrogênio em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo. Ano 1 (2009/10) e Ano 2 (2010/11); 10, 20, 30 e 40 representam as alturas de manejo do pasto, e área sem pastejo (SP), (São Miguel das Missões - RS)..... 121
- Apêndice 3** Dados de ciclagem de fósforo em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo. Ano 1 (2009/10) e Ano 2 (2010/11); 10, 20, 30 e 40 representam am alturam de manejo do pasto, e área sem pastejo (SP) - (São Miguel das Missões - RS).... 124
- Apêndice 4** Dados de ciclagem de potássio em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo. Ano 1 (2009/10) e Ano 2 (2010/11); 10, 20, 30 e 40 representam as altura de manejo do pasto, e área sem pastejo (SP) - (São Miguel das Missões - RS).... 127
- Apêndice 5** Dados de ciclagem de cálcio em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo. Ano 1 (2009/10) e Ano 2 (2010/11); 10, 20, 30 e 40 representam as alturas de manejo do pasto, e área sem pastejo (SP) - (São Miguel das Missões - RS).... 130
- Apêndice 6** Dados de ciclagem de magnésio em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo. Ano 1 (2009/10) e Ano 2 (2010/11); 10, 20, 30 e 40 representas as alturas de manejo do pasto, e área sem pastejo (SP) - (São Miguel das Missões - RS).... 133



## 1. INTRODUÇÃO

A aplicação de fertilizantes em larga escala, muitas vezes exigida pelos sistemas agrícolas intensivos, vem se tornando difícil por motivos econômicos e ambientais. Portanto, é necessário estudar sistemas de produção agrícola e pecuária que dependam menos da entrada de insumos e que reduzam o custo de produção, de modo a torná-los mais eficientes e sustentáveis. Desta forma, a produção de alimentos nesses sistemas sustentáveis é um dos maiores, senão o maior desafio da ciência para este novo século.

No Rio Grande do Sul (RS), existe uma área cultivada de 4,20 milhões de hectares na safra 2012/13 no sistema plantio direto (SPD), no período de verão (CONAB, 2013). Desse total, 0,89 milhões de hectares (safra 2012) são utilizados para a produção de grãos de cereais de inverno (CONAB, 2013). Essa baixa utilização da área nesse período se deve, em parte, ao baixo retorno econômico que as culturas dessa estação têm historicamente apresentado (CONAB, 2013; Cassol, 2003). Em torno de dois milhões de hectares permanecem com culturas de cobertura nessa época, atendendo a um requisito básico do SPD, que é de manter o solo coberto durante todo o ano, e, o restante deixado em pousio (CONAB, 2013). Com isso, uma grande área permanece em pousio durante o período hibernar, que são ou podem ser grandes fontes de perda de nutrientes, seja por volatilização, lixiviação, desnitrificação, escoamento superficial ou erosão. Dentre as espécies utilizadas como culturas de cobertura no RS, destacam-se as misturas de aveia preta (*Avena strigosa* S.) + azevém (*Lolium multiflorum* L.) e aveia preta+ervilhaca (*Vicia sativa* L.). As espécies componentes da primeira mistura apresentam potencial para serem pastejadas durante boa parte do seu ciclo.

Nesse contexto, uma alternativa visando à diversificação de atividades nas propriedades rurais e uma fonte de renda para os produtores no período de entressafra, é a adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária. A utilização desses sistemas leva em consideração as práticas adequadas de manejo racional dos recursos naturais, as premissas do SPD e a utilização adequada de insumos.

A adoção do sistema de integração lavoura-pecuária tem potencial em fornecer uma variedade de benefícios ao sistema solo por alterações em suas

características físicas, químicas e biológicas (Taylor & Brar, 1991; Silva et al., 2000; Franzluebbbers & Stuedemann, 2008a; Vilela et al., 2011), na ciclagem de nutrientes e na conservação da água, o que reduz o risco econômico e ambiental, proporcionando aumento da lucratividade (Franzluebbbers & Stuedemann, 2007). Com a utilização da pastagem por vários meses no sistema e o não revolvimento do solo, pode haver acúmulo de carbono, que melhora a qualidade do sistema solo. Por possuírem sistema radicular fasciculado e agressivo, as pastagens, principalmente gramíneas, tendem a promover maior agregação ao solo, ficando a matéria orgânica protegida no interior dos agregados, evitando sua decomposição (Salton et al., 2002). Nesse sistema, dependendo das pressões de pastejo adotadas, ocorrem diferentes taxas de deposição de carbono, tanto da parte aérea como das raízes, podendo afetar diretamente a população microbiana do solo.

O efeito das pastagens e das excretas de animais está também em reciclar os nutrientes, mas, isso não tem resultado na adequação da adubação para os sistemas de ILP. Neste aspecto, torna-se importante que a pesquisa e a extensão produzam e popularizem informações que assegurem tomadas de decisão precisas, por parte de técnicos e agricultores. Desta forma, o conhecimento de alterações, em condições específicas de solo e clima, é de muita importância no entendimento da potencialidade dos sistemas de manejo em relação à produtividade das culturas e da adoção de práticas no sentido de contornar possíveis limitações advindas da sua utilização (Bayer & Mielniczuk, 1997; Moraes et al., 2011).

A disponibilidade de nutrientes em sistemas de integração lavoura pecuária e, conseqüentemente, uma maior eficiência no uso dos mesmos por plantas e animais, está diretamente ligada à velocidade de decomposição dos resíduos vegetais e animais que se encontram sobre o solo. Portanto, nos sistemas de integração lavoura-pecuária, a ciclagem de nutrientes é bastante alterada em função do componente animal e seus dejetos. Entretanto, esta alteração ainda é pouco conhecida, apesar de ser de fundamental importância no fluxo de nutrientes no solo.

Atualmente há um considerável interesse em entender os fatores que controlam a ciclagem de nutrientes, uma vez que, a partir desse entendimento, é possível otimizar ou seja, sincronizar a sua disponibilização com a demanda

da cultura sucessora. As taxas de ciclagem de nutrientes no solo dependem da qualidade e da quantidade dos resíduos aportados do microclima (temperatura e umidade), de características físicas (textura, e densidade), químicas (pH, concentração e disponibilidade de nutrientes) e biológicas (biomassa microbiana, composição e diversidade) do solo. Essas condições criam variação nas taxas de decomposição dos resíduos tanto na quantidade como na qualidade do que está sendo fornecido ao solo (Epstein et al., 2002).

Em sistema de integração lavoura-pecuária, a oferta de nutrientes pode se tornar mais constante, uma vez que existem diferentes fontes em decomposição (matéria seca e dejetos), sendo os nutrientes liberados de forma diferente entre essas fontes. Entretanto, pouco se sabe a respeito da dinâmica de liberação de nutrientes por parte das plantas e dos dejetos dos animais e a forma de como isso interfere na fertilidade do solo. Ainda, o melhor aproveitamento dos nutrientes liberados no sistema depende da velocidade de decomposição da biomassa remanescente das culturas e isto afeta, como consequência, a eficiência no uso dos nutrientes por plantas e animais.

A demanda de nutrientes pela cultura pode ser atendida pela ciclagem de nutrientes do sistema e pelas entradas e/ou a adição de nutrientes pela adubação. A ciclagem de nutrientes depende da velocidade de decomposição da matéria seca residual e se torna mais complexa quando da presença de animais (catalizador), uma vez que eles alteram a taxa de ciclagem através da produção de urina e dejetos implicando na disponibilidade dos nutrientes à cultura subsequente (Díaz-Zorita et al., 2002; Acosta-Martínez et al., 2004; Carvalho et al., 2010). O pastejo também pode acelerar a decomposição dos resíduos vegetais, por promover aumento na concentração de nutrientes nos tecidos aéreos, permitindo uma maior ciclagem de nutrientes, e alterar a qualidade dos resíduos animal e vegetal que retornam ao solo (lignina, relação C/N), bem como o ambiente de decomposição (Shariff et al., 1994).

No Rio Grande do Sul, bem como na em toda a região Sul do Brasil, até o presente momento, são poucos os estudos do efeito do animal sobre a ciclagem de nutrientes em sistemas de ILP, e, principalmente em sistemas consolidados de ILP em plantio direto. Alguns trabalhos que avaliaram a ciclagem de nutrientes em sistemas de ILP, não com litter bags são Assmann et al., 2003, Sandini et al. 2011, Sartor (2012) entre outros. Já trabalhos que

apresentam resultados da decomposição de resíduos (palhada e excreta) e da consequente liberação de nutrientes, em sacos de decomposição (litter bags) no campo, pode-se citar pesquisas recentemente realizadas por: Koselinski (2009); Adami (2009); Bortolli (2010); Pitta (2012) e Adami (2012).

Esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar os estoques e a ciclagem de nutrientes em sistema de integração lavoura-pecuária, com pastejo contínuo de bovinos de corte, no inverno, e soja, no verão, em sistema plantio direto de longa duração.

## 2. CAPÍTULO I. ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO

### 2.1 Sistemas de integração lavoura-pecuária e seu benefícios

A integração da agricultura com a pecuária (ILP), utilizada como atividade voltada à produção de alimentos, vem sendo usada há muito tempo e com bons resultados desde o período Neolítico, quando da domesticação das plantas e dos animais (Carvalho et al., 2007). Segundo Keulen & Schiere (2004), os sistemas ILP alcançam 2,5 bilhões de hectares no mundo, sendo responsáveis por mais de 50% da carne e mais de 90% do leite consumidos.

Na região Sul do Brasil, o sistema de integração lavoura-pecuária, utilizando principalmente gramíneas e leguminosas anuais, tem potencial para aumentar a produtividade de grãos e de carne/leite, reduzindo os riscos de degradação e promovendo a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Garcia et al., 2004). No Rio Grande do Sul (RS), sistemas que integram atividades de lavoura (produção de grãos) com a pecuária foram intensificados principalmente a partir da década de 1970, nas regiões do Planalto Médio e Missões, com a introdução de novas espécies forrageiras de inverno (Mello, 1996).

Os sistemas de ILP, se não novo, estão em evidência novamente, pois a inovação é a sua utilização sob os pilares da agricultura conservacionista (Carvalho et al., 2011). Esta inovação deve-se à intensificação do uso do plantio direto e sua exigência em cobertura do solo e sua diversidade de rotações que, com o pastejo animal, resulta em interação sinérgica, aportando aos sistemas ILP-PD, novas propriedades (Anghinoni et al., 2011a). Estas propriedades, chamadas de emergentes, se constituem, provavelmente, na maior contribuição, em nível de sistema, pois segundo Odum (1983), essas propriedades não são redutíveis à soma dos efeitos isolados; não estão presentes no nível inferior de ordem; não podem ser explicadas e nem reduzidas aos elementos que interagiram para gerá-las.

Assim, há muita expectativa sobre o potencial dos sistemas de ILP-PD como alternativa que permite alcançar produção de alimentos com conservação do solo. Porém, essa expectativa somente será atingida se o manejo dos compartimentos solo-planta-animal estiver planejado para permitir

a ocorrência das interações sinérgicas que são potencialmente capazes de ocorrer.

## **2.2 Carbono e nitrogênio e seus efeitos nas propriedades do solo em sistemas integrados de produção.**

A adoção do plantio direto e o conseqüente incremento de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, e a redução do seu revolvimento, têm sido considerados como a forma mais eficaz para aumentar o estoque de carbono no solo. No entanto, não basta apenas ausência de revolvimento do solo, mas também, a adoção de sistemas de rotação que incluam culturas com relação C:N diferentes (alta e baixa) e alta formação de fitomassa, que são fundamentais para estocar carbono ao sistema (Bayer & Mielniczuk, 1999; Bayer et al., 2000a), bem como influenciar na ciclagem dos nutrientes, principalmente o N.

Por manter os teores de carbono em níveis adequados, além de proporcionar maior qualidade, sustentabilidade e capacidade de produção dos solos agrícolas, o SPD é também considerado o sistema de manejo mais eficiente em manter e recuperar a estrutura do solo (Paladini & Mielniczuk, 1991; Campos et al., 1995; Silva & Mielniczuk, 1997a; Bayer et al., 2000b; Amado et al., 2001; Beutler et al., 2001). Algumas plantas têm essa capacidade de recuperar a estrutura do solo, principalmente pela ação de suas raízes e da parte aérea, sendo a magnitude dessa melhoria variável entre as espécies (Wohlenberg et al., 2004). As raízes têm grande influência sobre a formação e a estabilidade de agregados, sendo que, as gramíneas, por apresentarem maior densidade e melhor distribuição espacial das raízes no solo, são consideradas como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas (Silva & Mielniczuk, 1997a).

Trabalhando com espécies hibernais de cobertura de solo, Campos et al. (1999) constataram que o sistema radicular da aveia preta proporcionou estabilidade de agregados superior a de outras espécies de inverno. Baseando-se nisso, pode-se afirmar que, em sistemas de manejo com boa adição de resíduos ao solo por culturas que possuam bom desenvolvimento radicular, ocorre maior estabilização dos agregados e, conseqüentemente,

maior proteção física da matéria orgânica no interior dos agregados.

Existem diversas formas pelas quais o carbono pode ser aportado ao solo, das quais se pode citar: resíduos vegetais sobre o solo após a colheita das culturas, raízes das plantas, exsudatos e micorrizas, que irão decompor, inicialmente pela ação da mesofauna e microorganismos do solo. Porém, esses processos dependem grandemente das condições ambientais (umidade e temperatura), além da capacidade produtiva das espécies vegetais e do sistema de manejo adotado. Em áreas com pastejo, a deposição de dejetos pelos animais, pode constituir-se em importante fator de reciclagem e de concentração de carbono e nitrogênio no solo, podendo afetar diretamente o aporte desses elementos em áreas com sistema de integração lavoura-pecuária.

Segundo Russell (1986), o aumento inicial de carbono orgânico em sistemas que integram pastagem ocorre inicialmente na superfície do solo, mas, com o decorrer do tempo, vai ocorrendo o acúmulo em profundidade no perfil do solo (Haynes & Willians, 1999). O aumento de carbono orgânico no solo é decorrente de um manejo do solo sustentável e resulta em melhorias no meio ambiente (sequestro de carbono), nas características físicas (formação de agregados e seus benefícios) e químicas do solo (aumento da CTC e maior suprimento de nutrientes), colaborando, finalmente, para o aumento da produção e diversificação de produtos e da renda bruta do sistema de exploração (Dubeux et al., 2004).

Alguns trabalhos apontam que a utilização SPD, promove acréscimos nos estoques de carbono no solo. Sá et al. (2001) encontraram um aumento no estoque de carbono, na camada de 0 a 40 cm, na ordem de  $19 \text{ Mg ha}^{-1}$ , após 22 anos de implantação do plantio direto em relação ao convencional em Latossolo no Paraná. Lovato et al. (2004) constataram um comportamento semelhante em um Argissolo, em que o estoque de carbono original na camada de 0 a 17,5 cm passou de  $32,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  para  $36,2 \text{ Mg ha}^{-1}$  no plantio direto, enquanto no convencional diminuiu para  $29,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

No caso de florestas, há grande acúmulo de carbono na parte aérea das plantas; já as pastagens apresentam alto aporte de carbono abaixo da superfície do solo, pelo sistema radicular. No entanto, esse acúmulo é maior na camada superficial do solo e cria gradiente em profundidade. Fujisaka et al.

(1998) e Lal (2002) atribuem ao sistema radicular de pastagens, a grande capacidade de acumular carbono no solo.

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 carbono no solo, visto que a incorporação desse elemento por parte das gramíneas é alta.

A capacidade das pastagens acumularem C no solo pode ser potencializada com adubações, como demonstrado por Schunke (2000), em *Braquiaria decumbens*, no Estado do Mato Grosso do Sul. Que constatou um aumento da massa seca das raízes, passou de 6,8 Mg ha<sup>-1</sup> para 7,7 Mg ha<sup>-1</sup>, e da liteira de 10,9 Mg ha<sup>-1</sup> para 12,4 Mg ha<sup>-1</sup> com a utilização de adubação fosfatada e potássica. Além do uso direto da adubação, a pastagem também pode aproveitar o resíduo da adubação da cultura antecessora de grãos, no caso da integração lavoura (de milho e soja, principalmente)-pecuária (de corte e de leite).

A dinâmica do carbono em sistemas que integram lavoura e pecuária pode ser diferente de sistemas que tratam estas duas atividades isoladamente. Salton et al. (2005) analisaram o estoque de C de um Latossolo Vermelho argiloso, submetido a diferentes sistemas de manejo, em um experimento de longa duração, considerando o estoque de C no solo com vegetação natural (VN), como o da situação original, anterior ao uso agrícola, o qual correspondia a 44,5 Mg C ha<sup>-1</sup>. Com a utilização agrícola do solo, em meados da década de 1970, com preparo convencional esse teor original teve uma redução para 41,9 Mg C ha<sup>-1</sup> pela monocultura da soja; a partir de 1995/96, com a utilização de outros sistemas de manejo, os estoques de C no solo aumentaram, onde utilizava-se sistemas que incluam pastagens, ultrapassando, inclusive, os valores iniciais (VN), apresentando taxas anuais de retenção de C, na camada de 0 a 20 cm do solo, em nove anos do experimento, de 0,91 e de 0,44 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente, para os sistemas pastagem permanente de *Brachiaria decumbens* e rotação soja por dois anos/pastagem (*B. decumbens*) por dois anos em plantio direto, ou seja sistema de ILP. Maiores taxas de retenção de C no solo estão associadas ao maior aporte de material orgânico ao solo pelas culturas (Lovato et al., 2004).



Carvalho et al. (2009a), em trabalho sobre dinâmica do carbono em sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia e no Cerrado, verificaram que a implantação de sistemas de ILP em áreas com sucessão de cultivos aumentou os estoques de C no solo, com taxas variando de 0,82 a 2,58 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, evidenciando que a magnitude do acúmulo no solo vai depender das culturas implantadas, das condições edafoclimáticas e, ainda, do tempo de adoção do sistema ILP.

Podem ocorrer variações no acúmulo de C no solo devido ao manejo adotado nos sistemas de pastejo, às diferenças no clima, aos atributos de solo, à posição na paisagem e à composição e comunidade de plantas. Rezende et al. (1999) demonstraram que a taxa de decomposição da liteira de pastagem de *Brachiaria humidicola* na Bahia, aumentou quando consorciada com leguminosas, devido à menor relação C:N destas, mesmo em diferentes lotações. Como regra geral, pode-se afirmar que situações de superpastejo irão resultar em menor quantidade de material vegetal disponível para o pastejo e, desta forma, menores quantidades de resíduos animais e o material senescente sobre o solo, como medido por Boddey et al. (2004), em pastagem de *B. humidicola*. Já, Reeder & Schuman (2002), em experimento com pastagens naturais nos Estados Unidos, encontraram maior acúmulo de carbono no solo na camada de 0-30 cm, em pastagens pastejadas em relação a não pastejadas.

Para que haja acúmulo de C no solo, há a necessidade de que a decomposição do material orgânico seja a menor possível, sendo que a estabilização da matéria orgânica pode ser entendida como um decréscimo do potencial de sua perda do solo (MOS) pela oxidação microbiana (Sollins et al., 1996). Quando um material orgânico é adicionado ao solo, o grau de decomposição e o tempo de permanência de cada fração originada serão determinados pela ação de diferentes mecanismos. Dentre eles, está a recalcitrância química do material orgânico, a interação com superfícies minerais e a proteção física (inacessibilidade aos organismos por oclusão). Todavia, esses mecanismos atuam simultaneamente e dependem, principalmente, do manejo de solo, das condições climáticas e do tipo de solo (Sollins et al., 1996; Diekow et al., 2005a; Roscoe & Buurman, 2003; Six et al., 2002). Desta forma, todos esses mecanismos influenciam a capacidade de

cada solo em estocar C em diferentes compartimentos (Bayer et al. 2001).

A recalcitrância química compreende a complexidade da composição química do material orgânico, a qual pode ser devida às propriedades do material orgânico (qualidade do resíduo), ou ser adquirida durante o processo de decomposição dos compostos orgânicos (Six et al., 2002; Sollins et al., 1996). Essas características influenciam a sua degradação por microrganismos e suas enzimas.

A interação organo-mineral ocorre quando os compostos orgânicos originados no processo de biodegradação dos resíduos e dos exsudatos das plantas apresentam propriedades coloidais e podem ser adsorvidos à superfície das partículas minerais do solo (Christensen, 1992; Hassink, 1997; Baldock & Skjemstad, 2000). Esta interação intermolecular reduz a taxa de degradação desses compostos orgânicos (Sollins et al., 1996). A grande heterogeneidade da MOS implica na possibilidade da ocorrência simultânea de diversos mecanismos envolvidos na interação com as superfícies dos minerais do solo (Deng & Dixon, 2002; Sollins et al., 1996). Esta interação é dependente da natureza intrínseca e das propriedades das espécies orgânicas, da carga e das propriedades superficiais da fração mineral, do conteúdo de água, dos cátions trocáveis, do pH e de outros fatores (Baldock & Skjemstad, 2000; Deng & Dixon, 2002), os quais irão determinar o tipo e a força da interação organo-mineral.

A proteção física da matéria orgânica, principalmente em estágios iniciais de decomposição, por sua alocação no interior dos agregados do solo, fará com que haja uma barreira física ao acesso dos microrganismos e suas enzimas (Sollins et al., 1996; Balesdent et al., 2000; Six et al., 2002), diminuindo a disponibilidade de O<sub>2</sub> para os processos oxidativos de decomposição (Ashman et al., 2003). A proteção física é importante para manutenção e aumento nos estoques de matéria orgânica particulada (MOP), a qual tem baixa recalcitrância e pouca interação com minerais do solo (Diekow et al., 2005a; Bayer et al., 2004). Todavia, a magnitude dessa proteção está diretamente relacionada aos processos de formação e estabilização de agregados (Oades, 1984; Baldock & Skjemstad, 2000; Six et al., 2000 e 2002; Pulleman et al., 2005), que variam com a textura e a mineralogia do solo, o sistema de preparo (Castro Filho et al., 2002; Conceição et al., 2008), a

qualidade e quantidade do material orgânico adicionado (Guareschi et al., 2012) e a atividade biológica do solo (Haynes & Beare, 1997). O mínimo revolvimento do solo no SPD resulta em menor destruição dos agregados e permite maior acúmulo e proteção da MOS, por oclusão (Conceição et al., 2008; Roscoe et al., 2006; Salton et al., 2008).

Os sistemas de manejo influenciam diretamente a capacidade de auto-organização do sistema solo, tanto pelo estoque de carbono orgânico quanto por sua labilidade, uma vez que a atividade dos microorganismos heterotróficos depende do estoque e da labilidade do CO presente; isto determina os fluxos de energia no solo e influencia as suas propriedades químicas, físicas e biológicas (Blair & Crocker, 2000; Vezzani & Mielniczuk, 2009). Desta forma, os dois componentes da matéria orgânica, quantitativo e qualitativo, podem ser integrados no Índice de Manejo de Carbono (IMC), proposto por Blair et al. (1995), o qual pode ser empregado como uma ferramenta útil para indicar a qualidade de sistemas de manejo do solo (Blair et al. 1995; Diekow et al. 2005b).

Na proposta original de Blair et al. (1995), a labilidade do carbono é obtida pela oxidação da MOS com  $\text{KMnO}_4$ . A fração oxidada foi chamada de matéria orgânica lábil e a outra fração, chamada de matéria orgânica não lábil, obtida pela diferença entre o C total e o C oxidado. Porém, a concentração de 333 mmol de  $\text{KMnO}_4 \text{ L}^{-1}$  pode promover a oxidação de um percentual da fração não lábil da MOS do solo, o qual é variável entre diferentes tipos de solo exigindo, assim, uma calibração para cada solo, o que limita a utilização do IMC, assim obtido. Uma alternativa para determinação da labilidade do C foi proposta por Diekow et al. (2005b), utilizando as frações lábeis da MOS obtidas pelo fracionamento físico densimétrico (fração leve,  $< 1,8 \text{ cm}^{-3}$ ) ou granulométrico (fração particulada  $> 53 \mu\text{m}$ ). Vieira et al. (2007) correlacionaram o C lábil obtido pelo fracionamento físico densimétrico e granulométrico da MOS e o C lábil obtido por sua oxidação química e verificaram que a concentração de 60 mmol de  $\text{KMnO}_4 \text{ L}^{-1}$  seria mais adequada para obter a fração lábil da MOS. Além disso, esses autores obtiveram uma boa relação entre o IMC calculado utilizando o método da oxidação química e o método do fracionamento físico para obtenção da fração lábil da MOS.

Diante do exposto, fica claro que, além do aporte de carbono ao sistema

solo, deve-se sempre levar em consideração a taxa de decomposição do material aportado, visto que a menor decomposição dos resíduos aportados significa maior acúmulo de carbono no sistema. Como os microrganismos são os agentes que transformam o carbono no solo, a sua importância fica mais evidenciada nos sistemas.

### **2.3 Ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção**

Os nutrientes minerais são responsáveis pelo crescimento de plantas e animais no sistema, por estarem presentes em várias funções que são essenciais. Em sistemas integrados, esses nutrientes continuam no sistema solo-planta-animal e são ciclados ou são perdidos pelos vários caminhos. Os nutrientes que são perdidos ou exportados de um compartimento continuam a circular dentro do sistema global e podem até mesmo retornar para o sistema de onde foram perdidos.

O sistema de integração lavoura-pecuária pode causar mudanças no solo, que podem incrementar ou diminuir o desenvolvimento radicular e o crescimento da parte vegetativa, tanto da pastagem como da cultura sucessora podendo, assim, haver um menor ou maior aporte de matéria orgânica em profundidade, afetando a ciclagem de nutrientes. Desta forma, deve-se adotar o sistema de manejo (intensidade de pastejo, espécies forrageiras, adubação, etc.) que consiga maximizar os benefícios da integração lavoura-pecuária.

A adição de resíduos de origem vegetal e animal ao solo estabelecem um fluxo de nutrientes, cuja magnitude pode promover alterações da atividade biológica, do estado de agregação do solo e, ainda, contribuir para o surgimento de propriedades emergentes do solo (Lovato et al., 2004). Muito se tem estudado sobre a dinâmica de nutrientes em sistemas agrícolas; no entanto, poucas são as pesquisas em sistemas de integração lavoura-pecuária no país que, por serem mais complexos, apresentam dinâmica diferenciada.

A velocidade de decomposição do material depende de suas características constitutivas e da facilidade com que pode ser decomposto. O material constituído de celulose é decomposto três vezes mais rápido em relação às partes lenhosas, ricas em taninos (Larcher, 2000). O fluxo contínuo de liberação de nutrientes oriundo da decomposição dos esterco pode ser

maior, quando comparado às gramíneas, pelo fato de que o esterco já sofreu uma pré-decomposição no rumem animal e isso fará com que alguns nutrientes estejam mais solúveis. Hoffmann et al. (2001) observaram que o esterco se decompõe completamente em 2,5 anos; no entanto, Esse et al. (2001) observaram, em solos arenosos erodidos da Nigéria, África, que somente cerca de 50% (meia vida) do esterco bovino desapareceu em um período de aproximadamente 610 dias, enquanto que Aita & Giacomini (2003) observaram uma meia vida de somente 51 dias para a aveia preta.

Os herbívoros podem alterar a ciclagem de nutrientes do solo por alterar a dinâmica de sua decomposição, pois participam direta e indiretamente na ciclagem de nutrientes do ecossistema de pastagem. De forma indireta, pela ingestão da forragem, os animais estimulam o crescimento das plantas pastejadas e, assim, levam as plantas a absorver mais nutrientes do solo. De forma direta, o animal participa na reciclagem dos nutrientes por meio da excreção de esterco e urina (Cantarutti et al., 2001).

A intensidade de pastejo pode acelerar ou retardar a ciclagem de nutrientes, por alterar as condições bióticas e abióticas do solo para a decomposição (Shariff et al., 1994). A deposição de dejetos e urina pelos animais em pastejo exerce uma forte influência na concentração de nutrientes e nas comunidades microbianas e, como resultado, melhora a disponibilidade de nitrogênio e a decomposição da matéria orgânica (McNaughton, 1992). Por outro lado, a remoção da cobertura vegetal, associada com altas intensidades de pastejo, pode alterar negativamente as propriedades do solo, como aumento da densidade, redução da umidade e da comunidade microbiana, refletindo em efeitos negativos nas taxas de decomposição.

O pisoteio animal influencia o ciclo do nitrogênio, por alterar a estrutura da pastagem, a composição da vegetação e o teor desse nutriente nos tecidos das plantas. Essas mudanças nas pastagens, provocadas pelo pastejo tendem a aumentar a disponibilidade de nitrogênio inorgânico, pela melhoria da qualidade da biomassa das plantas (Bardgett et al., 1998), pelo efeito sobre a imobilização microbiana e por alterar o fluxo de carbono das plantas em direção ao solo (Stark & Grellmann, 2002).

Para um dado local e clima, a taxa de decomposição está relacionada primariamente às propriedades físicas e químicas do material em

decomposição. Existe uma fração mais facilmente decomponível, variável com as concentrações de N e P, e uma fração menos decomponível, determinada pelo teor de lignina (Berg & McClaugherty, 2003). O clima também influencia essa taxa, sendo que, em períodos de estresse hídrico, a fração mais decomponível pode persistir, enquanto que, em anos climaticamente favoráveis, essa fração se decompõe rapidamente. Por outro lado, a fração menos decomponível é pouco influenciada pelos efeitos climáticos e é mais dependente da qualidade do material (Johansson et al., 1995).

A quantidade de nutrientes que retorna ao sistema via fezes e urina dos animais em pastejo varia amplamente em função da qualidade e da quantidade da forragem por eles consumida. À medida que se intensifica o sistema de produção, a participação das excreções na reciclagem dos nutrientes torna-se mais expressiva. A magnitude da interferência dos animais na reciclagem dependerá da distribuição das excreções na pastagem, da área afetada pelas excreções e do seu teor de nutrientes (Cantarutti et al., 2001). Assmann et al. (2003), avaliando a produtividade do milho cultivado em sequência a uma pastagem (aveia + azevém + trevo branco), fertilizada com doses de N e utilizada ou não, por pastejo contínuo, encontraram efeito positivo do pastejo sobre a transferência de N da pastagem para o milho.

Podem ocorrer variações no acúmulo de matéria orgânica no solo devido ao sistema de pastoreio, à diferenças no clima, aos atributos de solo, à posição na paisagem e à composição e comunidade de plantas. Rezende et al. (1999) determinaram valores para a taxa de decomposição da liteira de pastagem de *B. humidicola* na Bahia e verificaram que ela pode aumentar quando consorciada com leguminosas, devido à menor relação C:N, mesmo em diferentes lotações com animais. Sistemas de integração lavoura-pecuária que estão sendo submetidos a altas intensidades de pastejo, acarretarão 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 et al., 2007).

Além dos teores de matéria orgânica e da ciclagem dos nutrientes, provinda da matéria seca remanescente do pastejo nos sistemas de integração lavoura-pecuária, encontra-se mais um fator que poderá influenciar nos teores de nutrientes no solo, as excreções dos animais, na forma de esterco e de

urina (Haynes & Williams, 1993). 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 carbono microbiano, pois o aumento da biomassa microbiana tem sido relacionado ao aumento da matéria orgânica no solo (Rezende et al., 2004). A biomassa microbiana do solo, além de atuar como agente da transformação bioquímica dos compostos orgânicos que irão decompor o material serve, também, como reservatório de nutrientes, como N, P e S (Srivastava & Singh, 1991; Wardle, 1992).

Para Shariff et al. (1994), um pastejo moderado (44% de remoção da parte aérea) resultou em taxas mais altas de decomposição e mineralização de N em comparação aos tratamentos não pastejados ou intensamente pastejados (77% de remoção da parte aérea). A taxa de decomposição de raízes e da parte aérea das plantas pastejadas de forma moderada foi de 59%, enquanto que as áreas não pastejadas e as altamente pastejadas atingiram taxas de decomposição de somente 13% e 19%, respectivamente, no mesmo período.

### 3. CAPÍTULO II. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Histórico e caracterização da área experimental

O experimento faz parte de um projeto de parceria entre os Departamentos de Solos e de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A pesquisa vem sendo conduzida desde maio de 2001, na Fazenda do Espinilho, pertencente à Cabanha Cerro Coroado, cuja sede está localizada no município de São Miguel das Missões, na região fisiográfica do Planalto Médio - RS. A propriedade abrange os municípios de Tupanciretã e Jóia, sendo que a área experimental se localiza na latitude 28°56' S, longitude 54°20' W, altitude de 425 m.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006), profundo, bem drenado, com coloração vermelho-escura e textura 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) na camada 0-20 cm. A quantidade de óxidos de ferro extraídos por ditionito citrato bicarbonato e oxalato de amônio são de 110,2 e 5,2 g kg<sup>-1</sup> (Silva Neto et al., 2008). De acordo com esses autores, a caulinita e a hematita constituem os minerais dominantes da fração argila e de óxidos de ferro, respectivamente. O clima é subtropical com verão quente e úmido (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen (Kottek et al., 2006). A temperatura média é de 19 °C e precipitação média anual de 1850 mm (Brasil, 1973).

Antes do experimento, a área vinha sendo cultivada em sistema plantio direto por sete anos, com aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) durante o inverno e soja (*Glycine max*) durante o verão. O pastejo com bovinos na área experimental iniciou no outono de 2000, quando foi semeada uma mistura de aveia + azevém (*Lolium multiflorum* L.) e, posteriormente ao ciclo de pastejo, foi implantada a cultura da soja. Em novembro de 2000, foi realizada a amostragem do solo para sua caracterização física e química (Tabela 1). Após a colheita da soja em 2001 (maio), o experimento foi iniciado, com a implantação das espécies forrageiras de inverno: aveia preta (100 kg ha<sup>-1</sup> de sementes) em adição ao azevém (ressemeadura natural).



**Tabela 1** Atributos químicos do solo antes da implantação do sistema de integração soja-pecuária de corte em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de plantio direto (São Miguel das Missões RS)

Camada	pH	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 a 5	4,9	42,2	6,2	1,3	0,3	8,7	13,4	240	48	4
5 a 10	4,6	34,8	4,8	1,8	0,6	9,7	9,8	119	41	9
10 a 15	4,6	25,5	4,1	2,2	0,7	9,7	5,2	88	40	11
15 a 20	4,6	25,5	4,0	1,1	1,0	10,1	3,7	55	34	17

<sup>(1)</sup> Matéria orgânica do solo; <sup>(2)</sup> Ca, Mg e Al trocável (KCl 1 M); <sup>(3)</sup> Avaliação de P e K (Mehlich<sup>1</sup>); <sup>(4)</sup> Saturação por bases; <sup>(5)</sup> Saturação por Al.

### 3.2 Tratamentos e delineamento experimental

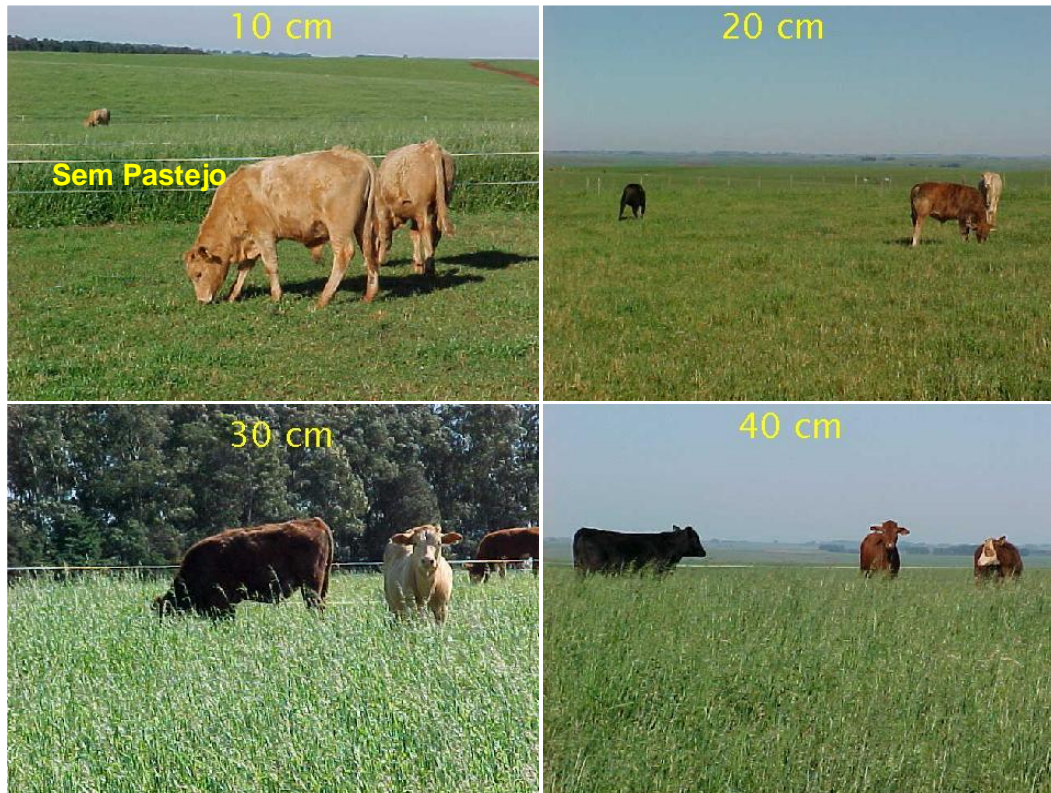
A área total do experimento é de aproximadamente 22 hectares, a qual foi dividida em parcelas experimentais cujos tamanhos variam de 0,8 a 3,2 hectares, aproximadamente, em função dos tratamentos aplicados (Figura 1).



**Figura 1** Vista geral da área experimental, com distribuição dos tratamentos de intensidade de pastejo. Fazenda do Espinilho, São Miguel das Missões - RS.

Os tratamentos constam de diferentes alturas de manejo do pasto: 10 cm (P-10), considerado pastejo intenso, 20 cm e 30 cm (P-20 e P-30), considerados como pastejos moderados, e 40 cm (P-40), tido como pastejo leve e um tratamento sem pastejo (SP), distribuídos em delineamento de

blocos ao acaso, com três repetições (Figura 2).



**Figura 2** Alturas de manejo da pastagem de aveia preta + azevém em plantio direto, submetida ao pastejo de bovinos. Foto: Cassol (2003).

### 3.3 Condução do experimento

O sistema consta da produção integrada de bovinos de corte em pastejo no inverno, e soja no verão, em plantio direto. Têm-se utilizado bovinos jovens, com idade ao redor de dez meses (na entrada da pastagem), machos e castrados, oriundos de cruzamentos entre as raças Angus, Hereford e Nelore, sem grau de sangue definido e com peso vivo médio inicial entre 190 e 200 kg.

As alturas de manejo do pasto são obtidas variando-se a carga animal de acordo as alturas medidas aproximadamente a cada 15 dias, retirando-se animais das parcelas quando a altura real for menor que a pretendida e vice-versa. A altura do pasto é determinada por meio de um bastão graduado (*Sward stick*), cujo marcador corre por uma “régua” até tocar a primeira lâmina foliar, procedendo-se então à leitura da altura (Barthram, 1981). O método de pastejo adotado é o contínuo e, geralmente, os animais entram na área quando

a pastagem atinge um acúmulo médio de 1.500 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca (aproximadamente 25 cm). 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, totalizando em média 110 dias de pastejo.

Após a retirada dos animais, a pastagem tem sido dessecada para a semeadura da soja, que ocorre em meados de novembro de cada ano, no sistema plantio direto, sendo os tratos culturais os recomendados para a cultura (RPS-Sul, 2002 a 2012). As colheitas da soja são realizadas entre os meses de abril e maio de cada ano.

### 3.3 Adubação e calagem

Ao final do primeiro ciclo de pastejo e antecedendo a implantação do primeiro ciclo da soja (novembro de 2001), foi efetuada uma aplicação superficial de calcário em toda área, na dosagem de 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> com PRNT de 62%, dose equivalente à recomendada para elevar o pH do solo até 5,5 na camada 0–10 cm, para a condição de plantio direto consolidado, de acordo com CQFS RS/SC (1995; 2004). No outono de 2010, antecedendo ao pastejo, o calcário foi reaplicado na superfície do solo, em sub-parcelas (20 x 30 m) localizadas dentro das parcelas pastejadas, na dose de 3,6 Mg ha<sup>-1</sup>, novamente com o objetivo de elevar o pH do solo a 5,5 na camada de 0 – 10 cm, conforme CQFS RS/SC (2004).

A adubação do experimento consta da aplicação de nitrogênio na pastagem e de fósforo e potássio na soja, em doses para produtividades entre 4,0 e 7,0 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca de pasto e de 4,0 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos de soja (CQFS-RS/SC, 2004), considerando-se os valores de análise do solo.

A adubação de cobertura primeiro ano da pastagem foi realizada aos 40 dias após a semeadura (DAS) da mesma, utilizando-se 45 kg de N ha<sup>-1</sup> (ureia) e de 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (superfosfato simples). No segundo cultivo da pastagem, em maio de 2002, foram aplicados 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (adubação de base), na forma de superfosfato simples e, aos 40 DAS, efetuou-se adubação nitrogenada de cobertura de 45 kg de N ha<sup>-1</sup>, na forma de ureia. A partir de 2002, continuou-se a aplicação anual de 45 kg de N ha<sup>-1</sup> aos 40 DAS da pastagem, exceção feita ao ano de 2003, quando se aplicou 90 kg de N ha<sup>-1</sup>.

Para a cultura da soja foram utilizados na semeadura 300 kg ha<sup>-1</sup> das

fórmulas 0-20-30; 5-20-20; 0-20-30 e 0-20-30, nas safras 2002/03, 2003/04, 2004/05 e 2005/06, respectivamente, sendo que também era realizada a inoculação das sementes com *Rhizobium* específico. A partir da safra 2006/07, a adubação da soja passou a ser de 240 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 0-25-25, em cobertura após a semeadura.

Detalhes de amostragens de solo e de avaliações e determinações específicas são apresentados nos respectivos capítulos.

## **4. CAPÍTULO III. ESTOQUES E FRAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO E DE NITROGÊNIO DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO**

### **4.1 Resumo**

Sistemas de integração lavoura-pecuária em plantio direto de longa duração alteram a dinâmica da matéria orgânica, provocando modificações nos estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo, conforme diferentes aportes de resíduos animais e vegetais. O objetivo deste estudo foi avaliar os estoques de C orgânico (CO) e de N total (NT) e suas respectivas frações físicas da matéria orgânica (particulada e associada aos minerais) em solo submetido a diferentes intensidades de pastejo, em plantio direto. O experimento foi iniciado em 2001, em um Latossolo Vermelho distroférico, após a colheita da soja. Os tratamentos constaram de alturas de manejo do pasto (aveia-preta + azevém): 10, 20, 30 e 40 cm, com bovinos de corte, e uma área sem pastejo (SP). Os ciclos de pastejo ocorreram após o cultivo de soja em um delineamento de blocos ao acaso com três repetições. Amostras de solo foram retiradas no início do experimento (maio 2001) e após nove anos (maio de 2010), para a avaliação dos teores e estoques de CO e de NT e suas frações. Intensidades de pastejo moderadas (20 e 30 cm) e leve (40 cm) de altura do pasto promoveram aumento nos estoques de CO total, CO particulado, NT e N na matéria orgânica particulada no solo, semelhantemente ao observado na área sem pastejo. Na maior intensidade de pastejo (10 cm), houve uma menor adição no estoque desses elementos, com degradação da qualidade da matéria orgânica. Valores do índice de manejo de carbono (IMC), em comparação com os da mata nativa, tomada como referência, indicam alta degradação da qualidade da matéria orgânica no manejo do pasto com a altura de 10 cm.

## 4.2 Introdução

A integração da lavoura com a pecuária (ILP), utilizada como atividade voltada à produção de alimentos, vem sendo usada há muito tempo e com bons resultados, desde o período Neolítico, quando ocorreu a domesticação das plantas e dos animais (Carvalho et al., 2007). Segundo Keulen & Schiere (2004), os sistemas ILP alcançam 2,5 bilhões de hectares no mundo, sendo responsáveis por mais de 50 e 90% da carne e do leite produzidos, respectivamente.

Os sistemas de integração lavoura-pecuária são alternativas promissoras para uma agricultura sustentável, com interações positivas entre culturas e animais, proporcionando efeitos benéficos ao ambiente e alta viabilidade econômica (Allen et al., 2007; Balbinot Junior et al., 2009). Os efeitos benéficos passam pela otimização da produtividade na propriedade até à melhoria da qualidade do solo ao longo do tempo (Entz et al., 2002), desde que o sistema seja manejado corretamente. A inserção de animais torna mais eficiente o retorno dos nutrientes no processo de ciclagem (Carvalho et al., 2006), pelo aumento da produção de biomassa total, tanto aérea quanto radicular, devido à desfolhação, novos ciclos de rebrota e perfilhamento. Essa maior produção de raízes proporcionada pela forrageira em pastejo (D'Andrea et al., 2004), faz com que o solo consiga reter maior quantidade de C, constituindo-se, portanto, em um importante dreno de C atmosférico (Nicoloso et al., 2008).

Sistemas que englobam o uso de gramíneas conduzidos no sistema plantio direto são capazes de manter ou até mesmo elevar os teores de matéria orgânica do solo (MOS) nas camadas superficiais (Dieckow et al., 2005b; Loss et al., 2009; Batlle-Bayer et al., 2010). O manejo das pastagens e a intensidade de pastejo em sistemas de integração lavoura-pecuária, por resultarem em diferentes quantidades de massa de forragem e nutrientes reciclados, podem aportar diferentes quantidades de C e N ao solo (Nicoloso et al., 2006; Lopes et al., 2009; Carvalho et al., 2010).

Por outro lado, diminuição no armazenamento de C e N no solo em longo prazo em pastagens com altas pressões de pastejo têm sido encontradas por vários autores (Cui et al., 2005; Han et al., 2008; Steffens et al., 2008).

Ingram et al. (2008) relataram, por exemplo, que altas intensidades de pastejo resultaram em perdas de 30% de C, na camada de 0-60 cm, em uma mistura de pastagens, que foram atribuídas principalmente ao menor acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, tornando-a mais vulnerável à perdas. He et al. (2011) também observaram diminuição dos estoques de carbono e de nitrogênio nas camadas de 0-10 e 10-30 cm, com o aumento da pressão de pastejo por ovelhas em pastagem de clima temperado no norte da China; contudo observaram que o uso de uma pressão moderada resultou em incremento nos estoques desses elementos.

Nicoloso et al. (2008) constataram acúmulo de carbono orgânico em um Latossolo no Rio Grande do Sul, em pastagem consorciada de aveia e azevém não adubada em intervalos de pastejo de 28 dias durante o inverno, associado à utilização do milho no verão. Por outro lado, a maior frequência de pastejo (intervalo de 14 dias) e a utilização de soja no verão reduziram os estoques de carbono do solo após quatro anos, devido ao menor aporte de C. Franzluebbbers & Stuedemann (2008b), após três anos de ILP em plantio direto, verificaram que os estoques de C e N e suas frações não foram influenciadas pelo pastejo de bovinos, apresentando um estoque de NT de 3,88 e 4,14 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para as áreas patejadas e não patejadas no inverno.

A dinâmica de nutrientes, principalmente C e N, pode ser afetada pelo manejo com ILP em diferentes intensidades de pastejo. Assim, em condições de longo prazo, diferentes estoques de C e N no solo são esperados, principalmente na fração particulada, mais sensível ao manejo adotado. Segundo Conceição et al. (2005), a fração particulada de C e N, é mais sensível às alterações no solo, sendo uma das primeiras a indicar as alterações no balanço desses nutrientes, afetando toda a dinâmica do C e N, sendo que essas perdas podem ser mais pronunciadas nas áreas com maiores intensidades de pastejo, pelo menor aporte de resíduos vegetais ao sistema.

O objetivo deste estudo foi determinar as formas e as frações de carbono e nitrogênio do solo, seus estoques e índice de manejo de carbono (IMC) após nove anos de um sistema de integração soja-bovinos de corte em diferentes intensidades de pastejo em plantio direto.

### 4.3 Material e métodos

Para determinar as quantidades dos resíduos acrescentados ao solo em cada tratamento de pastejo, foram coletadas amostras da parte aérea vegetal, para quantificação da matéria seca adicionada no período (média de nove anos) no final do período de pastejo (residual). As amostras das pastagens foram coletadas com o auxílio de um quadro de aço com 0,25 m<sup>2</sup> de área interna, e, realizada 10 amostragens por parcela. A determinação da massa de raízes, foi realizada por Conte et al. (2007) e Souza et al. (2008) na profundidade de 0 a 10, com auxílio de um trado caneca de 6,5 cm de diâmetro. As amostras de solo coletadas foram dispersas em água e peneiradas com 1 (um) mm de malha, para separação das raízes.

Na cultura da soja, foram coletadas plantas (anos 2009, 2010 e 2011) no estádio R4, conforme recomendado por Padovan et al. (2002), para obter o material vegetal aportado ao solo por essa cultura. Para isso, foram coletadas plantas de soja em dez locais de um metro linear por parcela. A produção de grãos dessa cultura (média de nove anos) foi determinada na maturação fisiológica coletando-se aleatoriamente também 10 locais de um metro linear por parcela. No estádio de florescimento pleno (R2), foi avaliado o sistema radicular das plantas até 20 cm de profundidade do solo. Para determinar a massa de raízes de soja, foram retirados monólitos de solo de 0,2 m de largura, comprimento e profundidade, na linha de semeadura, após, as raízes foram lavadas e secas em estufa a  $55 \pm 5$  °C até massa constante.

As adições de C via resíduos vegetais ao solo foram calculadas em função da quantidade de matéria seca adicionada ao solo pela parte aérea das pastagens de inverno e pela soja no verão, considerando uma concentração média de C de 45% para esse cálculo (valor médio encontrado para os resíduos). Para o cálculo da adição de N pelos resíduos, foi considerado teor médio de N das análises dos resíduos da pastagem (19,26 g kg<sup>-1</sup>), soja (19,68 g kg<sup>-1</sup>), raízes da pastagem (10,02 g kg<sup>-1</sup>), raízes da soja (19,70 g kg<sup>-1</sup>) e grãos de soja (55,90 g kg<sup>-1</sup>). Quanto ao N do esterco+urina foi considerado o teor médio de N encontrado no esterco (24,74 g kg<sup>-1</sup>) e por diferença do N consumido menos o N do esterco e o do retido no animal estimou-se o N que



voltou ao solo via urina.

As coletas de solo para fins de avaliação dos estoques de carbono e de nitrogênio foram realizadas em maio de 2001 e 2010, no início e após nove anos da implantação do experimento. Para a realização da coleta, foi aberta uma minitrincheira de 30 x 30 x 30 cm e, posteriormente, uma pá de corte foi cravada no solo retirando um bloco de solo. A partir disso, foram coletados, com auxílio de uma espátula, solo em sete camadas: 0 a 2,5; 2,5 a 5; 5 a 7,5; 7,5 a 10; 10 a 15; 15 a 20 e 20 a 30 cm, e a camada de 30 a 40 cm foi coletada com auxílio de um trado holandês. Cada amostra foi obtida pela coleta em oito pontos por parcela, formando assim, uma amostra composta e representativa dos tratamentos, nas três repetições de campo. Concomitantemente, foi coletada, em maio de 2010, pelo mesmo procedimento acima descrito e nas mesmas camadas e, em três repetições, amostras de solo de mata nativa preservada, próxima ao experimento, para efeito de comparação. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas até o Laboratório de Pesquisa em Fertilidade do Solo da UFRGS, secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm e armazenadas.

O fracionamento físico da matéria orgânica foi realizado segundo Cambardella & Elliot (1992); para isso, foram pesados 20 g do solo armazenado, 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 16 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 secado em estufa a  $50^\circ \text{C}$  até massa constante, moído em gral de ágata e analisado seu teor de carbono orgânico, denominado de carbono orgânico particulado (COP). O carbono orgânico associado aos minerais (CAM) foi obtido pela diferença entre o carbono orgânico total e o carbono orgânico particulado. Para a determinação dos teores de carbono e nitrogênio orgânico, total e particulado, foi utilizado aparelho analisador elementar TruSpec-CHN.

Os estoques de COT, NT, COP e N na fração no solo foram calculados em massas equivalentes de solo. Este método 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). Dessa forma, o cálculo dos estoques foram baseados nas densidades de solo de 1,21 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  $1,35 \text{ kg dm}^{-3}$ . Para o cálculo do estoque total de C e N e das frações, foi realizada a soma dos estoques em cada camada analisada.

O cálculo do Índice de Manejo do Carbono (IMC) e de seus componentes foi efetuado de acordo com Blair et al. (1995), com as adaptações de Vieira et al., (2007), que consideram o C-MOP como a fração lábil e a matéria orgânica associada aos minerais (C-MOM) como a não lábil.

O IMC e os seus componentes, índice de estoque de carbono (IEC) e o índice de labilidade do carbono (ILC), foram calculados para as camadas de 0-20 e 20-40 cm, considerando como referência o solo da área de mata nativa (IMC = 100%),

$$\text{IMC} = \text{IEC} \times \text{ILC} \times 100 \text{ onde,}$$

IEC = estoque de COT do tratamento/estoque de COT do tratamento referência

$$\text{ILC} = \text{LC do tratamento} / \text{LC do tratamento referência}$$

A labilidade do carbono (LC) foi calculada para as camadas acima mencionadas, sendo a relação existente entre a fração de carbono lábil e entre a fração de carbono não-lábil, obtida de acordo com equação abaixo:

$$\text{LC} = \text{C lábil} / \text{C não lábil, onde:}$$

C lábil = estoque de carbono da fração particulada;

C não lábil = estoque de carbono da fração associada a minerais;

Os resultados foram submetidos à ANOVA. Quando a análise de variância foi significativa ( $p < 0,05$ ), foi aplicado teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) ou o teste t ( $p < 0,05$ ) para distinção entre as médias.

#### 4.4 Resultados e Discussão

As diferentes intensidades de pastejo resultaram em distintos aportes de resíduos culturais sobre a superfície do solo e, conseqüentemente diferentes adições de C e N via resíduos de parte aérea e raízes (Tabela 2).

Pode-se observar que a adição de C e N oriunda dos resíduos vegetais da soja manteve-se estável, em média, de  $1,90 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e  $104 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para C e N, respectivamente. Quanto à adição desses nutrientes dos resíduos da pastagem, eles foram influenciados pelas intensidades de pastejo.

Assim, verificou-se, no pastejo mais intenso, redução de, em média, 30% na adição de C ao solo dos resíduos oriundos do pastejo (parte aérea, raízes e esterco). O pastejo influenciou na adição anual de carbono tendo uma diminuição de 17% e 33% nas alturas de manejo de 20 e 10 cm, respectivamente, em relação à área SP, e um pequeno acréscimo de 2% e 1% para as alturas de manejo de 30 e 40 cm, respectivamente, em relação à área SP. Esses resultados corroboram com os de Nicoloso et al. (2008), que verificaram uma diminuição na adição de C de 54 e 59% nas áreas de pastejo a cada 28 e 14 dias respectivamente, em relação a área sem pastejo antecedendo o cultivo de soja. Como se pode verificar na Tabela 2, a maior influência dos tratamentos de alturas de pastejo quanto à fonte de C foi dos resíduos da pastagem, representando, em média, 45% do total de C.

A adição de nitrogênio também foi influenciada pelas intensidades de pastejo, porém em menor intensidade, pois cerca de 90% do N retorna para o solo, na forma de esterco e urina (Haynes & Willians, 1993). Segundo Oenema et al. (2005), o N que retorna ao solo via urina é de cerca de 60 a 70% e é prontamente utilizável pela pastagem e o restante é perdido via volatilização de  $\text{NH}_3$ , desnitrificação, lixiviação e escoamento superficial. Considerando que 60% do N da urina e do esterco são perdidos, o incremento na adição anual de N é de 172, 195, 244, 219 e 223  $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , para as intensidades de 10, 20, 30, 40 cm e SP, respectivamente. Pode-se observar, na Tabela 2, que a maior fonte de N entre os resíduos, é a soja, responsável, em média, por 50% da adição anual de N.

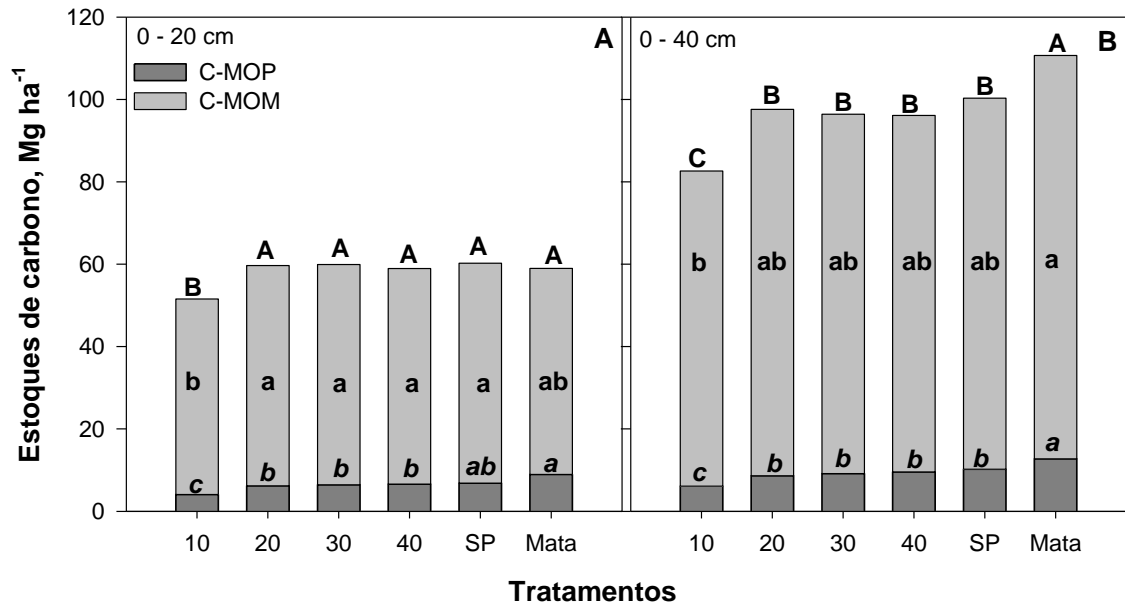
No entanto, dois aspectos devem ser salientados quando se considera a dinâmica de C e N em sistemas de pastejo: a frequência de desfolhação e o sistema de manejo do pastejo (rotativo ou contínuo). No pastejo contínuo com baixas alturas, como o tratamento 10 cm, a alta taxa de desfolha restringe a renovação do aparelho fotossintético (Lemaire et al., 2009). Por outro lado, intensidades moderadas de pastejo (20 e 30 cm de altura) promovem o equilíbrio entre a colheita de forragem e o desenvolvimento do pasto, contribuindo para a acumulação de resíduo.

**Tabela 2** Estimativa da taxa de adição anual de carbono orgânico e nitrogênio total em diferentes intensidades de pastejo em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões, RS)

Altura de manejo do pasto <i>cm</i>	Ciclagem de resíduos							Saídas	
	Pastagem		Animal		Soja			Grãos <sup>(1)</sup>	
	Parte aérea <sup>(1)</sup>	Raízes <sup>(2)</sup>	Urina+ esterco <sup>(3)</sup>	Total	P. aérea <sup>(4)</sup>	Raíz <sup>(4)</sup>	Total		
	.....Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> .....								
10	1,40	1,40	1,22	4,02	5,13	1,72	6,85	2,75	
20	2,98	1,30	0,81	5,09	5,06	1,91	6,97	2,78	
30	4,74	1,20	0,61	6,54	5,56	1,70	7,26	2,73	
40	5,80	1,00	0,46	7,26	5,04	1,69	6,73	3,02	
Sem Pastejo	5,50	0,70	....	6,20	5,37	2,22	7,59	2,97	
	Adição de carbono							Saídas	Adição anual
	.....Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> .....								
10	0,63	0,63	0,55	1,81	2,31	0,77	3,08	1,24	3,65
20	1,34	0,59	0,36	2,29	2,28	0,86	3,14	1,25	4,18
30	2,13	0,54	0,27	2,94	2,50	0,77	3,27	1,23	4,98
40	2,61	0,45	0,21	3,27	2,27	0,76	3,03	1,36	4,94
Sem Pastejo	2,48	0,32	....	2,79	2,42	1,00	3,42	1,34	4,87
	Adição de nitrogênio							Saídas	Adição anual
	.....kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> .....								
10	27,02	14,03	72,26	113,30	222,2	33,88	256,0	153,73	215,6
20	57,47	13,03	57,33	127,83	219,1	37,63	256,8	155,40	229,2
30	91,28	12,02	47,35	150,65	240,8	33,49	274,3	152,61	272,3
40	111,78	10,02	37,17	158,97	218,3	33,29	251,6	168,82	241,7
Sem Pastejo	105,93	7,01	....	112,94	232,6	43,73	276,3	166,02	223,2

<sup>(1)</sup> Média de nove anos; <sup>(2)</sup> Dados de Conte et al. (2007) e Souza et al (2008); <sup>(3)</sup> Média 2009 e 2010; <sup>(4)</sup> Média 2009, 2010 e 2011

O estoque de carbono total do solo na camada de 0-20 cm (Figura 3A), após nove anos, foi menor ( $p < 0,05$ ) na maior intensidade de pastejo (10 cm de altura do pasto) em relação aos demais tratamentos de manejo, que não diferiram entre si. Essa maior intensidade de pastejo também resultou em menor aumento no estoque de COT, passando de  $51,00 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (estoque inicial do experimento em 2001) para  $51,54 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , após nove anos.



**Figura 3** Estoques de carbono orgânico, carbono na matéria orgânica particulada (C-MOP) e carbono na matéria orgânica associada aos minerais (C-MOM) nas camadas de 0 a 20 cm (A) e de 0-40 cm (B) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS). Alturas de pastejo, cm (10, 20, 30 e 40); SP = Sem pastejo

A exemplo do que ocorreu nas intensidades baixas e moderadas e no tratamento sem pastejo (Figura 3A), no período do estudo deste experimento, Carvalho (2010) constatou aumento nos estoques de carbono, na camada de 0-30, quando na presença de animais após quatro anos de implantação do experimento em ambiente tropical, no cerrado brasileiro, onde o estoque de carbono foram de  $62,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  em áreas de ILP, e de  $56,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  na área de lavoura com sucessão de culturas e sem pastejo. Piva (2012) verificou, após cinco anos, maiores estoques de C em sistemas de ILP e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em relação à lavoura em plantio direto e sem pastejo

no inverno.

Os estoques diferenciados de carbono nesses trabalhos devem-se ao efeito do sistema de manejo ser variável no conteúdo de matéria orgânica, em função da interação do manejo com fatores, como clima e tipo de solo, bem como efeito da utilização de pastagens e culturas de grãos, que aportam diferentes quantidades e qualidade de resíduos. Os fatores climáticos, como temperatura e umidade têm efeito na atividade microbiana (Brookes, 1995) e, conseqüentemente, na ciclagem de nutrientes. A textura e a mineralogia do solo apresentam interação com a matéria orgânica, pois solos mais argilosos e com predominância de óxidos de Fe e Al, resultam numa maior proteção física, em virtude da formação de complexos argilo-orgânicos (Six et al., 2002; Tan et al., 2004). Entretanto, é importante salientar que estudos recentes têm sugerido a possibilidade de uma saturação na quantidade de C que pode ser armazenado no solo (Six et al., 2002; Stewart et al., 2007; Bayer et al., 2011).

O aumento médio dos estoques de COT na maioria dos manejos, por ocasião da última coleta, foi de 8,68 Mg ha<sup>-1</sup>, o que representa um aporte médio anual de 0,96 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono. No pastejo a 10 cm, apesar da falta de significância, houve um pequeno incremento, de 0,54 Mg ha<sup>-1</sup>, ou seja, 60 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. O valor obtido nesse tratamento, após nove anos é menor do que o observado por Souza et al. (2009) após três (2004) e seis (2007) anos de condução do presente experimento. Os incrementos anuais de COT encontrados nos demais tratamentos foram semelhantes, em torno de 59 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 3). Segundo Diekow et al. (2005b), há um limite de acúmulo de material orgânico para os solos em geral, em função dos fatores que controlam o seu ciclo biogeoquímico. Esta taxa é maior que o valor de 0,33 Mg ha ano<sup>-1</sup> verificado por Souza et al. (2009), seis anos após o início do experimento.

A conversão de sistemas naturais, como florestas e campos nativos, para sistemas agrícolas mal manejados reduzem os estoques de C (Fujisaka, et al., 1998; Dieckow et al., 2009). Mas, por outro lado, sistemas agrícolas sob plantio direto, com rotação de culturas e manejados de forma correta, podem manter os estoques de C ou, até mesmo, superar os valores originais (Bayer et al., 2006a; Lovato et al., 2004; Carvalho et al., 2009b).

Os estoques de C-MOP na camada 0 a 20 cm (Figura 3A), variaram de 4,1 a 9,0 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para o sistema de alta intensidade de

pastejo (10 cm) e para a mata, tomada como referência. O menor estoque de C-MOP verificado para esse manejo, indica que o mesmo foi inadequado, no qual o resíduo é insuficiente para permitir ao sistema se sustentar. Segundo Assmann et al. (2003) e Cassol (2003), há necessidade de manter de 2 a 3 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de massa seca de pastagem para o SPD ser sustentável. Desta forma, os dados de estoque de carbono, tanto total quanto na fração particulada (Figura 3 A), indicam claramente que essa intensidade de manejo do pasto (10 cm) não é sustentável em médio prazo. Esta situação é bastante clara na comparação da contribuição dos valores de C-MOP da mata (15%), com aqueles observados na área sem pastejo (11%) e no pastejo mais intenso (apenas 8%).

A variação nos estoques de C está diretamente relacionada ao aporte total de C. Desta forma, pelos dados da Tabela 2 e pela diminuição dos estoques de COT observados na menor altura de pastejo (10 cm) e estoques iguais, para as demais alturas de pastejo, pode-se concluir que há uma necessidade de adição anual de C de 4,18 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 2), o que equivale a uma quantidade de aproximadamente 9 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria seca (parte aérea, raízes e esterco) para a manutenção dos estoques originais de C no solo. Os resultados obtidos para adição anual de C foram semelhantes aos encontrados por Bayer et al. (2006b), que verificaram a necessidade de aportar 3,9 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C ao solo (8,7 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de MS) e por Nicoloso et al. (2008) que verificaram que há a necessidade de aportar 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C ao solo (10 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de MS) em um sistema de ILP para manutenção dos estoques originais.

O aporte adequado e contínuo de resíduos é importante para a sustentabilidade dos sistemas de ILP. Os resíduos contribuem para aportar C-MOP (MO lábil) ao solo que, posteriormente, vai aumentar o compartimento estável da MOS e a associada aos minerais. Incrementos no C-MOP garantem o fluxo positivo de C ao solo para manter ou aumentar a atividade biológica e a qualidade do solo (Salton et al., 2005), bem como afetando toda a ciclagem de nutrientes (Assmann et al., 2003). Por outro lado, caso o solo não disponha de MO lábil em quantidade suficiente para suprir suas necessidades, os processos de oxidação da matéria orgânica estabilizada irão resultar em redução do estoque de C no solo, dando início ao processo de degradação, com perda de

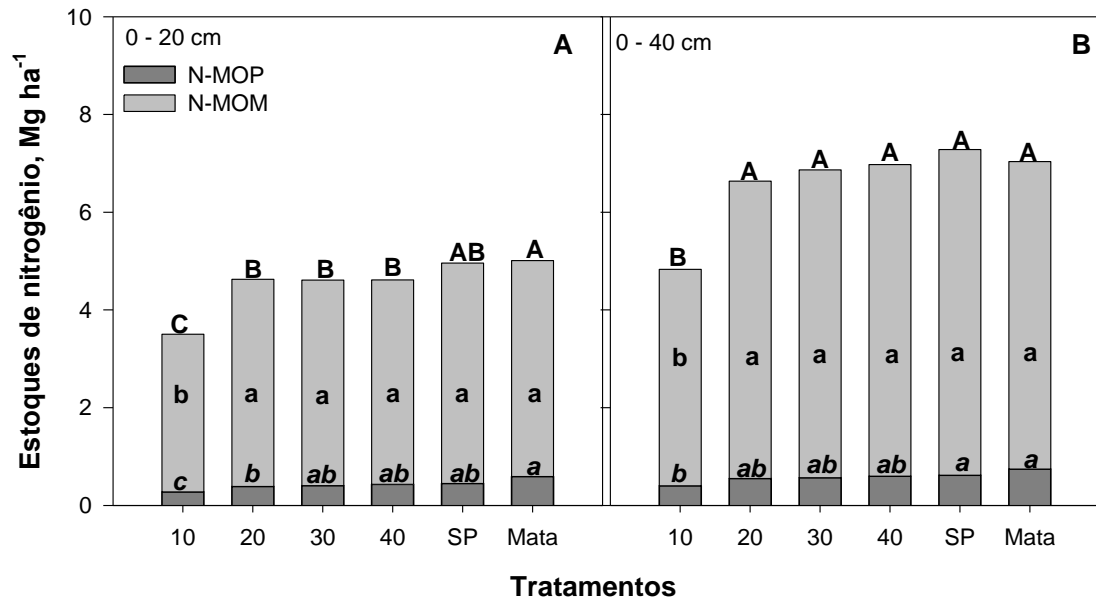
sua qualidade (Salton et al., 2005).

Os estoques de C na camada de 0-40 cm (Figura 3B) seguiram a mesma tendência observada para a de 0-20 cm, apresentando maiores estoques COT, C-MOP e C-MOM na mata, seguida pelos pastejos moderados a leves (20, 30 e 40 cm), as quais não diferiram da área sem pastejo (SP), mas que foram superiores ao pastejo intenso (10 cm). Os estoques de COT na camada de 0 a 40 cm foram maiores na área de mata nativa ( $110,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), seguidos da área SP e das intensidades de pastejo de (20, 30 e 40 cm). O menor estoque de COT ( $82,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) também foi verificado na maior intensidade de pastejo, sendo 25,3% menor em relação a área de mata nativa, e, em média, 15,4% inferior aos demais tratamentos de pastejo. Esse menor acúmulo deve-se à sua menor adição de resíduos, uma vez que, com excessão à maior respiração microbiana (Souza et al., 2010), as demais saídas do sistema foram semelhantes (Tabela 2). Os maiores estoques de COT na mata nativa deve-se ao fato de que, ao longo do tempo, acumulou mais C em profundidade. Por se tratar de um sistema que nunca foi perturbado, onde ocorre a presença plantas de médio e grande porte, com sistema radicular mais profundo, acumula C em profundidades maiores.

Para o nitrogênio total (NT), também foi verificado, na camada 0 a 20 cm (Figura 4) um aumento no seu estoque nas alturas de manejo do pasto de 20, 30 e 40 cm e na área SP em relação aos valores verificados na instalação do experimento em 2001, de  $4,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de NT. Na comparação com os teores iniciais, houve um pequeno acréscimo: de 0,23; 0,21; 0,22 e  $0,56 \text{ Mg ha}^{-1}$  para as intensidades de pastejo de 20, 30 e 40 cm e SP, respectivamente. Esse baixo acréscimo de NT durante os nove anos pode ser explicada principalmente pela baixa adubação nitrogenada realizada no experimento, em média de  $45 \text{ kg N ha}^{-1}$  e, ainda pela intensa ciclagem de N (Figura 4). Além, da baixa entrada de N via fertilização mineral e a lenta mineralização dos resíduos (vegetais e esterco dos animais), o N é um elemento muito dinâmico no solo, podendo sofrer perdas, tanto da adubação quanto da ciclagem (mineralização) e outras perdas, como por volatilização de  $\text{NH}_3$ , desnitrificação, lixiviação e escoamento superficial (Haynes & Williams, 1993). No manejo mais intenso (10 cm), houve um decréscimo de  $0,90 \text{ Mg ha}^{-1}$  de NT, levando à uma taxa de perda de  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de NT. Essa alta taxa de perdas aliada à baixa



adubação determina baixa adição de resíduos da pastagem (Tabela 2), mesmo com uma exportação similar pelos produtos comerciais gerados (carne e grãos), induzindo a uma condição de insustentabilidade desse manejo.



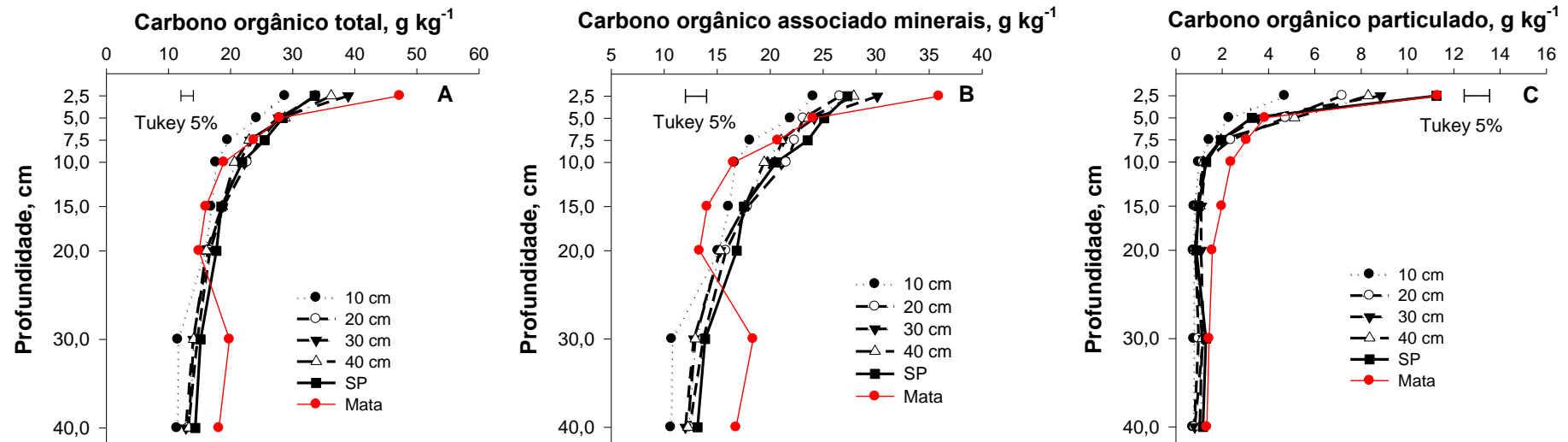
**Figura 4** Estoques de nitrogênio, nitrogênio na matéria orgânica particulada (N-MOP) e nitrogênio matéria orgânica associada aos minerais (N-MOM) nas camadas de 0 a 20 cm (A) e de 0 a 40 cm (B) em um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões – RS). Alturas de pastejo, cm (10, 20, 30 e 40); SP = Sem pastejo

É importante ressaltar, porém, que a área SP apresenta valores semelhantes de N total aos da mata nativa, tomada como referência, enquanto as alturas de manejo do pasto de 20, 30 e 40 cm apresentam valores intermediários, porém superiores aos do pastejo mais intenso. Isto, vem a comprovar resultados anteriormente obtidos no experimento (Souza et al., 2008; 2009; Silva et al., 2011), uma vez que existe uma relação direta entre a altura do pasto e a massa de forragem da parte aérea (Carvalho et al., 2011). O estoque de N na camada de 0-40 cm (Figura 4B) seguiu a mesma tendência observada para a camada de 0-20 cm, apresentando o maior estoque de NT, N-MOP e N-MOM na mata e nas intensidades de pastejo moderadas a leves (20, 30 e 40 cm) e na área SP, sendo superiores aos da maior intensidade de

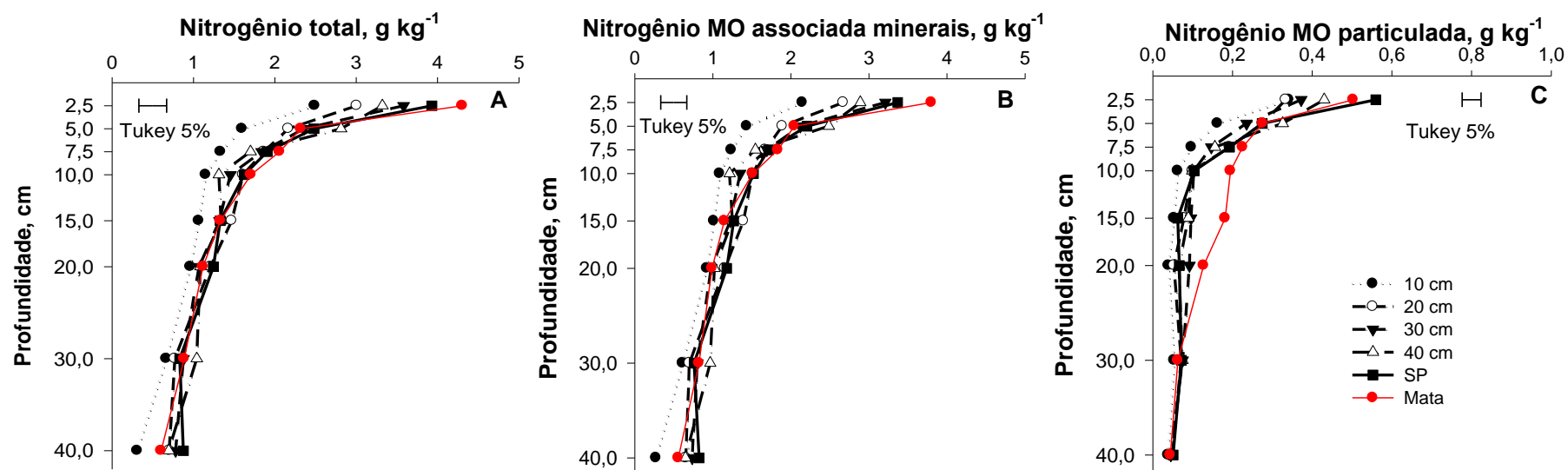
pastejo.

A distribuição de carbono orgânico e nitrogênio total no perfil do solo após nove anos está apresentada nas Figura 5 e 6, respectivamente. O solo de mata apresenta teores desses elementos superiores aos demais manejos do pasto na camada mais superficial (0 – 2,5 cm), sendo de 47 e 4,3 g kg<sup>-1</sup> para COT e NT, respectivamente. Nessa camada, foram verificadas as maiores diferenças entre os manejos tanto para COT como para NT, posicionando-se, com o menor teor no pastejo de 10 cm, refletindo os seus menores estoques (Figura 3A e 4A). Nos demais manejos de altura do pasto, os valores são intermediários no SP e no pastejo de 20 cm e, com os maiores teores, nas intensidades de pastejo moderadas a leves (39 e 36 g kg<sup>-1</sup> de COT, e 3,6 e 3,3 g kg<sup>-1</sup> de NT, respectivamente para os pastejos a 30 e 40 cm). Para as camadas inferiores do perfil do solo, apenas a intensidade de pastejo de 10 cm apresentou um comportamento diferenciado, com menores teores de C.

Incremento nos teores de MO no solo também foram observados por Sulc & Tracy (2007) em áreas com integração lavoura-pecuária com rotação de milho e soja no verão, e por Sartor (2012) na camada de 0-10 cm, em sistema de integração lavoura (milho)-pecuária (gado de corte) com aplicação de N na pastagem, comparada a áreas sem pastejo, utilizadas apenas para cobertura do solo, após cinco anos de experimento. O sistema de integração lavoura-pecuária provoca aumento nas concentrações de carbono orgânico no solo ao longo do tempo, devido ao crescimento contínuo de plantas de cobertura, rotação de culturas, incrementando a massa vegetal produzida no tempo em decorrência do pastejo e maior ciclagem de nutrientes (Tracy & Zhang, 2008).



**Figura 5** Teores de carbono orgânico, em diferentes camadas, de um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo: carbono orgânico total (A), carbono orgânico associado a minerais (B) e carbono orgânico particulado (C) (São Miguel das Missões RS). Barra na horizontal compara cada profundidade entre intensidades de pastejo, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Figura 6** Teores de nitrogênio, em diferentes camadas, de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo: nitrogênio total (A), nitrogênio na matéria orgânica associada minerais (B) e nitrogênio na matéria orgânica particulada (C) (São Miguel das Missões RS). Barra na horizontal compara cada profundidade entre intensidades de pastejo, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Ao se comparar os tratamentos mais contrastantes (Figura 5 e 6), verifica-se que o C-MOM e N-MOM e o C-MOP e N-MOP foram menores ( $p < 0,05$ ) na maior intensidade de manejo do pasto (10 cm) em relação à área sem pastejo, principalmente na camada de 10 cm. Isto, novamente indica que pastejos intensos promovem diminuição na qualidade do solo, com maiores perdas de C e N para a atmosfera, intensificando a emissão de gases causadores do efeito estufa. Enquanto isso, as demais intensidades de pastejo (20, 30 e 40 cm) não diferiram ( $p < 0,05$ ) da área sem pastejo, demonstrando que sistemas de integração lavoura-pecuária em plantio direto, com intensidades moderadas de pastejo podem ser utilizados com a finalidade de melhorar ou manter a qualidade do solo. Quando da comparação dos tratamentos com a área referência (mata), na maioria dos casos, os teores de C e N foram inferiores, mesmo na camada superior (de 0-2,5 cm), demonstrando que os sistemas de ILP e de plantio direto ainda podem evoluir positivamente.

O IMC permite avaliar o processo de perda ou ganho de qualidade do solo, pois quanto maior o IMC, maior a sua qualidade e vice-versa. As intensidades de pastejo moderadas a leves (20, 30 e 40 cm) e o tratamento sem pastejo mantiveram valores de IMC semelhantes (Tabela 3), enquanto na maior intensidade de pastejo (10 cm), esse índice foi bastante inferior (57%). Esse valor é menor do que aquele previamente encontrado no experimento por Souza et al. (2009), após seis anos do início do sistema, principalmente em relação ao pastejo mais intenso, que era 65%. Este menor IMC agora observado se deve, principalmente, pela menor labilidade, ou seja, pelo menor teor de C-MOP, visto que a adição de resíduos pela parte aérea nesse tratamento foi menor do que a exportação pelos produtos comerciais gerados (carne e grãos) e as perdas via respiração microbiana (Souza et al., 2010), que são superiores às verificadas nas demais intensidades de manejo do pasto. Além destes fatores já mencionados acima, a baixa entrada de fertilizantes nitrogenados e uma sucessão de culturas, soja-aveia+azevém, também são fatores que podem ter influenciado neste baixo IMC tanto na baixa intensidade de pastejo como nas demais.

O IMC na camada de 20-40 cm (Tabela 3) foi maior na área SP, seguida das intensidades de pastejo 40 e 30 cm, com valores de IMC de 88% e 80%,

respectivamente, e o menor IMC (60%) foi observado na intensidade de pastejo de 10 cm que, por sua vez, não diferiu da intensidade de pastejo 20 cm (71%). Os menores valores de IMC observados na camada de 20-40 cm devem-se ao fato do sistema de plantio direto se encontrar em fase de consolidação, mas que ainda apresenta maior acúmulo de C nas camadas superficiais (Figura 5).

**Tabela 3** Índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC), em camadas de um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de integração Isoja-pecuária de corte em plantio direto intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS)

Manejo do pasto <i>cm</i>	IEC		L		ILC		IMC	
							%	
----- <b>Camada 0 - 20 cm</b> -----								
10	0,840	B	0,083	B	0,677	B	57	B
20	0,977	A	0,117	A	0,920	A	89	A
30	0,980	A	0,120	A	0,953	A	93	A
40	0,960	A	0,123	A	0,993	A	96	A
Sem pastejo	-		0,127	A	-		100	A
<i>cm</i>	----- <b>Camada 20 - 40 cm</b> -----							
10	0,777	B	0,070	A	0,773	A	60	C
20	0,947	A	0,070	A	0,750	A	71	BC
30	0,910	AB	0,080	A	0,880	A	80	AB
40	0,927	AB	0,083	A	0,953	A	88	AB
Sem pastejo <sup>(1)</sup>	-		0,091	A	-		100	A

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

Para verificar como as condições decorrentes do manejo do pasto se relacionam com as do clímax para as condições edafoclimáticas do local, os valores de IMC foram comparados aos da mata original (Tabela 4). Verifica-se, após nove anos de condução do experimento, que os IMCs das áreas cultivadas, independentemente do manejo adotado estão muito abaixo daquele da mata nativa, estando ainda muito abaixo da qualidade original do solo. Valores mais próximos aos da mata ocorreram na ausência do pastejo, tanto na camada de 0 – 20 cm quanto na de 20 - 40 cm, o que indica que a qualidade tende a diminuir com a intensidade do pastejo, atingindo valores de IMC muito baixos para a maior intensidade de pastejo 10 cm (42 e 54%, para 0

- 20 e 20 - 40 cm, respectivamente). Valores mais elevados de IMC na camada de 20 a 40 cm resultam do efeito de diluição, devido aos impactos do manejo da pastagem na camada superficial de 0 a 20 cm (Tabela 4). Tais resultados demonstram que o IMC está associado à produção de resíduos ao longo do ciclo de pastejo e, assim, a labilidade e o IL se tornam os principais fatores influenciando o IMC, visto que teores de C-MOP foram maiores na área de referência no perfil do solo.

**Tabela 4** Índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC), em camadas de um Latossolo Vermelho em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS)

Manejo do pasto <i>cm</i>	IEC	L	ILC	IMC %
----- <b>Camada 0 - 20 cm</b> -----				
10	0,874 B	0,085 C	0,474 B	42 C
20	1,011 A	0,115 BC	0,643 AB	65 B
30	1,016 A	0,120 B	0,671 AB	68 B
40	0,997 A	0,125 B	0,696 A	69 B
Sem pastejo	1,020 A	0,129 B	0,719 A	73 B
Mata nativa	-	0,179 A	-	100 A
----- <b>Camada 20 - 40 cm</b> -----				
<i>cm</i>				
10	0,602 A	0,070 A	0,892 A	54 D
20	0,735 A	0,068 A	0,867 A	64 CD
30	0,706 A	0,081 A	1,019 A	72 BCD
40	0,721 A	0,087 A	1,102 A	79 ABC
Sem pastejo	0,776 A	0,094 A	1,186 A	90 AB
Mata nativa <sup>(1)</sup>	-	0,079 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).

#### 4.5 Conclusões

Intensidades de pastejo moderadas (20 e 30 cm) a leve (40 cm) de altura de manejo do pasto, em sistemas de integração lavoura-pecuária em plantio direto, promovem aumentos nos estoques e nas frações de carbono no solo, semelhantemente ao plantio direto sem pastejo, podendo ser considerada como um “bom manejo”, por promover mitigação de carbono no solo.

Os aumentos nos estoques de carbono e de nitrogênio total e suas frações ao longo do tempo (2001 a 2010) ocorreram predominantemente até a profundidade de 10 cm.

O Índice de Manejo de Carbono (IMC) diminuiu com a intensidade de pastejo, atingindo valores baixos na intensidade de pastejo de 10 cm (42%), indicando degradação do solo na camada superior (0 a 20 cm) do solo.

O solo em sistema de integração lavoura-pecuária tem um potencial para drenar carbono, de modo a manter os estoques originais, desde que sejam utilizadas intensidades de pastejo adequadas, e que apórtem aproximadamente  $4,18 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de C, via resíduos vegetais e animais.



## **5. CAPÍTULO IV. CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO**

O estudo sobre ciclagem de nutrientes no sistema de integração soja-pecuária de corte, em estudo, foi dividido em três capítulos, adiante apresentados, assim denominados: Capítulo V - Ciclagem de carbono e de nitrogênio; Capítulo VI - Ciclagem de fósforo e de potássio; e Capítulo VII - Ciclagem de cálcio e de magnésio, todos em plantio direto de longa duração. Como os materiais e métodos são comuns a esses capítulos, os mesmos são apresentados neste capítulo.

A ciclagem de nutrientes foi avaliada durante os anos de 2009 a 2011 em dois ciclos de pastejo e soja. As amostras de matéria seca residual (MSR) da pastagem foram coletadas ao final de cada ciclo de pastejo (outubro-novembro de cada ano) e da soja, ao final do seu ciclo (abril-maio de cada ano). A MSR da pastagem foi obtida pelo corte da parte aérea, rente ao solo, em cinco áreas representativas de 0,25 m<sup>2</sup> por parcela. Após secagem a 50°C até peso constante, foi determinado o peso da matéria seca.

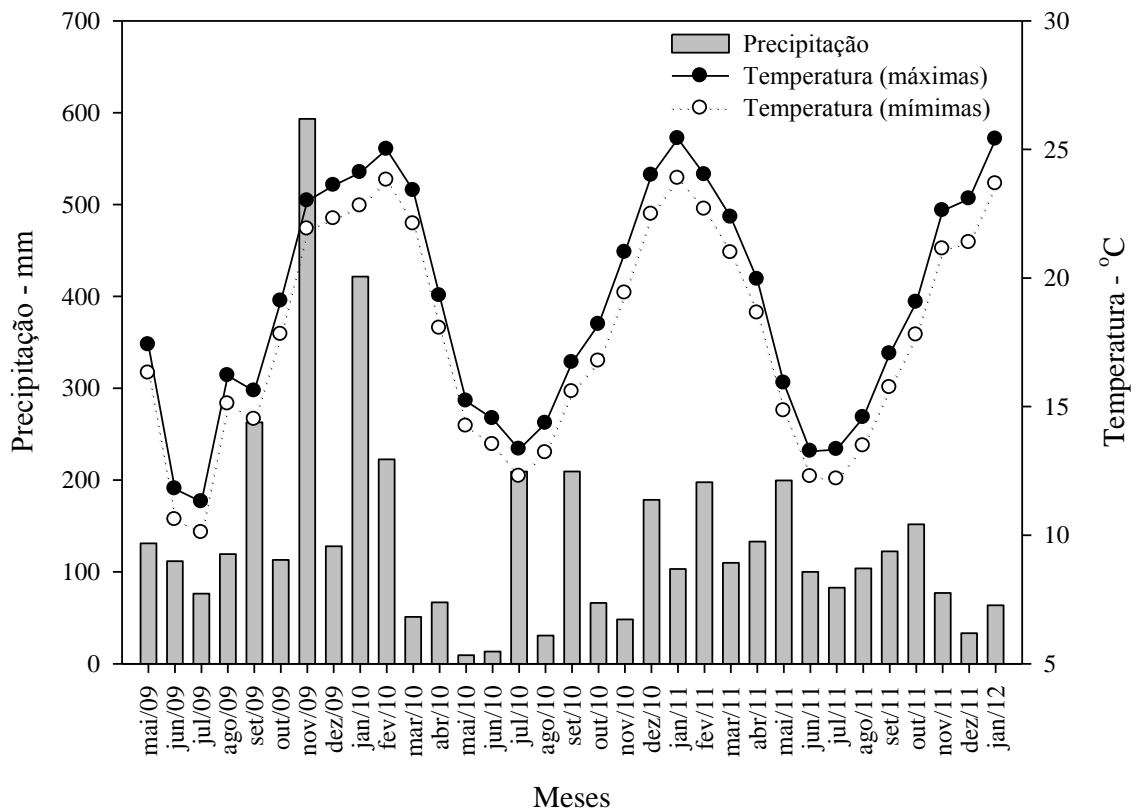
Para avaliar a produção total de MS de esterco em cada tratamento de pastejo, o mesmo foi coletado em duas épocas: no final de agosto e de outubro de cada ano (2009 e 2010). Assim, dez placas de esterco, defecadas no dia, foram coletadas aleatoriamente dentro de cada parcela e determinado o seu peso seco. Após obter o peso médio de MS dessas placas (PMP), calculou-se a produção total de MS do esterco em cada tratamento de pastejo, multiplicando-se a produção de esterco de cada animal avaliado por Silva (2012), pela carga animal média e pelo peso médio de cada placa.

Na cultura da soja, foram coletadas, no mês de maio de 2010 e 2011, folhas e plantas (caules e vagens remanescentes) em pleno florescimento, em dez locais de um metro linear por parcela e secas em estufa a 50°C e determinada sua matéria seca. Na época da colheita da soja, essas partes da soja foram coletadas novamente, em 10 locais aleatoriamente de um metro linear em cada parcela, para determinar a produção de caule e vagens remanescentes e o rendimento de grãos.

Os materiais da pastagem, do esterco, das folhas e dos caules de soja, foram, posteriormente, alocados em sacos de tela de *nylon* com malha de 2 mm (*Litter bags*), medindo 20 x 20 cm, em amostras de 20 g de cada material.

Os sacos de tela contendo resíduos do pasto (pastagem+mantillo) e do esterco foram distribuídos na área do experimento no dia da semeadura da soja nas duas safras (17/12/2009 e 27/11/2010) e os sacos de decomposição contendo folhas e caules de soja foram distribuídos na área do experimento no dia da semeadura da pastagem, em ambos os anos (30/04/2010 e 19/04/2011).

Os sacos de decomposição do pasto e do esterco foram coletados (média dos dois ciclos) aos 16, 31, 50, 63, 96, 126, 162, 193, 219 e 253 dias, os das folhas e caules de soja aos 23, 37, 53, 73, 105, 134, 162, 190, 222 e 258 dias após a alocação na área. Após cada amostragem, os mesmos foram secos, pesados e retirado o solo aderido, para posterior determinação da quantidade do material (MS) remanescente. Os dados meteorológicos do período experimental são apresentados na Figura 7.



**Figura 7** Dados meteorológicos observados durante o período experimental (maio/2009 a janeiro/2012 – Santiago - RS) - Fonte: INMET (2013).

Para a determinação dos nutrientes remanescentes nos resíduos, o material foi moído em moinho de faca tipo Willey (< 40 mesh) e determinados os teores de carbono e de nitrogênio, utilizando aparelho analisador elementar TruSpec-CHN. Para os demais nutrientes (P, K, Ca e Mg) foi realizada a digestão sulfúrica, e, após foram determinados os teores totais desses nutrientes por fotolorimetria (P), fotometria de chama (K) e espectrofotometria de absorção atômica (Ca e Mg), segundo Tedesco et al. (1995). A percentagem da massa seca remanescente e os respectivos teores de nutrientes foram calculados com base na biomassa total e na concentração total dos nutrientes no início e no final dos períodos de incubação a campo. Usando a diferença de peso da matéria seca e a diferença entre os teores de nutrientes dos períodos de incubação no campo e a decomposição e a liberação dos nutrientes foi determinada e convertida para percentagem.

As taxas de decomposição da matéria seca (MS) e de liberação dos nutrientes L (C, N, P, K, Ca e Mg) dos resíduos foram estimadas ajustando-se modelos de regressão não lineares aos valores observados, conforme proposto por Wieder & Lang (1982). Os dois modelos ajustados têm a seguinte equação:

$$\text{MSR e L (C, N, P, K, Ca e Mg)} = A e^{-kat} + (100-A) \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{MSR e L (C, N, P, K, Ca e Mg)} = A e^{-kat} + (100-A) e^{-kbt} \quad \text{Equação 2}$$

Em que a MSR e L (C, N, P, K, Ca e Mg) = percentagem de MS remanescente ou percentagem do nutriente remanescente em tempo t (dias); ka e kb = taxas constantes de decomposição da MS ou liberação de nutrientes do compartimento mais facilmente decomponível (A) e do compartimento mais recalcitrante (100 – A), respectivamente.

Os dois modelos consideram que a MS dos resíduos das culturas ou a quantidade de nutrientes remanescentes pode ser dividida em dois compartimentos. No modelo assintótico (Equação 1), apenas a MS ou os nutrientes remanescentes do compartimento mais facilmente decomponível é transformada, diminuindo exponencialmente com o tempo a uma taxa constante. A MS remanescente do segundo compartimento é considerada recalcitrante e, por isso, não sofreu transformação no período de amostragem. No modelo exponencial duplo (Equação 2) a MS e os nutrientes dos dois compartimentos diminuem exponencialmente a taxas constantes, sendo que a primeira fração é transformada em taxas mais elevadas do que a segunda, que

é de mais difícil decomposição (recalcitrante). A escolha do tipo de modelo de cada tratamento foi feita com base nos valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ). A partir dos valores da constante de decomposição da MS ou de liberação de nutrientes de cada compartimento, calculou-se o tempo de meia vida ( $t^{1/2}$ ), ou seja, o tempo necessário para 50% da MS ou do nutriente daquele compartimento sejam decompostos ou os nutrientes sejam liberados. Para esse cálculo, utilizou-se a fórmula a seguir, cuja dedução é apresentada em Paul & Clark (1996):

$$t^{1/2} = 0,693/k(a,b) \quad \text{Equação 3}$$

Com base no modelo ajustado para as quantidades remanescentes dos nutrientes (C, N, P, K, Ca e Mg), estimou-se a sua liberação acumulativa durante o período de avaliação, multiplicando-se a porcentagem de liberação do nutriente de cada coleta (obtida pelo modelo ajustado), pelas quantidades iniciais dos nutrientes adicionadas inicialmente ao solo.

Os resultados referentes às variáveis do modelo ajustado (compartimento A, taxas de liberação dos nutrientes e  $t^{1/2}$ ) foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey, ambos a 5% de probabilidade.

## 6. CAPÍTULO V. CICLAGEM DE CARBONO E DE NITROGÊNIO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO

### 6.1 Resumo

O conhecimento da decomposição dos resíduos de plantas e de animais e a consequente liberação de nutrientes se tornam importantes, para se conhecer a sua disponibilização e entender como a ciclagem de carbono (C) e nitrogênio (N) se comporta em sistemas de integração lavoura-pecuária em plantio direto de longa duração (consolidados). O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes intensidades de pastejo nas taxas de decomposição desses resíduos e na consequente liberação de carbono e de nitrogênio em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto. O experimento foi iniciado em 2001, em um Latossolo Vermelho distroférrico, após a colheita da soja. Os tratamentos constam de alturas de manejo do pasto (aveia-preta + azevém): 10, 20, 30 e 40 cm, com bovinos de corte, e de áreas sem pastejo (SP) como referência, seguido do cultivo de soja, em delineamento de blocos ao acaso com três repetições. As taxas de decomposição dos resíduos e de liberação de carbono e nitrogênio foram determinadas pela alocação de sacos de decomposição (*litter bags*), contendo resíduos da pastagem e do esterco bovino na área experimental no dia da semeadura da soja e os resíduos de soja (folhas e caules) no dia da semeadura da pastagem. Os sacos de decomposição foram coletados ao longo de dois ciclos (2009/11). Constatou-se uma decomposição mais rápida dos resíduos da pastagem e o esterco nas intensidades de pastejo moderadas (alturas de 20 e 30 cm). Não houve influência das intensidades de pastejo sobre a liberação do carbono e nitrogênio nos resíduos da soja, porém, as folhas decompueram mais rapidamente em relação aos caules. A liberação total de carbono e de nitrogênio dos resíduos de pastagem + esterco foram maiores nas áreas com pastejo leve e nas áreas sem pastejo. Nos resíduos de soja não houve diferenciação dessa liberação nas diferentes intensidades de pastejo.

## 6.2 Introdução

Em sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP), as pastagens são importantes para o sistema, e, por isto, a necessidade de que recebam manejo e fertilização adequados, pois, se mal manejadas, elas podem degradar o solo. Considerando-se que a exportação de nutrientes via animal é baixa (Haynes & Willians, 1993), a ciclagem dos resíduos vegetais e animais é uma fonte importante para o equilíbrio do sistema, pois contribui no suprimento de nutrientes tanto para a pastagem como para o cultivo comercial (Dubeux et al, 2007).

Nos resíduos orgânicos, o nitrogênio (N) está ligado ao carbono (C). A sua disponibilização para as plantas só ocorre mediante a quebra das ligações químicas desses elementos pelos organismos do solo em um processo chamado de mineralização. Muitos são os fatores que podem afetar a mineralização, incluindo a precipitação (regime pluviométrico) a umidade do solo (Nardoto & Bustamante, 2003; Semmartin et al, 2004), a qualidade e a composição química dos resíduos (Paustian et al, 1997; Cornelissen, 1996, 1997), a intensidade da luz (Austin & Vivanco, 2006), a concentração de N nos tecidos (Parton et al., 2007) e a variedade de populações microbianas do solo (Smith et al., 2003).

A inserção do animal no sistema modifica os fluxos entre os compartimentos solo-planta-animal, pela ingestão de nutrientes, via consumo e modificação da estrutura da pastagem para posterior retorno ao sistema (Bardgett & Wardle, 2003). Além de impor heterogeneidade em uma série de variáveis, essa presença altera a via dos fluxos dos nutrientes, em sua natureza e magnitude, modificando o funcionamento do sistema (Carvalho et al., 2010; Anghinoni et al., 2011b). As estratégias de manejo das pastagens como intensidade de desfolha e adubação, podem afetar a quantidade e a qualidade de resíduos, e conseqüentemente, a decomposição e a liberação de nutrientes desses resíduos (Shariff et al., 1994; Dutta et al., 2001; Dubeux et al., 2006). Maiores taxas de mineralização de N em pastejos com desfolha frequente e intensidade adequada, influenciam na formação de novos tecidos e na quantidade de N disponibilizado (Boddey et al., 2004; Dubeux et al., 2006).

As pesquisas sobre a ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agrícola no Brasil estão em franco progresso, porém são ainda incipientes e abordam o fluxo de nutrientes somente entre alguns dos compartimentos do sistema somente pastagem ou a lavoura. Em relação aos trabalhos de pesquisa recentemente realizados no país, cita-se: Koselinski (2009); Adami (2009); Bortolli (2010); Sartor (2012); Adami (2012), Pitta (2012) entre outros.

Em sistemas de integração lavoura-pecuária com plantio direto de longa duração (consolidado), a oferta de nutrientes pode se tornar contínua, uma vez que existem fontes de diferentes composições em processo de decomposição (palhadas - cultura de verão e pastagem de inverno e dejetos - esterco e urina), liberando nutrientes de forma diferente entre elas. Entretanto, pouco se sabe a respeito da dinâmica de liberação de nutrientes no ciclo total (pastagem+lavoura de verão) pelos resíduos oriundos dos sistemas integrados de produção agrícola e pecuária e de como isso pode influenciar na decisão do manejo da adubação a ser adotado para o sistema de ILP. Daí a importância de conhecer a contribuição do processo de ciclagem na liberação de nutrientes em sistema consolidado de plantio direto e a influência do pastejo nesse processo o que, aliado ao conhecimento da disponibilidade de nutrientes no solo, vai permitir elaborar uma adubação mais compatível com a real demanda das plantas.

O objetivo deste estudo foi de determinar a influência de diferentes intensidades de pastejo na liberação de carbono e de nitrogênio dos resíduos da pastagem, do esterco e da soja em um sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto de longa duração.

### **6.3 Material e Métodos**

A metodologia e as avaliações a respeito da ciclagem de carbono e de nitrogênio estão descritas, em conjunto para todos os nutrientes estudados, no Capítulo IV.

## 6.4 Resultados e Discussão

### 6.4.1 Decomposição dos resíduos

Para avaliar liberação de C e N é importante que seja considerada a taxa de decomposição e a produção total de resíduos produzidas na área, bem como a quantidade de nutrientes nela contida. Assim, é possível verificar a quantidade de nutrientes que está sendo disponibilizada para culturas subsequentes ou mesmo para própria cultura, quando houver decomposição rápida dos resíduos.

Não foi observada diferença ( $p>0,05$ ) entre os dois ciclos de pastejo-soja avaliados (Apêndices 1 e 2). As alturas de manejo do pasto afetaram ( $p<0,05$ ) tanto a quantidade de biomassa residual do pasto, como a produção de esterco (Tabela 5). A diminuição da massa residual do pasto com a intensidade de pastejo era esperada, porém a magnitude foi grande (SP:  $6,22 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; P10:  $1,06 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) ou seja, uma diminuição de  $5,16 \text{ Mg ha}^{-1}$  de MS entre elas. Por outro lado, a quantidade de esterco com a intensidade de pastejo (P40:  $0,46 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e a maior intensidade de pastejo (P10:  $1,22 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) foi pequena, apenas  $0,76 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Possivelmente, essa magnitude está vinculada com a carga animal média utilizada nos anos de 2009 e 2010, para a altura de pastejo de 10 cm ( $1337 \text{ kg ha}^{-1}$  de peso vivo), 20 cm ( $905 \text{ kg ha}^{-1}$  de peso vivo), 30 cm ( $670 \text{ kg ha}^{-1}$  de peso vivo) e 40 cm ( $355 \text{ kg ha}^{-1}$  de peso vivo) e com o ganho médio  $497, 390, 337$  e  $178 \text{ kg ha}^{-1}$  de peso vivo para as alturas de 10, 20, 30 e 40 cm, respectivamente. E com a produção total média de pastagem que foi de  $4,06; 5,06; 6,53; 8,01$  e  $6,22 \text{ Mg ha}^{-1}$  para as alturas de pastejo de 10, 20, 30, 40 cm e a área SP, respectivamente.



**Tabela 5** Matéria seca residual da pastagem e esterco e resíduos de soja (folha e caule) e respectivos teores iniciais de carbono, nitrogênio e lignina em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS)

<b>Altura de manejo do pasto</b> <i>cm</i>	<b>Pastagem</b>	<b>Esterco bovino</b>	<b>Caule soja</b>	<b>Folha soja</b>
<b>Matéria seca (MS)</b>	.....Mg ha <sup>-1</sup> .....			
10	1,06 e	1,22 a	2,84 a	2,29 a
20	2,50 d	0,81 b	2,76 a	2,30 a
30	4,01 c	0,60 c	3,10 a	2,46 a
40	5,60 b	0,46 d	2,56 a	2,48 a
SP	6,22 a	.....	2,68 a	2,69 a
<b>Carbono (C)</b>	.....g kg <sup>-1</sup> .....			
10	422 a	357 a	531, a	478 a
20	443 a	412 a	531 a	479 a
30	469 a	431 a	531 a	479 a
40	463 a	411 a	531 a	480 a
SP	451 a	.....	530 a	479 a
<b>Nitrogênio (N)</b>	.....g kg <sup>-1</sup> .....			
10	16,40 a	21,72 a	15,91 a	21,58 a
20	21,40 a	25,63 a	16,71 a	23,42 a
30	20,03 a	26,40 a	16,81 a	22,81 a
40	19,62 a	25,22 a	16,88 a	23,32 a
SP	18,85 a	.....	16,37 a	23,01 a
<b>Lignina (Lig)</b>	.....%			
10	11,23 a	24,36 a	11,68 a	8,78 a
20	8,75 b	17,59 b	11,50 a	8,79 a
30	9,85 b	18,82 b	12,28 a	8,93 a
40	11,73 a	23,21 a	11,86 a	8,83 a
SP	12,27 a	.....	11,47 a	7,97 a

SP: Sem pastejo. Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

A cobertura do solo com resíduos orgânicos (palhada e esterco), no presente protocolo, foi importante tanto para o balanço positivo de C e N no sistema (Souza et al., 2008; Lopes et al., 2009; Assmann et al., 2013), como para a infiltração e retenção de água (Cassol, 2003), sendo capaz de reduzir, dentro de certos limites, a erosão do solo (Panachuki et al., 2011). É importante considerar ainda que nas áreas pastejadas no inverno, além do potencial de produção animal ter sido superior a 300 kg ha<sup>-1</sup> de peso vivo (Carvalho et al., 2011) e grande parte dos nutrientes presentes na forragem consumida

retornaram na forma de dejeções como esterco (Tabela 5) e urina, sendo os nutrientes desta (urina) prontamente disponíveis para serem utilizados pela cultura na sequência (Haynes & Williams, 1993).

Os teores de nitrogênio foram maiores no esterco em relação a pastagem, visto que os nutrientes encontram-se mais concentrados nesse material, por já terem passado pelo rúmem animal e sofrerem uma digestão, sendo pequena a quantidade retida no animal e o restante liberado na forma de esterco e urina (Haynes & Williams, 1993). Os resíduos da cultura de soja não apresentaram diferença ( $p < 0,05$ ) entre as intensidades de pastejo durante os dois anos de avaliação (Tabela 5).

Os teores de lignina, tanto no pasto como no esterco, foram mais baixos no pastejo moderado (alturas de 20 e 30 cm), em média 23% inferior em relação aos demais tratamentos (SP, 10 e 40 cm). Isto significa que intensidades moderadas de pastejo resultam em melhor qualidade dos resíduos como alimento, por sua assimilação mais rápida pelo animal como também pela consequente decomposição e liberação de nutrientes ao solo. Maiores teores de lignina nos resíduos exercem influência negativa sobre as taxas de decomposição dos resíduos tanto no solo como no metabolismo animal (Semmartin et al, 2004; Parsons et al., 2008).

#### **6.4.2 Ciclagem de carbono**

A cinética de mineralização do carbono dos resíduos da pastagem e do esterco bovino foi similar nos dois anos de avaliação (Apêndice 1) e, por isto, são apresentados os seus dados médios. A taxa de decomposição, entretanto diferiu ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos de pastejo (Tabela 6) e o modelo que mais se ajustou aos dados obtidos de ambos os resíduos foi o modelo exponencial simples (Equação 1). Os pastejos moderados (20 e 30 cm) apresentaram um menor tempo de meia vida de C da pastagem: em torno de 58 dias, em relação ao SP e de, em torno, de 33 dias, em relação às intensidades de pastejo 10 e 40 cm. A partir desses dados, infere-se que as saídas de carbono na forma de  $\text{CO}_2$  são mais rápidas nas áreas com pastejos intermediários e que o solo permanece coberto por mais tempo nas áreas sem pastejo. Por outro lado, a liberação de compostos orgânicos solúveis provenientes da decomposição dos resíduos e a sua possível incorporação na

matéria orgânica do solo, possivelmente seja mais rápida nas áreas com altura de pastejo de 20 e 30 cm em relação às demais intensidades e no SP.

O C remanescente nas intensidades de pastejo moderadas decompõe-se mais rapidamente em função das alterações morfofisiológicas impostas por essas intensidades de pastejo em gramíneas, que resulta da constante rebrota, o que ocasiona presença de um maior número de folhas e colmos jovens e maior número de perfilhos jovens (Kunrath, 2011) e, com isso, alterando a estrutura e a composição botânica da pastagem (Lemaire & Chapman, 1996). Nos demais tratamentos, encontravam-se folhas colmos mais lignificados, com média de 12% de lignina no pastejo de 10 cm de altura e SP, e de 9,3% de lignina nas intensidades de pastejo moderadas (20 e 30 cm) (Tabela 5). Resíduos vegetais senescidos também decompuseram mais lentamente do que resíduos vegetais jovens no trabalho de Sanullah et al. (2010) e isso também foi atribuído aos maiores teores de lignina e menores teores de N e açúcares solúveis nos tecidos mais velhos.

Todos esses resultados corroboram com os encontrados por Shariff et al. (1994), que observaram que um pastejo moderado (44% de remoção da parte aérea) resultou em taxas mais altas de decomposição em relação aos tratamentos não pastejados ou daqueles tratamentos que foram intensamente pastejados (77% de remoção da parte aérea). Dubeux Jr et al. (2006) verificaram aumento da decomposição de *Paspalum notatum* com aumento das intensidades de pastejo (433, 330 e 231 dias, para baixa, moderada e alta intensidade, respectivamente). Brunetto et al. (2011) verificaram que 80% do C contido nos resíduos de azevém foram liberados em 16 semanas; uma decomposição mais rápida da obtida no presente trabalho que, em média, apenas 20% do C foi liberado. Essa diferença pode ser atribuída às diferentes condições ambientais de estudo, à relação C:N de 20 naquele trabalho, que é inferior à observada neste trabalho de, em média, 25.

Nos resíduos do esterco bovino (Tabela 6), a maior decomposição do C remanescente também foi encontrada nos pastejos moderados (20 e 30 cm), onde o compartimento mais facilmente decomponível (A) representou em média 64,5% do C, com um período de meia vida de 159 dias, menor que os pastejos a 10 e 40 cm, que apresentaram esse tempo de 221 dias, ou seja, 62 dias a mais, o que também foi relacionado a um maior teor de lignina: de 23 e

24% nas intensidades de pastejo de 10 e 40 cm e de 18,8 e 17,6%, nas intensidades de 20 e 30 cm, respectivamente. Hoffmann et al. (2001), por sua vez, verificaram que foram necessários 913 dias para que houvesse a decomposição completa do esterco bovino.

Constatou-se uma decomposição mais rápida ( $p < 0,05$ ) dos resíduos da pastagem em relação à do esterco (Tabela 6), em todas as intensidades de pastejo. Essa menor taxa de mineralização do esterco deve-se pela maior proporção de lignina (Tabela 5) em relação à pastagem por se constituir de material fibroso pouco digestível (Haynes & Williams, 1993).

Não foram identificadas diferenças ( $p > 0,05$ ) entre as intensidades de pastejo na cinética de liberação de C dos resíduos de folhas e de caules de soja, cultivada na sequência, nos dois anos de avaliação. O modelo exponencial simples ajustado aos dados de massa remanescente mostrou-se adequado, pelos elevados coeficientes de correlação (Tabela 6). Nessa cultura, houve, como esperado, diferenças ( $p < 0,05$ ) na velocidade de liberação de C da palhada das folhas senescentes de soja, que liberou mais rapidamente C em relação aos caules (Tabela 6). Os resíduos de folhas de soja tem uma alta quantidade de material no compartimento mais facilmente decomponível (72%) com uma meia vida média de 120 dias, enquanto nos resíduos de caule, a fração mais decomponível é menor (48%), com uma meia vida maior, de 392 dias. Tais diferenças podem ser atribuídas à composição estrutural com teores de lignina de 11% nos caules e 8% nas folhas. Resultados semelhantes foram observados por Chagas et al. (2007), com a cultura de feijão, com uma meia vida de 75 dias para as folhas e de 156 dias para os caules. Tempo de meia vida mais baixo (43 dias) foi observado por Padovan et al. (2006) em plantas de soja coletadas aos 115 dias após emergência. Esse menor tempo de meia vida foi atribuído, pelos autores, ao estágio de desenvolvimento mais precoce da soja.

**Tabela 6** Parâmetros do modelo exponencial simples ajustados aos valores medidos da taxa de liberação de carbono da pastagem, esterco e soja e constantes de decomposição ( $ka$ ), tempo de meia vida ( $t^{1/2}$ ) e ajuste ( $R^2$ ) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS)

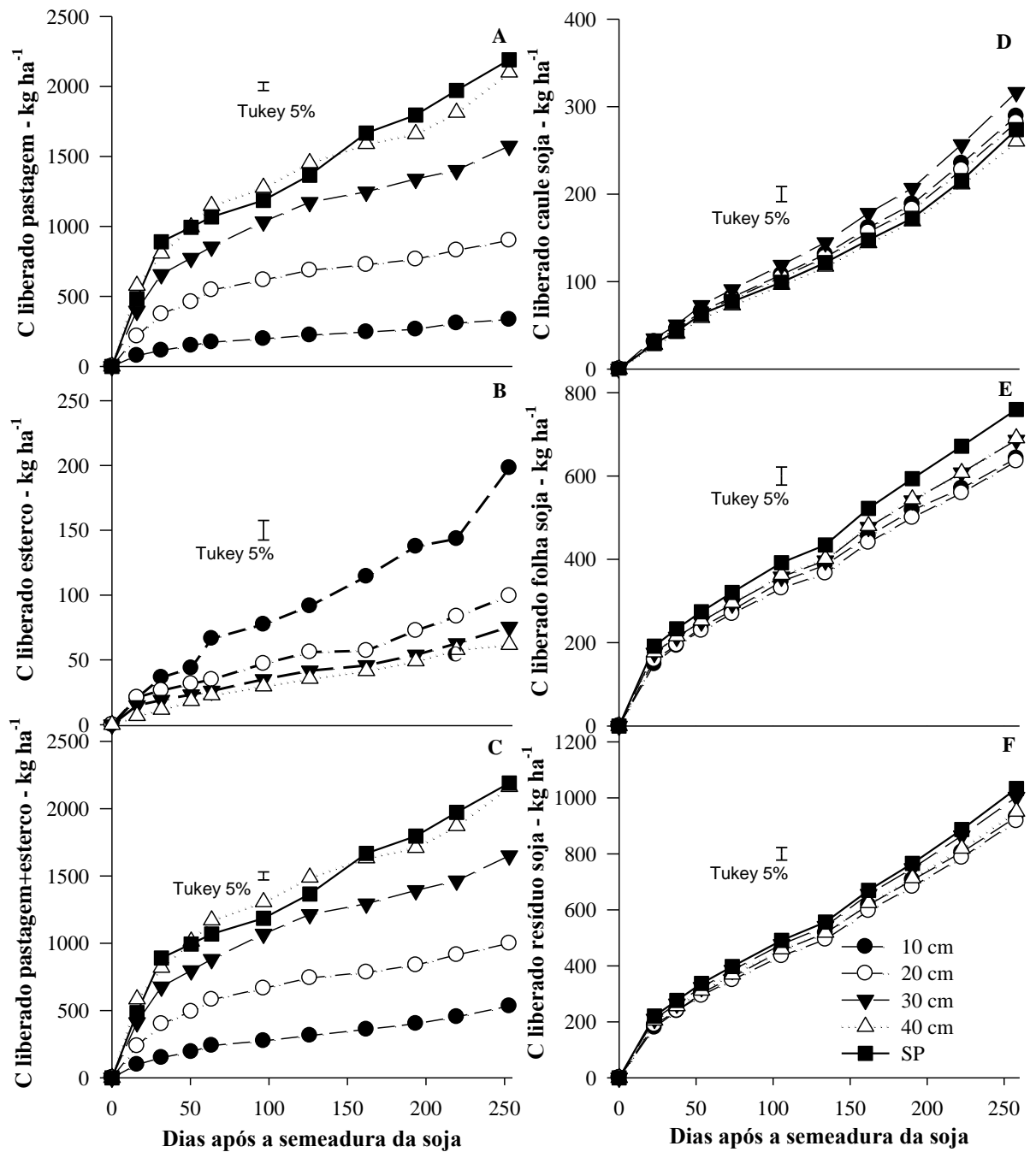
<b>Altura de manejo do pasto</b>	<b>Comp. A</b>	<b>Ka</b>	<b>T<sup>1/2</sup> A</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>cm</b>	<b>%</b>	<b>.....dias<sup>-1</sup>.....</b>	<b>....dias .....</b>	
<b>Pastagem</b>				
10	65 b	0,005899 b	117	0,93
20	60 a	0,008427 a	82	0,95
30	61 a	0,008790 a	79	0,92
40	62 a	0,006323 b	110	0,97
SP	67 b	0,005035 c	138	0,92
<b>Esterco bovino</b>				
10	68 a	0,003068 b	226	0,96
20	71 a	0,004595 a	151	0,90
30	58 a	0,004154 a	167	0,92
40	75 a	0,003206 b	216	0,98
<b>Caule soja</b>				
10	49 a	0,001746 a	397	0,95
20	48 a	0,001781 a	389	0,95
30	48 a	0,001777 a	390	0,96
40	48 a	0,001757 a	394	0,95
SP	48 a	0,001776 a	390	0,95
<b>Folha soja</b>				
10	73 a	0,005607 a	124	0,94
20	72 a	0,005626 a	123	0,96
30	71 a	0,005947 a	117	0,96
40	70 a	0,006053 a	114	0,95
SP	73 a	0,005628 a	123	0,95

SP: Sem pastejo. Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A partir dos modelos ajustados foram estimadas as quantidades de carbono liberadas ao longo do tempo de decomposição dos resíduos (Figura 8). A liberação de carbono dos resíduos da pastagem, esterco e acumulado por ambos apresentaram diferença ( $p < 0,05$ ) entre as intensidades de pastejo (Figura 8), porém não diferindo entre dois anos de avaliação (Apêndice 1). O carbono liberado dos resíduos da pastagem (Figura 8 A) aumentou com a

quantidade de resíduos remanescentes após o ciclo do pastejo (Tabela 5). A liberação foi maior, ao longo do tempo e no final da avaliação, nos tratamentos SP e no de 40 cm de altura de manejo do pasto, que não diferiram entre si, seguidas pelas intensidades de pastejo 30, 20 e 10 cm, cujo acúmulo aos 253 dias foi de 2,2; 2,1; 1,6; 0,9 e 0,3 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses dados representam a porção de carbono que está sendo decomposta e liberada para o sistema, sendo que esta liberação pode ser para a formação MOS e uma parte perdida para a atmosfera na forma de CO<sub>2</sub>. Entretanto, segundo Bolinder et al. (1999), o coeficiente de humificação da parte aérea das culturas, ou seja quantidade de C adicionada ao solo que anualmente se transforma em MOS, oscila de 7,7 a 20%, tendo um valor médio de 12,5%. Valores similares de C liberado foram observados por Schuman et al. (1999) em uma mistura de pastagens (55% espécies de estação fria e 23% espécies de estação quente) de 1,62, 1,28, e 0,75 Mg ha<sup>-1</sup> de C para áreas sem pastejo e leve e alta lotação animal, respectivamente.

O carbono liberado para o sistema pelos resíduos de esterco bovino apresentou um comportamento inverso ao observado para a pastagem em relação aos tratamentos (Figura 8 B); a maior liberação foi verificada no pastejo mais intenso, seguida pelas alturas de pastejo de 20, 30 e 40 cm. Esta maior liberação de C do esterco no pastejo mais intenso é devido a maior carga animal imposta aos tratamentos, o que representa em uma maior produção de esterco por hectare.



**Figura 8** Liberação de carbono da pastagem (A), do esterco (B) e acumulado da pastagem+esterco (C), dos caules de soja (D), das folhas de soja (E) e acumulado dos resíduos de soja (F) em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS)

A liberação acumulada de C da pastagem+esterco (Figura 8 C), mesmo que elas (pastagem e esterco) se comportem de forma oposta em relação aos tratamentos de manejo do pasto (Figura 8 A, B), é determinada

predominantemente pelos resíduos do pasto, em função da magnitude dos mesmos: assim, os tratamentos SP e 40 cm apresentam maior liberação de C, com liberações intermediárias nas alturas de manejo do pasto de 20 e 30 cm e uma baixa liberação, no pastejo a 10 cm. Isto leva à formação de menor quantidade de matéria orgânica estável nesse pastejo como anteriormente verificado aos sete (Souza et al., 2009) e aos 10 (Assmann et al., 2013) anos de condução do trabalho, visto que não há diferença ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos de manejo do pasto na liberação de C dos resíduos de soja (Figura 8 D,E,F).

Esses dados demonstram o que foi evidenciado por Soussana & Lemaire (2012), de que os herbívoros alteram os ciclos dos nutrientes, principalmente de C e N, liberando C na forma de esterco e N, em concentrações elevadas, na forma de urina, modificando, desta forma, a relação C:N e, conseqüentemente, a decomposição do C. Portanto, quanto maior a intensidade de pastejo mais alteração (desacoplamento) desses nutrientes e um provável menor acúmulo de C no solo ocorre.

#### **6.4.3 Ciclagem de nitrogênio**

A taxa de liberação de N nos resíduos de pastagem e esterco não apresentou diferença ( $p>0,05$ ) entre os anos de avaliação – (Apêndice 2), apenas diferindo ( $p<0,05$ ) entre alturas de pastejo (Tabela 7). Nos resíduos da pastagem, o modelo que melhor se ajustou para taxa de liberação de N foi o exponencial simples (Tabela 7). As intensidades de pastejo moderadas a leves apresentaram uma maior taxa de liberação de N, com meia vida de 39, 53 e 55 dias para as intensidades de 20, 30 e 40 cm, respectivamente. Já a altura de pastejo de 10 cm e a área sem pastejo apresentaram maior quantidade de N no compartimento facilmente decomponível ( $A = 70\%$ ), porém, apresentaram um tempo de meia vida mais elevado, de 138 e 82 dias, respectivamente. Resultado semelhante foi observado por Bortolli (2010) em trabalho com diferentes dias de pastejo em trigo duplo propósito, que, quando mais pastejado foi o trigo (105 dias) maior a proporção de material prontamente disponível no compartimento A (75,9%), e, que segundo o autor esse comportamento, é devido em parte, a constante rebrota nos tratamentos que foram pastejados por mais tempo, o que ocasiona presença de um maior número de folhas e colmos



jovens e maior número de perfilhos jovens.

Garibaldi et al. (2007) e Semmartin et al. (2008) também verificaram que o pastejo acelerou a decomposição e a liberação de N em pastagem de *Lolium multiflorum* e *Paspalum dilatatum*. Aita & Giacomini (2003), avaliando a decomposição de resíduos de aveia, constataram, aos 15 dias após a deposição de resíduos a campo, que aproximadamente 80% do N se encontrava como remanescente nos resíduos dessa gramínea. Brunetto et al. (2011), entretanto, verificaram que 80% do N contido nos resíduos de *Lolium multiflorum* foram liberados em 16 semanas, uma fração superior à deste estudo, que foi, em média, de 40%.

A taxa de liberação de N do esterco bovino foi maior que a dos resíduos de pastagem e o modelo que mais se adequou para a taxa de sua liberação do esterco foi exponencial duplo (Tabela 7), ou seja, os dois compartimentos diminuíram exponencialmente em taxas constantes ( $k_a$  e  $k_b$ ), sendo que a primeira fração (A) é transformada em taxas mais elevadas do que a segunda ( $100 - A$ ), que é de mais difícil decomposição (recalcitrante). A taxa de liberação de N do compartimento lábil do esterco bovino foi maior no pasto manejado a 20 cm, seguido pelas alturas de manejo de 30, 40 e 10 cm, apresentando uma meia vida de 7, 11, 20 e 77 dias, respectivamente. Contudo, pode-se observar na Tabela 7, que o pastejo de 10 cm apresenta uma maior disponibilidade de N no compartimento facilmente decomponível ( $A = 61\%$ ). Este fato deve-se, possivelmente, pelos animais estarem consumindo maiores quantidades de folhas novas, que tem maior qualidade (digestibilidade), menor relação C/N ou pelo fato de nas intensidades de pastejo (20 e 30 cm), os animais possam ter tido um maior consumo com uma maior taxa passagem pelo trato digestivo, portanto uma menor digestibilidade, liberando no esterco, quantidades superiores de material potencialmente digestível (Merchen, 1993; Van Soest, 1994). O compartimento recalcitrante do esterco apresentou uma meia vida menor na altura de pastejo de 20 cm, seguida pelas alturas de pastejo de 40, 30 e 10 cm. Considerando, os dois compartimentos, de rápida e de difícil decomposição, a maior taxa de liberação de N foi na intensidade de pastejo de 20 cm, seguida, em ordem, pela de 30, 40 e 10 cm.

Segundo Soussana & Lemaire (2012), a ciclagem do N está diretamente ligada à do C, desde o crescimento da planta como na sua decomposição, com

o manejo da pastagem afetando fortemente esses ciclos, por influenciar a dinâmica e a capacidade dos microorganismos em capturar e reciclar o N. Já, em sistemas de ILP, essa ciclagem é modificada, pelo efeito da desacoplagem do C ao N. Essa desacoplagem é realizada pelos animais que consomem a forragem e acumulam, em seu organismo, uma pequena proporção de C e N com o restante retornando para a pastagem, mas de forma separada. O carbono retorna, na sua maioria, via esterco, já o nitrogênio, com 60 a 70% retornando via urina, ou seja, quanto mais intenso é o pastejo mais esses nutrientes são desacoplados, afetando a ciclagem do sistema.

A taxa de liberação de N dos resíduos da soja (folha e caule) não foi influenciada pelas intensidades de pastejo (Tabela 7) e nem pelos anos de avaliação (Apêndice 2). A taxa de liberação do N foi mais rápida do que a da decomposição do C dos resíduos da soja, tendo uma menor meia vida, em média, de 75 e 82 dias para resíduos de folha e caule, respectivamente (Tabela 7). Essa mais rápida liberação do N em relação ao C, deve-se pela necessidade dos microrganismos consumirem N para o seu crescimento (Tiessen & Shang, 1998).

A taxa de liberação de N dos resíduos culturais da soja foi rápida, apresentando uma meia vida de, em média, 68 e 126 dias para folhas e caules, respectivamente. A rápida liberação do N, principalmente das folhas da soja é atribuída à remoção da fração solúvel em água pela chuva e à facilidade de decomposição microbiana dessa fração, de baixa relação C/N, mesmo quando os resíduos culturais permanecem na superfície do solo (Padovan et al., 2006). A rápida diminuição das quantidades de N foi também observada em quatro leguminosas por Aita et al. (2001), que constatou, aos 30 dias após o corte das espécies, a permanência de apenas 40% da quantidade de N inicial, mesmo estando na superfície do solo. Thonnissen et al. (2000) verificaram que o pico de liberação de N dos resíduos de soja foi aos 56 dias após a incubação a campo.

Contudo, pode-se observar que os resíduos de caules da soja apresentaram uma maior meia vida em relação aos resíduos de folhas, pelo fato dos caules apresentarem um maior teor de lignina (11%) em relação às folhas (8%). A porcentagem de lignina, nos tecidos das plantas, desfavorece o processo de decomposição dos resíduos vegetais e a liberação dos nutrientes,

principalmente o N (Palm & Sanchez, 1991).

**Tabela 7** Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados aos valores medidos da taxa de liberação de nitrogênio da pastagem, esterco e soja e as constantes de decomposição ( $ka$  e  $kb$ ), tempo de meia vida ( $t^{1/2}$ ) e ajuste ( $R^2$ ) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS)

Altura de manejo do pasto	Comp. A	Ka	Kb	$T^{1/2}$		$R^2$
				A	(100-A)	
cm	%	.....dias <sup>-1</sup> .....		.....dias.....		
<b>Pastagem</b>						
10	72 a	0,005433 d	.....	128	.....	0,94
20	64 b	0,017885 a	.....	39	.....	0,94
30	57 c	0,013156 b	.....	53	.....	0,97
40	51 d	0,012520 b	.....	55	.....	0,95
SP	68 a	0,008421 c	.....	82	.....	0,94
<b>Esterco bovino</b>						
10	61 a	0,009004 d	0,001430 d	77	485	0,97
20	14 bc	0,094408 a	0,002719 a	7	255	0,99
30	10 c	0,060645 b	0,001530 c	11	453	0,96
40	20 b	0,034615 c	0,001694 b	20	409	0,98
<b>Caule soja</b>						
10	82 a	0,005443 a	.....	127	.....	0,98
20	83 a	0,005319 a	.....	130	.....	0,94
30	82 a	0,005788 a	.....	120	.....	0,97
40	82 a	0,005522 a	.....	125	.....	0,95
SP	83 a	0,005324 a	.....	130	.....	0,97
<b>Folha soja</b>						
10	75 a	0,010568 a	.....	66	.....	0,99
20	74 a	0,010597 a	.....	65	.....	0,99
30	75 a	0,009726 a	.....	71	.....	0,98
40	74 a	0,010375 a	.....	67	.....	0,98
SP	75 a	0,009929 a	.....	70	.....	0,98

SP: Sem pastejo. Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A liberação de nitrogênio dos resíduos da pastagem, do esterco e do acumulado apresentou diferenças entre as intensidades de pastejo ( $p < 0,05$ ), porém não diferindo entre os dois anos de avaliação (Apêndice 2). A liberação de N dos resíduos da pastagem (Figura 9A) e do esterco (Figura 9 B), a

exemplo do carbono (Figura 8), está diretamente relacionada com a quantidade original dos resíduos produzidos (Tabela 5), sendo maior no SP e pastejo a 40 cm de altura, seguidos em ordem decrescente, pelos tratamentos 30 cm, 20 cm e 10 cm, com liberação, aos 259 dias, de 98; 93; 69; 47 e 14 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. No esterco, a exemplo do C, a liberação foi maior no manejo do pasto a 10 cm seguido pelos manejos a 20 cm, 30 cm e 40 cm, com liberação, aos 253 dias, de 13; 12; 7 e 5 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Como se pode observar, a liberação do N ocorreu de forma gradual e uma parte desse nutriente pode ciclar novamente (reciclagem) na pastagem, ou seja, ocorre liberação do nutriente dos resíduos, principalmente animais (urina e esterco), para a própria cultura em crescimento, neste caso, para a própria pastagem.

O retorno do N via ciclagem, considerando-se a liberação acumulada de pastagem+esterco (Figura 9 C), foi maior nas áreas SP e pastejo leve (40 cm), seguida pelos pastejos moderados (30 e 20 cm), e menor liberação no manejo a 10 cm, com liberação, aos 30 dias, época de demanda para maioria das culturas, de 43; 43; 29; 26 e 8 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Portanto, esse retorno não seria suficiente para suprir as necessidades desse nutriente das plantas de milho e soja para uma produtividade de aproximadamente 9,0 e 3,5 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (CQFS RS/SC, 2004), porém, com o passar do tempo estaria disponibilizando N e de forma gradual para essas culturas.

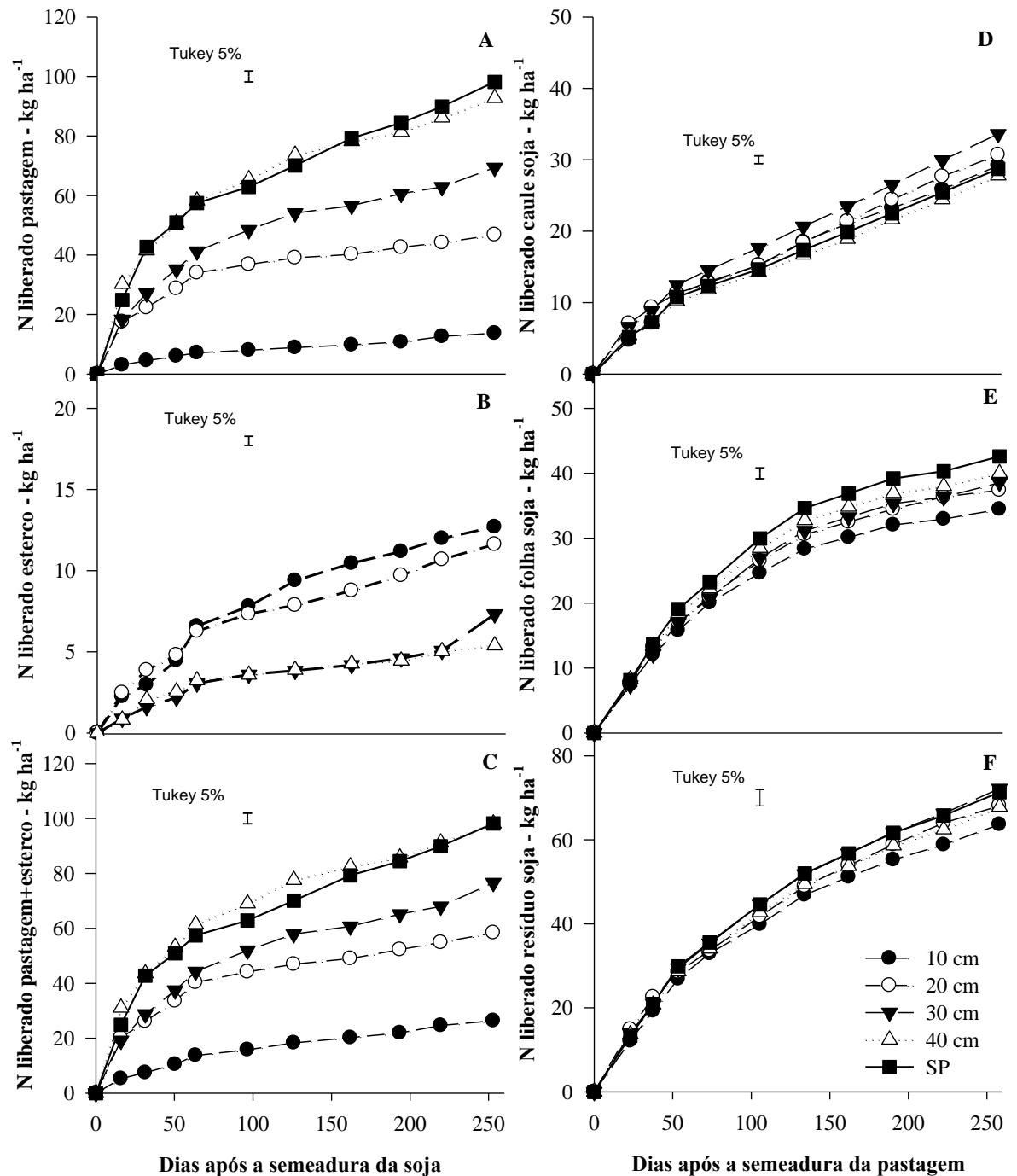
Contudo, vale ressaltar que o retorno de N nos sistemas pastejados ocorre predominantemente (60-70%) via urina, que está na forma solúvel e prontamente disponível para as culturas, sendo reciclado no próprio ciclo da pastagem, ou perdido do sistema por lixiviação, desnitrificação e volatilização (Haynes & Williams, 1993). Considerando o valor médio (65%), a ciclagem desse nutriente é maior na intensidade de pastejo de 40 cm (139 kg ha<sup>-1</sup>), seguida de pastejo de 30 cm (116 kg ha<sup>-1</sup>), do SP e pastejo a 20 cm (98 kg ha<sup>-1</sup>) e, finalmente, pelo pastejo mais intenso, 10 cm (66 kg ha<sup>-1</sup>).

O retorno de N dos resíduos de soja não foi influenciado ( $p>0,05$ ) pelas intensidades de pastejo (Figura 9 D,E,F) nem pelos anos de avaliação. O nitrogênio ciclado dos resíduos dessa cultura para a pastagem é importante para o sistema de ILP, mesmo que a cultura da soja não necessite de N, por sua obtenção via fixação simbiótica, introduzindo para o sistema um nutriente sem custo. Desta forma, pode-se observar que aos 119 dias (data média de

dias de pastejo) a quantidade de N liberado, dos resíduos de soja são maiores nas folhas, de 29 kg ha<sup>-1</sup>, do que nos caules, de 17 kg ha<sup>-1</sup>, resultando em média de 46 kg ha<sup>-1</sup>, que são liberados de forma gradual para a pastagem, na sequência.

A quantidade de N liberada pelos resíduos de soja não é suficiente para manter altas produções de matéria seca da pastagem de aveia+azevém, onde são necessários mais de 200 kg ha<sup>-1</sup>, para uma produção de matéria seca de 7,0 Mg ha<sup>-1</sup> em sistema de ILP (Assmann et al., 2004). Mesmo, que a ciclagem não seja suficiente para atender a demanda do sistema, ela mantém a atividade biológica do solo, sequestra gases do efeito estufa e reduz a demanda por insumos (fertilizantes), tornando a ILP um sistema de produção de alimentos mais equilibrado ao longo do tempo.

Sob essas condições, a ciclagem dos resíduos de um sistema ILP de plantio direto consolidado bem manejado, tende a apresentar fluxos mais intensos de N e sequestrar C, capaz de liberar nutrientes e, com isto, demanda uma menor entrada de insumos.



**Figura 9** Liberação de nitrogênio da pastagem (A), do esterco (B) acumulado no pastagem+esterco (C), nos caules de soja (D), nas folhas de soja (E) e acumulado dos resíduos de soja (F) em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).

## 6.5 Conclusões

A taxa de liberação de carbono e de nitrogênio dos resíduos da pastagem e do esterco bovino é influenciada pelas intensidades de pastejo, onde sistemas com pastejos intensivos (10 cm) e áreas sem pastejo (sistema sem animais) apresentam, menores taxas de liberação enquanto intensidades de pastejo intermediárias (20 a 30 cm) liberam esses nutrientes mais rapidamente desses resíduos.

Em sistemas de integração lavoura-pecuária há influência do pastejo sobre os processos de decomposição dos resíduos de pastagem e esterco, principalmente pela qualidade dos resíduos.

A liberação de carbono e de nitrogênio dos resíduos de soja não sofre influência do manejo da pastagem, com liberação mais rápida nas folhas do que nos caules.

Devido ao maior aporte de resíduos, o pastejo leve (40 cm) e o sistema sem pastejo, resultam em maior liberação total de carbono e de nitrogênio dos resíduos de pastagem e do esterco. Por outro lado, a liberação de nitrogênio dos resíduos da soja não é afetada pelo manejo da pastagem ou pela inserção dos animais no sistema, sendo, porém, insuficiente para manter altas produções de matéria seca da pastagem cultivada em sequência.

## **7. CAPÍTULO VI. CICLAGEM DE FÓSFORO E DE POTÁSSIO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO**

### **7.1 Resumo**

A integração lavoura-pecuária é um sistema que torna mais constante a ciclagem de nutrientes por incluir diferentes fontes de liberação de nutrientes. Assim, deve-se buscar o manejo adequado desse sistema para maximizar os benefícios por ele oferecidos. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes intensidades de pastejo nas taxas de decomposição e na liberação de fósforo (P) e potássio (K) dos resíduos de pastagem, do esterco e da soja em um sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto. O experimento foi iniciado em 2001, em um Latossolo Vermelho distroférrico, após a colheita da soja. Os tratamentos constam de alturas de manejo do pasto (aveia-preta + azevém): 10, 20, 30 e 40 cm, com bovinos de corte, e de áreas sem pastejo (SP) como referência, seguido do cultivo de soja, em delineamento de blocos ao acaso com três repetições. A taxa de decomposição e a liberação de P e de K foram determinadas por meio de alocação de sacos de decomposição (litter bags) no período 2009 a 2011, contendo resíduos da pastagem e esterco distribuídos na área experimental no dia da semeadura da soja e os resíduos de soja (folha e caule) distribuídos no dia da semeadura da pastagem. Os sacos de decomposição foram coletados ao longo dos ciclos para determinação de matéria seca remanescente e dos teores de P e K. Constatou-se uma maior taxa de liberação de P nas intensidades de pastejo moderadas (alturas de 20 e 30 cm), tanto nos resíduos da pastagem quanto de esterco. A liberação de K dos resíduos de pastagem e de esterco foi rápida e não influenciada pelas intensidades de pastejo. As intensidades de pastejo não influenciaram na taxa de liberação P e K dos resíduos de soja, porém, as folhas apresentaram uma maior taxa em relação aos caules. A liberação total de P e de K dos resíduos de pastagem e do esterco foram maiores nas áreas com pastejo leve e nas áreas sem pastejo.



## 7.2 Introdução

O estudo da ciclagem de nutrientes em sistemas mais complexos, como os de integração lavoura-pecuária (ILP) que envolvem diversos componentes (solo, planta e animal) são ainda escassos no Brasil. A sua importância vai além da agropecuária, pois envolvem aspectos econômicos e ambientais. Neste sentido, sistemas com a presença dos animais podem alterar a ciclagem dos resíduos e torná-la mais constante, por modificar a forma de retorno dos nutrientes presentes nos resíduos, que depende das condições bióticas e abióticas do solo, pois alteram a sua velocidade de decomposição (Shariff et al., 1994; Ferreira et al., 2011).

A quantificação da deposição de resíduos e o conhecimento dos processos de sua decomposição podem ser considerados como estratégias de gestão, tanto em ecossistemas naturais como em sistemas de produção agrícola e pecuária sustentáveis. O manejo do pasto altera o armazenamento e a ciclagem de nutrientes nesses sistemas, modificando a magnitude e a alocação de nutrientes para a biomassa acima e abaixo do solo. Isto pode alterar o microclima em relação à disponibilidade de luz, água, e nutrientes nesses sistemas e modificar a diversidade funcional de plantas, por influenciar a quantidade e qualidade do aporte de nutrientes (Ingram et al., 2008). O nível de utilização das pastagens (intensidades de pastejo) também determina a importância de cada resíduo, de plantas ou dejetos de animais na ciclagem de nutrientes (Thomas, 1992).

O animal inserido no sistema de produção agrícola pode possibilitar aumento nos teores de matéria orgânica (MO) do solo se o sistema for manejado corretamente, por ser um agente reciclador de nutrientes por excelência. Além disso, a deposição de dejetos dos animais, por favorecer a ciclagem dos nutrientes, pode reduzir o uso de fertilizantes sintéticos no sistema (Russelle et al., 2007). O animal participa de forma direta na reciclagem dos nutrientes pela ingestão e consumo das plantas, onde, os nutrientes ficam momentaneamente imobilizados no processo digestivo e metabólico, e uma grande quantidade retorna ao solo, via excreção de esterco e urina (Cantarutti et al., 2001). Conforme Haynes & Williams (1993), até 90% dos nutrientes ingeridos pelos animais via pastejo retornam ao solo nessa

forma e cerca de 95% e 28% do fósforo (P) e potássio (K) volta para o sistema via esterco, respectivamente.

De forma indireta, o animal participa da ciclagem de nutrientes pelas modificações morfofisiológicas impostas pelo pastejo às gramíneas, influenciando em uma maior ou menor velocidade de mineralização (Semmartin et al., 2006), o que resulta na diminuição das relações colmo/folha e carbono/nitrogênio (C/N) da gramínea pastejada (Lang et al., 2004). Essas mudanças na composição da pastagem podem provocar alterações na taxa de decomposição dos resíduos culturais, uma vez que esse processo é controlado por diversos atributos intrínsecos aos resíduos como, por exemplo, as concentrações de nitrogênio, lignina e polifenóis e as relações C/N, lignina/N e lignina + polifenóis/N (Trinsoutrot et al., 2000).

A decomposição e liberação de P e K dependem da localização e da forma em que esses nutrientes se encontram no tecido vegetal. O potássio, por exemplo, não se encontra em componentes estruturais, estando na forma iônica no vacúolo das células das plantas (Hawkesford et al., 2012), assim, podendo o mesmo ser rapidamente liberado logo após o manejo dos resíduos, tendo, pouca dependência dos processos microbianos. Já, no caso do P, a maior parte encontra-se associada a componentes orgânicos do tecido vegetal (Hawkesford et al., 2012) e a sua liberação está diretamente ligada ao processo de decomposição pelos microrganismos do solo.

Necessita-se, portanto, entender os efeitos de manejo de pastagens na ciclagem de nutrientes para conceber sistemas produtivos e sustentáveis, como a ILP. No entanto, esse conhecimento é ainda limitado nos diferentes arranjos de produção integrada no ambiente tropical e subtropical brasileiro. Essa informação irá ajudar no desenvolvimento e implementação de práticas de gestão de sistemas integrados, para uma utilização eficiente dos nutrientes que circulam entre os diversos compartimentos do sistema (solo-planta-animal-atmosfera).

O objetivo deste estudo foi de determinar a influência de diferentes intensidades de pastejo na liberação de fósforo e de potássio dos resíduos da pastagem, do esterco e da soja em um sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto de longa duração.

### **7.3. Material e Métodos**

Os materiais e os métodos utilizados neste estudo, por serem comuns aos demais que tratam da ciclagem de nutrientes, foram previamente descritos no Capítulo IV.

### **7.4 Resultados e Discussão**

#### **7.4.1 Teores e quantidades de fósforo e de potássio nos resíduos**

As quantidades de nutrientes liberadas pelos resíduos são determinadas pela cinética de sua decomposição, do seu conteúdo em nutrientes e da sua consequente liberação nos compartimentos (lábil e recalcitrante). Essas informações são importantes para subsidiar o manejo da adubação em sistemas de integração, quando se deseja estabelecer um sincronismo entre a disponibilidade e a demanda de nutrientes pelas culturas, permitindo um melhor aproveitamento dos nutrientes ciclados. Com isto pode-se minimizar perdas de nutrientes por lixiviação ou mesmo a imobilização microbiana por longos períodos (Mathews et al., 2004). Como as quantidades de resíduos e seus teores de lignina foram apresentados e discutidos no Capítulo VI, somente são apresentados aqui os teores iniciais e as quantidades de fósforo e de potássio neles contidos (Tabela 8).

Não foram observadas diferenças ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos de manejo do pasto para os teores de P e K no tecido foliar dos resíduos do pasto e da soja, bem como dos resíduos de esterco (Tabela 8). Contudo, os teores de P presentes nos resíduos de esterco são maiores que os observados pelos demais resíduos, isso se deve pelo fato de que, cerca de 95% do P volta via esterco para o sistema (Haynes & Williams, 1993), em uma forma concentrada, por ter sofrido uma pré-degradação no rumem do animal. Já, quanto ao teor de K no esterco esse é maior que para os demais resíduos, mas em menor escala que o P, e esse efeito é pelo fato de que cerca 72% do K retorna ao sistema via urina e, apenas 28% retorna via esterco (Haynes & Williams, 1993).

A quantidade de P e de K nos resíduos a decompor, determinada pela quantidade de resíduos no final do ciclo (Tabela 5) e do seu teor em nutrientes,

varia com o resíduo e com o manejo do pasto (Tabela 8).

**Tabela 8** Teores e quantidades de fósforo e de potássio nos diferentes resíduos (pastagem, esterco e folha e caule de soja) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS)

Altura de manejo do pasto	Resíduo no sistema			
	Pasto	Esterco bovino	Caule soja	Folha soja
<i>cm</i>				
<b>Teor de P</b>	..... <i>g kg<sup>-1</sup></i> .....			
10	3,12 a	6,83 a	1,57 a	1,77 a
20	2,14 a	6,16 a	1,69 a	1,73 a
30	2,39 a	6,27 a	1,88 a	1,85 a
40	2,62 a	6,92 a	1,53 a	1,72 a
SP	2,36 a	.....	1,95 a	2,00 a
<b>Teor de K</b>	..... <i>g kg<sup>-1</sup></i> .....			
10	14,52 a	18,35 a	12,63 a	12,62 a
20	14,42 a	18,34 a	11,72 a	14,82 a
30	15,40 a	20,25 a	12,27 a	13,20 a
40	13,72 a	21,51 a	13,01 a	14,25 a
SP	13,08 a	.....	15,50 a	13,72 a
<b>Quantidade de P</b>	..... <i>kg ha<sup>-1</sup></i> .....			
10	3,27 d	8,31 a	4,46 a	4,09 a
20	5,21 c	4,96 b	4,66 a	4,02 a
30	9,48 b	3,78 c	5,82 a	4,52 a
40	14,37 a	3,18 d	3,89 a	4,26 a
SP	14,63 a	.....	5,23 a	5,36 a
<b>Quantidade de K</b>	..... <i>kg ha<sup>-1</sup></i> .....			
10	15,40 d	22,38 a	35,81 a	28,93 a
20	34,09 c	14,87 b	32,23 a	33,71 a
30	61,79 d	12,15 c	38,18 a	32,12 a
40	75,08 a	9,90 d	33,24 a	35,32 a
SP	80,61 a	.....	41,37 a	36,76 a

SP = Sem Pastejo: Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Quanto aos resíduos, verificou-se diferença entre as intensidades de pastejo ( $p < 0,05$ ) para os do pasto e do esterco (Tabela 8). O resíduo do pasto continha menor quantidade de P e K à medida que aumentava a intensidade de pastejo. A quantidade de P e K nos resíduos foi maior na área SP, que não diferiu da intensidade de pastejo de 40 cm; isso representa uma quantidade de P e K, 4,4 e 5,0 vezes superior em relação à menor quantidade encontrada no

pastejo a 10 cm, respectivamente. Já no esterco ocorreu o inverso, isto é, houve aumento da quantidade de P e K com aumento das intensidades de pastejo, devido à maior a carga animal e, conseqüentemente, maior produção de resíduos (esterco e urina). Contudo, a diferença entre os tratamentos para os resíduos de esterco é menor, com a maior quantidade de P e K no manejo do pasto a 10 cm, representando um incremento de 2,6 e 2,3 vezes, respectivamente, em relação à menor quantidade encontrada na intensidade de 40 cm.

Nos resíduos da soja não se observou diferença entre as intensidades de pastejo ( $p > 0,05$ ), para as quantidades de P e K (Tabela 8), apresentando uma maior quantidade, de  $4,8 \text{ kg ha}^{-1}$  de P e  $36,2 \text{ kg ha}^{-1}$  de K e  $4,4 \text{ kg ha}^{-1}$  de P e  $33,4 \text{ kg ha}^{-1}$  de K para os resíduos de caule e folha de soja, respectivamente.

#### **7.4.2 Ciclagem de fósforo**

A mineralização de fósforo dos resíduos não apresentou diferença ( $p > 0,05$ ) entre os dois anos de avaliação e por isto são apresentados em conjunto (Apêndice 3). A cinética de liberação desse nutriente dos resíduos do pasto e do esterco bovino diferiu ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos de manejo do pasto (Tabela 9) e o modelo que mais se ajustou aos dados de ambos os resíduos foi o modelo exponencial duplo. Neste caso, o conteúdo de fósforo nesses compartimentos diminuiu exponencialmente em taxas constantes ( $k_a$  e  $k_b$ ), sendo a primeira fração (A), considerada lábil, transformada mais rapidamente do que a segunda ( $100-A$ ), que é de mais difícil decomposição (recalcitrante).

O modelo utilizado determina, ainda, as frações, do material, presentes nos compartimentos facilmente decomponível e recalcitrante (Tabela 9). No caso, a fração recalcitrante domina (66 a 69%) em relação à fração lábil. Esta fração (lábil), por sua vez, foi maior nos pastejos moderados (alturas de manejo de 20 e 30 cm) e também resultou em maior taxa liberação de fósforo tanto da fração lábil como na recalcitrante, em relação aos demais tratamentos de manejo. Da mesma forma, a taxa de liberação desse nutriente do esterco foi maior nos pastejos moderados em relação aos demais (altura de pastejo 10 e

40 cm e sem pastejo).

Liberação mais rápida de P dos resíduos do pasto e do esterco nos pastejos moderados pode também ser verificada pelo seu menor tempo de meia vida em ambas as frações (Tabela 9), sendo esse tempo (meia-vida) muito menor na fração lábil de ambos os resíduos em relação à fração recalcitrante. Semmartin et al. (2008) também observaram maior liberação de fósforo de gramíneas (*Lolium multiflorum* e *Paspalum dilatatum*) sob pastejo em relação às áreas sem pastejo. Os autores atribuíram isso a mudanças na qualidade da pastagem, teor de lignina e suas relações lignina:N, e modificações do solo, promovidas pelo pastejo como na comunidade microbiana e nos teores de N promovidos pela deposição de dejetos.

Já os tratamentos em que a pastagem foi pastejada intensamente (10 cm) e de forma leve (40 cm) e não pastejados (SP) resultaram em um maior tempo de meia vida, tanto na forma mais prontamente decomponível, de em média 25 dias, quanto na recalcitrante de, em média, 481 dias (Tabela 9). Mudanças na comunidade microbiana do solo influenciadas pelo longo tempo de pastejo possivelmente seja uma das causas das diferenças observadas na taxa de liberação dos nutrientes entre áreas pastejadas e não pastejadas (Bardgett et al. 1998, 2001; Semmartin et al. 2008), além dos efeitos na modificação da estrutura da pastagem (teor de lignina), como também verificado neste trabalho (Tabela 5).

A diferença no tempo de meia vida na liberação de fósforo do pasto (Tabela 9), de 14 para 25 dias, do compartimento lábil e, de 408 para 481 dias, do compartimento recalcitrante entre os tratamentos com intensidades de pastejo moderados (20 e 30 cm) em relação às intensidades alta (10 cm), leve (40 cm) e sem pastejo, representa uma liberação média de 56% do P lábil e de, somente, 15% do P recalcitrante. A liberação mais rápida desse nutriente nas intensidades moderadas de pastejo deve estar ligada ao menor teor de lignina: 9,3% de lignina (20 e 30 cm de altura de pastejo), e os demais tratamentos de manejo do pasto, apresentaram teores médios de lignina de 11,7% (Tabela 8).

Mesmo havendo liberação mais rápida de fósforo nos pastejos moderados, 61% do seu conteúdo inicial ainda permaneciam nos tecidos do pasto aos 31 dias após a sua deposição sobre o solo. Esses resultados são similares aos observados por Giacomini et al. (2003), que encontraram 70% do

conteúdo inicial de fósforo aos 29 dias da deposição de resíduos de aveia no solo. Nos demais tratamentos, o resíduo do pasto continha ainda 80% do P inicial.

A maior parte do P do tecido vegetal encontra-se nos vacúolos das células, na forma mineral, bastante solúvel em água (Marschner, 1995). Para que ele seja liberado dos resíduos culturais, os vacúolos devem ser rompidos por fatores abióticos (chuva) e o P solúvel em água (Psa), constituído principalmente por P inorgânico (Pi) e monoésteres, seja liberado, restando nos resíduos as formas de P não solúvel em água (maioria como diésteres, ácidos nucléicos, fosfolipídios e fosfoproteínas), dependentes da população microbiana do solo para a sua mineralização (Frossard et al., 1995, Giacomini et al, 2003).

O pastejo moderado também resultou em liberação mais rápida de fósforo do esterco (Tabela 9), conforme indicado pela menor meia vida em ambas as frações: de 5-6 dias na fração lábil e de 185-187 dias na recalcitrante. Nos tratamentos pastejados intensamente (10 cm) e levemente (40 cm), o período de meia vida foi em torno de 10 dias, do material mais prontamente decomponível, e de 313 dias, no material recalcitrante, representando 1,7 vezes mais tempo para decompor a mesma quantidade de P. Também, para o esterco, a liberação de fósforo se relaciona com os teores de lignina (Tabela 5), que foram menores (18,2%), nos pastejos moderados, compatíveis com os teores encontrados em pastagem de boa qualidade.

Não foram identificadas diferenças ( $p > 0,05$ ) entre as intensidades de pastejo no tempo de meia vida de P dos resíduos de folhas e de caules de soja (Tabela 9), cultivada na sequência, nos dois anos de avaliação (Apêndice 3). O modelo mais ajustado para os caules da soja foi o exponencial simples e, para as folhas, o exponencial duplo (Tabela 9). Como as folhas de soja, possuem relação C:N mais baixa em relação aos caules, estão sujeitas a uma maior atividade microbiana que acaba por consumir simultaneamente ambos os compartimentos, lábil e recalcitrante, mesmo que este (recalcitrante) predomine (61%). O compartimento lábil dos resíduos das folhas possui um período de meia vida pequeno (em torno de 15 dias), com participação também pequena (somente 23%) e um tempo de meia vida da fração recalcitrante alta (em torno de 119 dias). Tais diferenças, mais uma vez, podem ser atribuídas aos

respectivos teores de lignina, sendo 11% nos caules e 8% nas folhas (Tabela 5). Chagas et al. (2007) também observaram um tempo de meia vida menor para as folhas (58 dias) do que para os caules + folhas (98 dias) na cultura de outra leguminosa (feijão). Tempo de meia vida de 27 dias foi observado por Padovan et al. (2006), em plantas de soja aos 115 dias após emergência.

**Tabela 9** Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados aos valores medidos da taxa de liberação de fósforo da biomassa da pastagem (aveia+azevém), esterco, caule e folha de soja e as constantes de decomposição ( $k_a$  e  $k_b$ ) tempo de meia vida ( $t^{1/2}$ ) e valores de  $R^2$  em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS)

Altura de manejo do pasto	Comp. A	$K_a$	$K_b$	$T^{1/2}$		$R^2$
				A	(100-A)	
cm	%	.....Dias <sup>-1</sup> .....		.....Dias.....		
<b>Pastagem</b>						
10	31 b	0,029194 b	0,001436 b	24	483	0,98
20	44 a	0,050222 a	0,001739 a	14	399	0,97
30	44 a	0,050802 a	0,001664 a	14	417	0,97
40	32 b	0,026916 b	0,001452 b	26	477	0,98
SP	32 b	0,027288 b	0,001435 b	25	483	0,98
<b>Esterco bovino</b>						
10	35 a	0,073035 b	0,002179 b	9	318	0,99
20	32 a	0,145653 a	0,003742 a	5	185	0,98
30	32 a	0,117946 a	0,003700 a	6	187	0,99
40	35 a	0,060944 b	0,002253 b	11	308	0,99
<b>Caule soja</b>						
10	61 a	0,012181 a	.....	57	.....	0,95
20	61 a	0,012195 a	.....	57	.....	0,95
30	61 a	0,011687 a	.....	59	.....	0,95
40	61 a	0,012041 a	.....	58	.....	0,95
SP	61 a	0,011818 a	.....	59	.....	0,95
<b>Folha soja</b>						
10	24 a	0,058064 a	0,005799 a	12	120	0,99
20	23 a	0,046252 a	0,005864 a	15	118	0,99
30	22 a	0,047754 a	0,005810 a	15	119	0,99
40	23 a	0,045931 a	0,005859 a	15	118	0,99
SP	23 a	0,045320 a	0,005853 a	15	118	0,99

SP: Sem pastejo. Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).



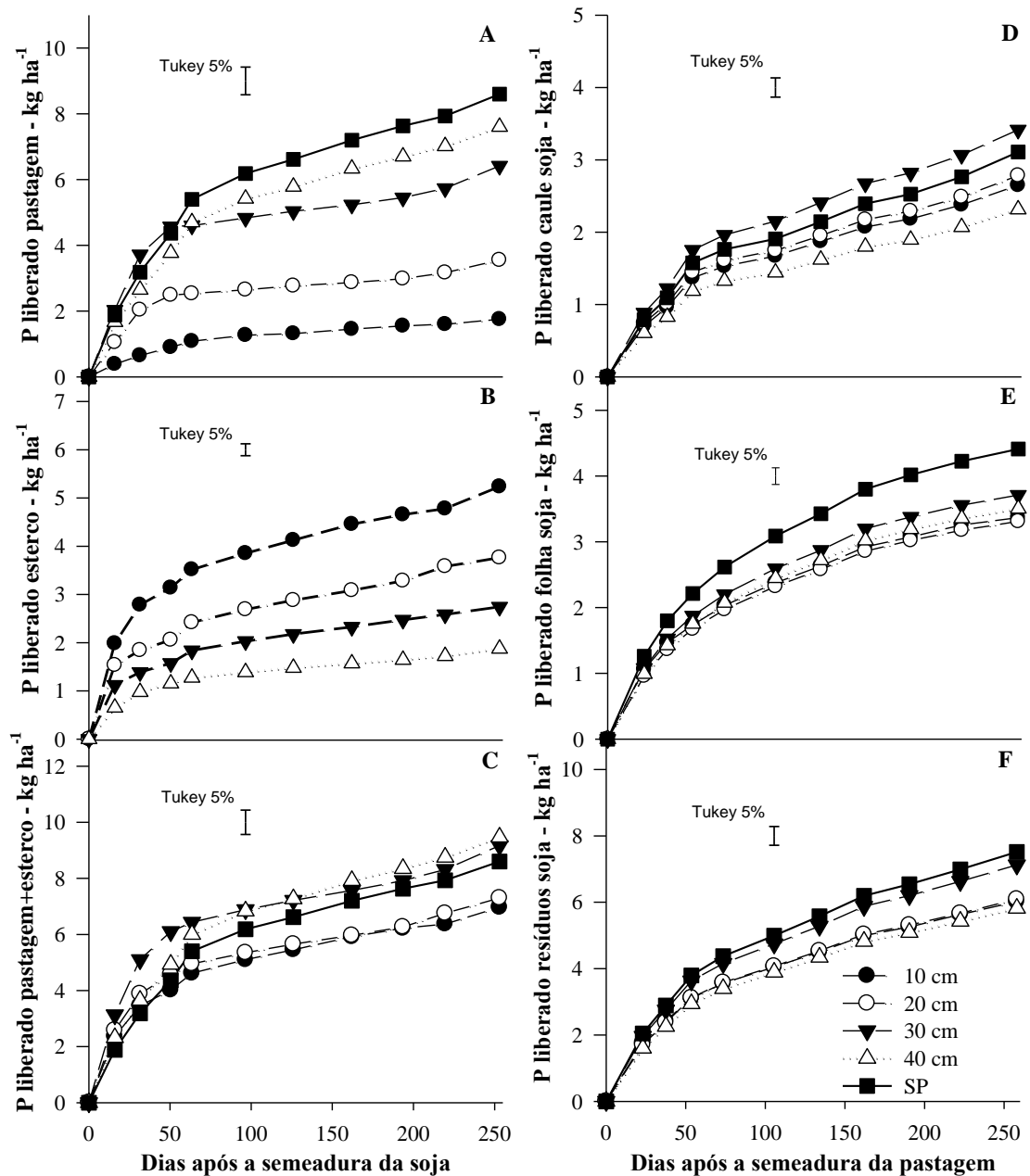
A partir dos modelos exponenciais ajustados por Paul & Clark (1996), foram estimadas as quantidades de fósforo liberadas ao longo do tempo de decomposição dos resíduos (Figura 10). O fósforo liberado dos resíduos do pasto (Figura 10 A) aumentou com a quantidade de resíduos remanescentes após o ciclo de pastejo (Tabela 5). A liberação foi maior, ao longo do tempo e no final da avaliação, nos tratamentos SP e pastejo leve (40 cm), que não diferiram entre si, seguidos, respectivamente, pelas intensidades de pastejo 30, 20 e 10 cm, cujo acúmulo aos 253 dias, foi de 8,6 a 1,7 kg de P ha<sup>-1</sup>.

O fósforo liberado do esterco bovino apresentou um comportamento inverso do observado do pasto (Figura 10 B), em função de sua relação direta com a intensidade de pastejo. A liberação decorreu das quantidades de esterco produzidas, sendo maior no pastejo mais intenso, diminuindo com a intensidade de pastejo (20, 30 e 40 cm), liberando, ao final (253 dias), quantidades que variaram de 5,3 a 1,9 kg de P ha<sup>-1</sup>, do pastejo intenso para o moderado. É importante que se ressalte que essa liberação representa 95% do P contido na excreta, uma vez que a liberação pela urina é pequena (Haynes & Williams, 1993).

A liberação acumulada de P do pasto+esterco (Figura 10 C) é determinada predominantemente pelos resíduos do pasto, em maior quantidade em relação ao esterco; assim, os tratamentos SP e 40 cm apresentam uma maior liberação de P, com liberações intermediárias nas intensidades de 20 e 30 cm e com baixa liberação no pastejo intenso, de 10 cm de altura do pasto. Isto leva a uma diminuição da quantidade P acumulada no sistema com a intensidade de pastejo, visto que não há diferença ( $p > 0,05$ ) na liberação de P dos resíduos de soja (Figura 10 D,E,F).

As quantidades totais de P liberado a partir do final do pastejo (Figura 10 C) foram similares, variando de 22 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> no pastejo de 40 cm a 16 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> no pastejo de 10 cm, o que representam 37 a 27% da quantidade indicada pela CQFS RS/SC (2004), de 60 kg ha<sup>-1</sup>, para uma produtividade de soja de 4,0 Mg ha<sup>-1</sup>, em solos com teor disponível de fósforo na faixa de suficiência (acima do teor crítico), como do presente experimento. As quantidades liberadas até 45 dias após a saída dos animais, de 9 a 14 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, são importantes para o estabelecimento da soja. Considerando que

o fósforo se encontra na forma orgânica nos resíduos, e sua liberação é gradativa, diminui a possibilidade de sua retenção aos óxidos-hidróxidos de Fe e Al, elevados nesse solo (Silva Neto et al., 2008), o que pode levar a uma utilização mais eficiente desse nutriente pelas plantas, em relação aplicação de adubos minerais prontamente solúveis.



**Figura 10** Liberação de fósforo da pastagem (A), do esterco (B) e acumulado da pastagem+esterco (C), dos caules de soja (D), das folhas de soja (E) e acumulado dos resíduos de soja (F) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).

A quantidade de P liberada dos resíduos de soja não foi influenciada pelas intensidades de pastejo ( $p > 0,05$ ), sendo que a liberação entre os resíduos de folha e caule (caule+vagens) foi semelhante, tendo uma liberação acumulada pelos resíduos da soja (folha+caule+vagens) aos 258 dias após a alocação dos sacos de decomposição, de 6,0 à 7,5 kg ha<sup>-1</sup> de P para a intensidade de pastejo de 10 cm e área SP, respectivamente.

### 7.4.3 Ciclagem de potássio

A cinética de liberação de potássio dos resíduos não diferiu entre as intensidades de pastejo ( $p > 0,05$ ) nem entre os anos de avaliação (Apêndice 4); assim, os dados médios dos tratamentos (Tabela 10) são apresentados e discutidos conjuntamente.

A liberação de K pelos resíduos seguiu um padrão semelhante entre as intensidades de pastejo (Tabela 10), descrita pelo modelo exponencial simples e elevada proporção na fração prontamente decomponível (lábil): em torno de 89% nos resíduos do pasto, 93% do esterco e 99% da soja (folhas e caules). Nos resíduos do pasto, a taxa de liberação do K (meia-vida) foi 19 dias, o que corrobora os resultados de Schunke (1998) em cultivares de *Panicum maximum*, com 98,5% do K sendo liberado em 28 dias após a deposição da serapilheira no solo e com os de Giacomini et al. (2003), que constataram liberação de 55% do potássio de resíduos de aveia em 15 dias. Bortolli (2010) em trigo duplo propósito pastejado em diferentes dias observou que 85,9% do K estava presente no compartimento prontamente disponível (A) com uma meia vida de 8 dias.

O tempo de meia vida do K encontrada para esterco bovino foi ainda menor, em média de 12 dias, tal como verificado por Haynes & Willians (1993) onde o pico de K trocável atingiu seu máximo nos pontos de deposição do esterco, um mês após a aplicação. A decomposição é rápida, porque esse elemento se encontra majoritariamente nos resíduos, em forma solúvel em água (Weeda, 1977). Esse et al. (2001) também verificaram uma rápida liberação de K em esterco nas primeiras seis semanas de disposição dos resíduos, com posterior estabilização.

Da mesma forma, Pitta et al. (2012) verificaram que 84 e 91% do K foi

liberado de cama de aviário em 15 e 30 dias, respectivamente, após a alocação dos sacos de decomposição no campo.

**Tabela 10** Parâmetros do modelo exponencial simples ajustados aos valores medidos da taxa de liberação do potássio da biomassa da pastagem (aveia+azevém), esterco, caule e folha de soja e a constantes de decomposição ( $ka$ ) tempo de meia vida ( $t^{1/2}$ ) e valores de  $R^2$ , em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS)

Altura de manejo do pasto	Com. A	Ka	$T^{1/2}$	$R^2$
			A	
cm	%	.....Dias <sup>-1</sup> .....	.....Dias.....	
<b>pastagem</b>				
10	86 a	0,041027 a	17	0,97
20	89 a	0,039032 a	18	0,99
30	91 a	0,034465 a	20	0,99
40	90 a	0,035044 a	20	0,99
sp	90 a	0,039391 a	18	0,99
<b>esterco bovino</b>				
10	91 a	0,061094 a	11	0,98
20	93 a	0,058541 a	12	0,99
30	95 a	0,059613 a	12	0,97
40	94 a	0,059533 a	12	0,98
<b>caule de soja</b>				
10	99 a	0,044526 a	16	0,99
20	99 a	0,043319 a	16	0,99
30	99 a	0,046982 a	15	0,99
40	99 a	0,042095 a	16	0,99
sp	98 a	0,034868 a	20	0,98
<b>folha de soja</b>				
10	98 a	0,063016 a	11	0,99
20	98 a	0,061260 a	11	0,99
30	98 a	0,062155 a	11	0,99
40	98 a	0,061947 a	11	0,99
sp	98 a	0,059895 a	12	0,98

SP: Sem pastejo. Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Essa rápida liberação de K do esterco e do pasto deve-se ao fato de que esse nutriente não faz parte de compostos estruturais da planta, sendo

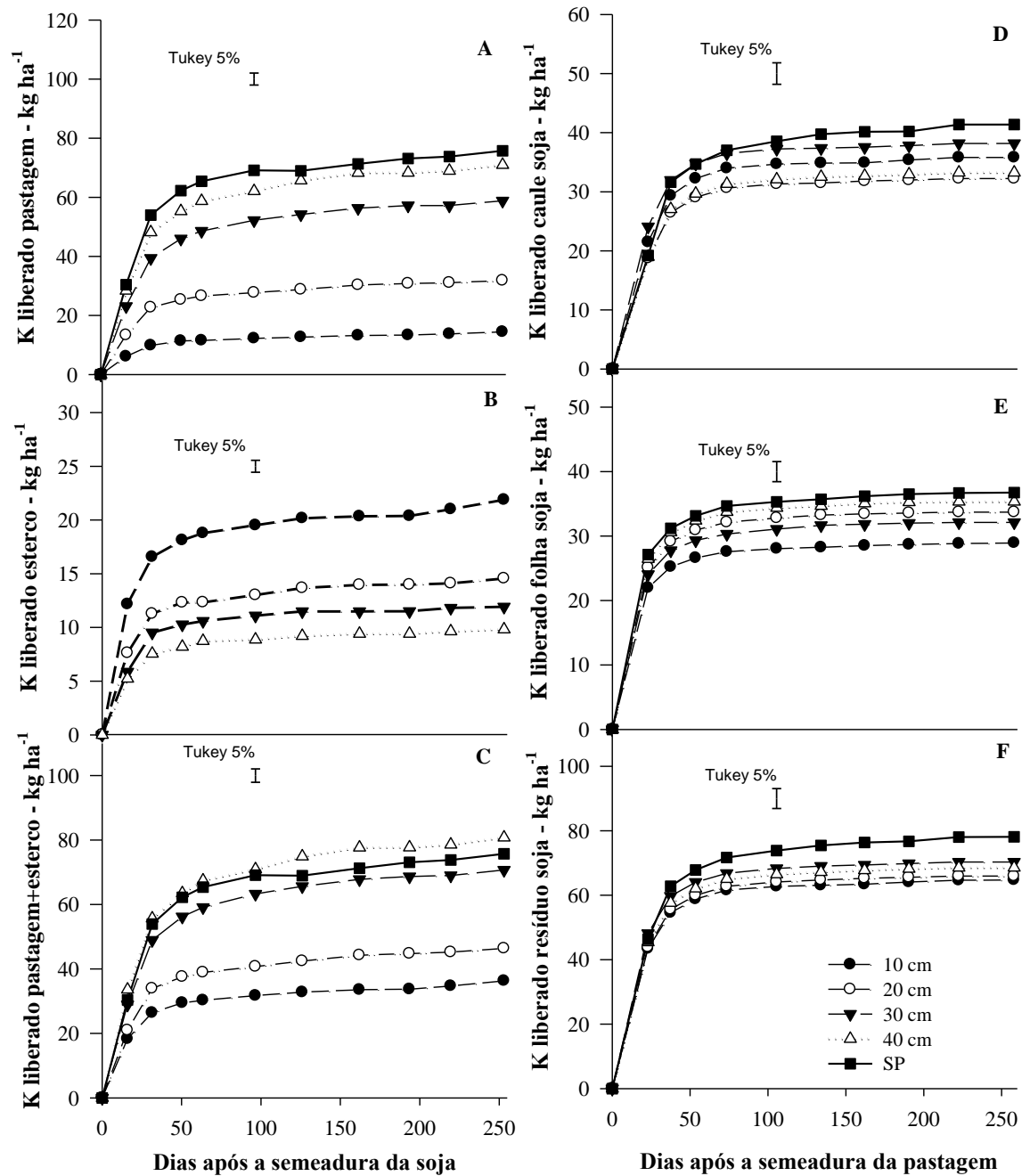
prontamente liberado da serapilheira (Tripathi & Singh, 1992). O K se movimenta livremente no fluído das células, atuando em processos fisiológicos (potencial osmótico e elétrico, balanço iônico, funcionamento da membrana celular e síntese dos aminoácidos e das proteínas). Quando a membrana perde a funcionalidade, esse nutriente é facilmente separado (liberado) do material orgânico (Buldeman, 1988).

A taxa de liberação de K dos resíduos da soja (folha e caule) também não foi influenciada pela intensidade de pastejo (Tabela 10) e seguiu modelo exponencial simples, conforme antes mencionado, e liberação de 99% do seu conteúdo presente no compartimento lábil, com taxa de liberação mais rápida nas folhas, com o tempo de meia vida de 11 dias, em relação aos caules, com tempo médio de meia vida de 17 dias. Resultados semelhantes foram verificados por Padovan et al. (2006), de 13 dias com soja, e por Chagas et al. (2007), com uma meia vida de 15 dias para as folhas e de 21 dias para os caules+vagens do feijoeiro.

A partir dos valores de matéria seca residual (do pasto, esterco, e folhas e caules de soja), Tabela 5 e do respectivo teor de potássio (Tabela 8), obteve-se a quantidade de potássio com potencial de retorno ao sistema. A liberação de potássio dos resíduos do pasto e do esterco apresentaram diferenças entre as intensidades de pastejo ( $p < 0,05$ ). Assim, a liberação de K dos resíduos da pastagem (Figura 11 A) e do esterco (Figura 11 B), a exemplo do P (Figura 10), está diretamente relacionada com a quantidade original dos resíduos produzidos (Tabela 8), sendo maior no tratamento sem pastejo (SP), que é igual ao pastejo de 40 cm seguidos, em ordem decrescente, pelos tratamentos 30 cm, 20 cm e 10 cm. A sua liberação é rápida e variável com os tratamentos sem pastejo ( $74 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$ ) e pastejo a 10 cm ( $13 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$ ), aos 45 dias, havendo somente um pequeno aumento a partir desse período.

No esterco, a exemplo do fósforo, a liberação foi maior no pastejo mais intenso, com liberação aos 45 dias, de 22 a  $10 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$ , à medida que diminuiu a intensidade de pastejo. Como se pode observar, a liberação de K é rápida e uma parte liberada deste nutriente pode ser novamente incorporada na pastagem e novamente ingerida pelo animal, podendo retornar ao sistema no mesmo ciclo de pastejo (reciclagem), especialmente pelo fato de que 72% do ingerido pelo animal retorna pela urina (Haynes e Williams, 1993).

O retorno do K via ciclagem do pasto+esterco foi afetado ( $p < 0,05$ ) pelas intensidades de pastejo (Figura 11C). As quantidades liberadas (Figura 11 C) ao longo do tempo foram grandes e na seguinte ordem: pastejo leve (40 cm), com 97 a 43 kg de  $K_2O \text{ ha}^{-1}$ , no pastejo intenso (10 cm). Essas quantidades são relevantes, representando de 58 a 125% da quantidade de 60 kg de  $K_2O \text{ ha}^{-1}$ , para uma produtividade de  $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de grãos de soja, considerando que os teores disponíveis no solo, se encontram na faixa de suficiência (CQFS RS/SC, 2004). É importante também considerar que, em função da rápida liberação de potássio dos resíduos, quantidades elevadas, de 35 kg de  $K_2O \text{ ha}^{-1}$ , no pastejo intenso, a 74 kg de  $K_2O \text{ ha}^{-1}$ , no pastejo leve (40 cm), podem ser disponibilizadas na época do estabelecimento da soja. Contudo, vale ressaltar que o retorno de K nos sistemas pastejados ocorre predominantemente (72 %) via urina, que está na forma solúvel e prontamente disponível para as culturas (Haynes & Willians, 1993). Considerando esse valor (72%), a ciclagem desse nutriente é maior na intensidade de pastejo de 10 cm ( $160 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ ), seguida de 30 cm ( $157 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ ), de 40 cm ( $151 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ ), de 20 cm ( $134 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ ) e no SP ( $92 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ ).



**Figura 11** Liberação de potássio da pastagem (A), do esterco (B) e acumulado da pastagem+esterco (C), dos caules de soja (D), das folhas de soja (E) e acumulado dos resíduos de soja (F) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS).

Diante exposto, é possível que as adubações potássicas atualmente praticadas, possam ser altas, uma vez que não se considera a quantidade de retorno de K via resíduos de palhada e/ou resíduos animais, pelas

recomendações. É importante salientar que, embora parte do K seja exportado da lavoura via grãos, e uma considerável parte é perdida do sistema via lixiviação, uma grande parte retorna ao solo via resíduo para a cultura subsequente, neste caso, a soja.

O retorno de K dos resíduos de soja não foi influenciado ( $p > 0,05$ ) pelas intensidades de pastejo (Figura 11 D,E,F). Considerando o período médio de pastejo na área, de 119 dias, verifica-se que a quantidade de K liberado dos resíduos de soja é similar nas folhas ( $33 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e nos caules ( $34 \text{ kg ha}^{-1}$ ), resultando em um total médio de  $67 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , que são liberados rapidamente para a pastagem.

#### **7.4.4 Ciclagem de fósforo e potássio e recomendações de adubação em sistemas integrados de produção agrícola**

O foco das recomendações de adubação deve ser diferenciado nos sistemas de produção integrada em relação à tradicional adubação por cultura, mesmo quando em sistema plantio direto com plantas de cobertura. Além dessa ciclagem ter importância na manutenção do sistema, ela é também responsável por manter a atividade biológica do solo e a possibilidade de usar menos insumos, mantendo os sistemas de ILP sustentáveis a longo tempo.

Pela elevada ciclagem de potássio, a sua adubação deve ser levada em consideração, principalmente em sistemas de plantio direto consolidado (mais de dez anos) e bem manejado.

Apesar dos aspectos positivos da inclusão da ciclagem de nutrientes na definição das recomendações de adubação, existe outro aspecto fundamental a ser considerado na produção integrada de sistemas agropecuários, em manejos conservacionistas e alta fertilidade do solo, que é a alteração da própria lógica da adubação. De fato, não é lógico, aplicar, na semeadura da soja, as maiores quantidades de adubação, pois em média de dez anos, após a saída dos animais, estes exportam apenas uma pequena quantidade de P e K, correspondendo a  $6,0$  e  $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente, muito inferior às quantidades exportadas pelos grãos de soja, que foram, em média de  $35 \text{ kg ha}^{-1}$   $\text{P}_2\text{O}_5$  e de  $63 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , para uma produtividade média de  $2,80 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Carvalho et al., 2011) Considerando o funcionamento do sistema,



o paradigma é de inverter essa lógica, adubando mais a pastagem e menos a cultura da soja, resultando em maior rendimento do pasto e do animal, com os mesmos nutrientes ciclando (e reciclando) em quantidades superiores às demandas da cultura (soja).

## **7.5 Conclusões**

Sistemas de integração lavoura-pecuária manejados com intensidades de pastejo moderadas, aceleram a dinâmica de liberação do fósforo.

A ciclagem do fósforo e de potássio em sistema de integração lavoura-pecuária é maior nas áreas com pastejos moderados a leve e nas áreas sem pastejo, devido ao maior aporte de resíduos no sistema pela pastagem e esterco.

Os animais em pastejo não afetam a dinâmica de liberação do potássio nos resíduos do esterco e da pastagem.

A liberação do potássio em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto consolidado (mais de dez anos) é alta, e a sua contribuição deve ser levada em consideração no momento da adubação.

A liberação de fósforo e de potássio dos resíduos de soja não sofre influência do manejo da pastagem, havendo, porém, liberação mais rápida das folhas do que dos caules.

## 8. CAPÍTULO VII. CICLAGEM DE CÁLCIO E DE MAGNÉSIO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-PECUÁRIA DE CORTE EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO

### 8.1 Resumo

Em sistemas de integração lavoura-pecuária, os resíduos de plantas e animais podem ser uma reserva importante de nutrientes. Assim, o manejo do pasto pode afetar a qualidade dos resíduos e influenciar a dinâmica de nutrientes no sistema, por alterar as taxas mineralização dos nutrientes. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes intensidades de pastejo nas taxas de decomposição e na liberação de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) dos resíduos de pastagem, esterco e soja em um sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto. O experimento foi iniciado em 2001, em um Latossolo Vermelho distroférico, após a colheita da soja. Os tratamentos constam de alturas de manejo do pasto (aveia-preta + azevém): 10, 20, 30 e 40 cm, com bovinos de corte, e de áreas sem pastejo (SP) como referência, seguido do cultivo de soja, em delineamento de blocos ao acaso com três repetições. A taxa de decomposição e a liberação do Ca e Mg foram determinadas por meio de alocação de sacos de decomposição (*litter bags*) no período 2009 a 2011 contendo resíduos da pastagem e esterco distribuídos na área experimental no dia da semeadura da soja e os resíduos de soja (folha e caule) distribuídos no dia da semeadura da pastagem. Os sacos de decomposição foram coletados ao longo dos ciclos para determinação de matéria seca remanescente e dos teores de Ca e Mg. Constatou-se uma maior taxa de liberação de Ca e Mg nas intensidades de pastejo moderadas (20 e 30 cm), nos resíduos da pastagem e esterco, apresentando uma meia vida média de Ca de 13 e 3 dias e Mg 16 e 6 dias para a pastagem e esterco, respectivamente. Nos resíduos da soja não houve diferença entre as intensidades de pastejo sobre a taxa de liberação de Ca e Mg, sendo que as folhas apresentaram uma maior taxa em relação aos caules. A liberação total de Ca e Mg dos resíduos de pastagem+esterco foram maiores nas áreas com pastejo leve e nas áreas sem pastejo. Nos resíduos de soja a liberação de Ca e Mg não foi afetada pelas diferentes intensidades de pastejo.

## 8.2 Introdução

O pastejo, quando corretamente realizado, melhora o sistema de produção agrícola e pecuária por favorecer a ciclagem e a reciclagem de nutrientes e o próprio funcionamento do solo, pela ação agregadora das raízes da pastagem, especialmente gramíneas (Haynes & Williams, 1993; Assmann et al., 2003; Tracy & Zhang, 2008; Tracy & Davis, 2009; Carvalho et al., 2010). Assim, a decomposição do pasto e da excreta e a consequente liberação de nutrientes nesses sistemas (integração lavoura-pecuária - ILP) irão determinar as quantidades de adubo a serem utilizadas, racionalizando o seu uso.

A taxa de mineralização dos resíduos em sistema ILP é determinada por modificações morfofisiológicas do pasto impostas pela ação do pastejo (Semmartin & Ghera, 2006), uma vez que alteram as relações colmo/folha e carbono/nitrogênio - C/N (Lang et al., 2004). Tais mudanças são controladas por diversos atributos intrínsecos dos resíduos, como as concentrações de nitrogênio (N), lignina e polifenóis, além das relações C/N, lignina/N e lignina + polifenóis/N (Trinsoutrot et al., 2000).

De modo geral, o processo de decomposição de resíduos de plantas é mais rápido na fase inicial de crescimento (Wieder & Lang, 1982), pois grande parte de sua composição é constituída de materiais de fácil decomposição, como açúcares e proteínas, ficando para o final, o material recalcitrante e de difícil decomposição, como celulose, gorduras, tanino e lignina. Durante a decomposição, a proporção relativa de material recalcitrante aumenta progressivamente, enquanto a decomposição absoluta decresce, ficando a decomposição relativa constante. Torna-se evidente, portanto, que o sistema de manejo dos animais interfere diretamente na velocidade do processo de decomposição dos resíduos e que sistemas de manejo conservacionistas como o sistema plantio direto (SPD) proporcionam liberação contínua e gradual de nutrientes com menores taxas de liberação de CO<sub>2</sub>. Isso tudo é muito desejável, pois o objetivo é aumento da produtividade do sistema de produção agropecuária pelo uso racional de recursos (insumos) e em compasso com a preservação ambiental.

Poucos são os trabalhos realizados, tanto no Brasil como em outros países, procurando caracterizar a decomposição de resíduos e a liberação de

cálcio (Ca) e de magnésio (Mg) e os poucos realizados no Brasil contemplam predominantemente esses nutrientes em plantas de cobertura (Torres et al., 2008; Bernardes et al., 2010; Heinz et al., 2011; Soratto et al., 2012). Desta forma, ainda são muito escassas as informações em trabalhos de campo relativas à dinâmica de decomposição e da liberação de Ca e Mg dos resíduos de pastejo com animais e lavoura no verão (ILP), visando o manejo do pasto e sua influencia na dinâmica da composição resíduos (esterco, palhada) e a velocidade de liberação desses nutrientes para o cultivo, em sucessão.

O objetivo deste estudo foi de determinar a influência de diferentes intensidades de pastejo na liberação de cálcio e de magnésio dos resíduos da pastagem, do esterco e da soja em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto de longa duração.

### **8.3 Material e Métodos**

A metodologia e os métodos utilizados na execução deste trabalho são comuns aos outros trabalhos sobre ciclagem de nutrientes previamente apresentados e discutidos, estão descritos no Capítulo IV.

### **8.4 Resultados e Discussão**

#### **8.4.1 Teores e quantidades de cálcio e de magnésio nos resíduos**

Não foram observadas diferenças ( $p > 0,05$ ) para os teores de Ca e Mg no tecido foliar dos resíduos da pastagem e da soja, bem como dos resíduos de esterco. Valores semelhantes de Ca e Mg em aveia-preta foram observados por Borkert et al., 2003, que foram, em média,  $7,8 \text{ g kg}^{-1}$  de Ca e  $2,3 \text{ g kg}^{-1}$  de Mg, com rendimento de  $7,5$  a  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  de MS. Os teores de Ca e Mg do esterco bovino estão dentro da faixa de concentração apresentada por Haynes & Willians, (1993) de  $1,2$  e  $2,5\%$  de Ca e  $0,3$  a  $0,8\%$  de Mg. Braz et al. (2002) observaram concentrações de Ca e Mg nas esterco de novilhas com peso médio inicial de  $300 \text{ kg PV}$  em torno de  $11,0$  e  $4,8 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente.

A quantidade de Ca e de Mg nos resíduos a decompor, é determinada pela quantidade de resíduos no final do ciclo (Tabela 5) e do seu teor em nutrientes, e este varia com o manejo do pasto e o tipo de resíduo (Tabela 11).

**Tabela 11** Teores e quantidades de cálcio e de magnésio nos resíduos (pasto+mantilho, esterco bovino e folha e caule+vagens de soja) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS)

Altura de manejo do pasto	Resíduo no sistema			
	Pasto	Esterco bovino	Caule soja	Folha soja
<i>cm</i>				
<b>Teor de Ca</b>	.....g kg <sup>-1</sup> .....			
10	4,06 a	5,23 a	8,64 a	30,85 a
20	5,26 a	5,35 a	8,99 a	31,24 a
30	5,02 a	6,31 a	8,30 a	29,56 a
40	5,30 a	6,16 a	9,14 a	29,71 a
SP	4,85 a	.....	9,90 a	29,16 a
<b>Teor de Mg</b>	.....g kg <sup>-1</sup> .....			
10	3,38 a	4,76 a	9,85 a	8,07 a
20	2,91 a	4,32 a	9,68 a	7,89 a
30	3,27 a	4,44 a	9,96 a	6,70 a
40	3,41 a	4,75 a	9,47 a	5,83 a
SP	3,17 a	.....	10,01a	6,13 a
<b>Quantidade de Ca</b>	.....kg ha <sup>-1</sup> .....			
10	4,21 d	6,36 a	24,53 a	70,58 a
20	13,23 c	4,32 b	24,87 a	71,69 a
30	20,01 b	3,85 c	25,75 a	72,16 a
40	29,70 a	2,86 d	23,28 a	73,74 a
SP	30,18 a	.....	26,67 a	78,36 a
<b>Quantidade de Mg</b>	..... kg ha <sup>-1</sup> .....			
10	3,61 d	5,81 a	27,93 a	18,31 a
20	7,14 c	3,50 b	26,78 a	18,13 a
30	13,25 b	2,69 c	30,88 a	16,49 a
40	19,04 a	2,17 d	24,15 a	14,38 a
SP	19,66 a	.....	26,83 a	16,31 a

SP: Sem pastejo. Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

A quantidades de Ca e Mg a ser liberada dos resíduos de pasto e esterco apresentaram diferença ( $p < 0,05$ ) entre as intensidades de pastejo, (Tabela 11). As quantidades de Ca e Mg dos resíduos do pasto, diminuiram com o aumento da intensidade de pastejo sendo maior na área SP que não difere da intensidade de manejo do pasto de 40 cm, seguida pelos manejos de 30, 20 e 10 cm. No esterco, ocorreu o inverso, isto é, houve aumento com a

intensidade de pastejo, pela maior produção de resíduos (Tabela 5). Porém, a diferença entre as intensidades de pastejo é menor e a maior quantidade de Ca e Mg é encontrada na altura de manejo do pasto de 10 cm, seguida pelas alturas de 20, 30 e 40 cm.

As quantidades de Ca e Mg (Tabela 11) dos resíduos da soja não foram influenciados pelas intensidades de pastejo ( $p > 0,05$ ). Contudo, a quantidade de Ca é 2,9 vezes maior nas folhas que nos caules, com uma quantidade média 73,3 e 25,0 kg ha<sup>-1</sup> de Ca para as folhas e caules, respectivamente. A quantidade de Mg a ser liberada é maior nos caules que nas folhas, tendo uma quantidade média para liberar de 16,7 e 27,3 kg ha<sup>-1</sup> de Mg para as folhas e caules, respectivamente.

#### **8.4.2 Ciclagem de cálcio**

A cinética de liberação do cálcio dos resíduos da pastagem e do esterco bovino foi similar nos dois anos de avaliação (Apêndice 5) e, por isto, foram utilizados os seus dados médios. A liberação de Ca dos resíduos da pastagem e do esterco bovino diferiu ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos (Tabela 12) e o modelo que mais se ajustou aos dados obtidos de ambos os resíduos foi o modelo exponencial duplo. Neste caso, os nutrientes dos dois compartimentos diminuem exponencialmente a taxas constantes ( $k_a$  e  $k_b$ ), sendo que a primeira fração (A) é transformada em taxas mais elevadas do que a segunda (100-A), que é de mais difícil decomposição (recalcitrante). Este modelo determina ainda a porcentagem do material presente no compartimento mais decomponível e no compartimento mais recalcitrante.

A porcentagem de Ca liberada na forma prontamente decomponível dos resíduos da pastagem e esterco bovino não apresentou diferença ( $p > 0,05$ ) entre as intensidades de pastejo, somente entre resíduos, apresentando uma porcentagem média de 39,4% e 20,5% para os resíduos do pasto e do esterco, respectivamente.

Na liberação de Ca dos resíduos de pastagem (Tabela 12), as intensidades de pastejo moderadas (20 e 30 cm) apresentaram a menor tempo de meia vida da fração mais prontamente decomponível de, em média, 13 dias, e da fração mais recalcitrante, de 138 e 156 dias, respectivamente. Bortolli

(2010) observou uma velocidade de liberação de Ca em trigo de duplo propósito pastejado por 42 a 63 dias, iguais à observada neste estudo, com uma meia vida de 13 e 16 dias, respectivamente. Essa similaridade pode ser explicada possivelmente por ser tratar de um sistema com algumas características semelhantes ao nosso, como longo histórico SPD e solo e clima. Quanto aos demais tratamentos, a liberação foi maior nas intensidades de pastejo leve (40 cm), seguida área não pastejada (SP), que não diferiu do pastejo intenso (10 cm) (Tabela 12). Essa diferença na cinética de liberação de Ca está relacionada principalmente ao teor de lignina dos materiais (Tabela 5 – Capítulo IV), pois, segundo vários autores (Semmartin et al., 2004; Parsons et al., 2008), a lignina exerce um grande controle sobre as taxas de decomposição dos resíduos tanto vegetais como de animais. Valores de meia vida do Ca de 28 dias em aveia-preta, como planta de cobertura, foram verificados por Torres et al. (2008), na média de dois anos de avaliação.

Os resíduos de esterco também apresentaram maior liberação de Ca nas intensidades moderadas (Tabela 12), do resíduo proveniente da porção mais prontamente decomponível de, que foi em média, somente de 3 (três) dias, e da porção mais recalcitrante, uma meia vida média de 106 dias, liberando 20% do Ca. Já os tratamentos pastejados intensamente (10 cm) e com pastejo leve (40 cm), a meia vida média foi de 9 dias do material mais prontamente decomponível e de 159 dias, do material recalcitrante, representando um tempo 67% maior para decompôr a mesma quantidade de Ca.

Essa menor meia vida encontrada nos pastejos moderados deve-se ao menor teor de lignina encontrada, que foi de 18,2% (Tabela 5), compatível com o material de melhor qualidade consumido pelos animais em pastejos moderados, conforme apresentado no Capítulo IV. Aguinaga et al. (2006) reportaram maior digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO) do resíduo do pasto (aveia preta+azevém) em pastejo moderado. Pitta et al. (2012), estudando a liberação de Ca em cama de aviário, obtiveram 31,97% no compartimento lábil e uma meia vida de 13 dias, sendo o restante do Ca, presente no compartimento mais recalcitrante, que foi liberado lentamente, com tempo de meia vida de 300 dias, ambos superiores ao observado neste trabalho com esterco de bovino, possivelmente pela cama de aviário conter

maravalha na sua composição, com alto teor de lignina.

Não foram observadas diferenças ( $p > 0,05$ ) entre as intensidades de pastejo na taxa de liberação de Ca dos resíduos de folha e de caule de soja, cultivada na sequência, nos dois anos de avaliação (Apêndice 5). O modelo exponencial mais ajustado para os caules foi o simples e o exponencial duplo para as folhas de soja (Tabela 12). Essa diferença deve-se ao fato de que as folhas dessa leguminosa, apresentam um material com menor teor de lignina, menor relação C/N e maior quantidade de N, promovendo maior atividade microbiana e consumindo, ao mesmo tempo, ambos os materiais, de fácil decomposição e os mais recalcitrantes.

Entretanto, nos resíduos culturais da soja, houve diferenças ( $p < 0,05$ ) na velocidade de liberação de Ca entre folhas e caules: com o resíduo das folhas senescentes liberando mais rapidamente esse nutriente em relação aos caules (Tabela 12). O parâmetro determinante no processo é o menor tempo de meia vida (22 dias) das folhas de soja, uma vez que a fração do compartimento mais facilmente decomponível é de 47%, enquanto nos resíduos de caule a fração mais decomponível, mesmo sendo maior (59%), apresenta uma meia vida também maior (59 dias). Além disto, nas folhas de soja, como mencionado anteriormente, decompõem-se simultaneamente ambos os compartimentos, o que leva a uma liberação de 60% do Ca em 119 dias (tempo médio de utilização da pastagem), contra apenas 45% para os caules da soja nesse período. Tais diferenças, mais uma vez, podem ser atribuídas aos respectivos teores de lignina, sendo 11% nos caules e 8% nas folhas (Tabela 5, Capítulo IV). Palm & Sanchez (1991) enfatizam que o teor desse componente nos tecidos das plantas é fator determinante do processo de decomposição dos resíduos vegetais e a liberação dos nutrientes.

Dentre os poucos trabalhos que abordam dinâmica de liberação cálcio, cita-se o de Padovan et al. (2006), que encontraram uma meia vida de 34 dias em plantas de soja colhidas aos 115 dias, um tempo semelhante ao observado neste trabalho de, em média 40 dias, com as folhas e caules decompondo juntamente.



**Tabela 12** Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados aos valores medidos da taxa de liberação do cálcio da biomassa dos resíduos e a constantes de decomposição ( $ka$  e  $kb$ ) tempo de meia vida ( $t^{1/2}$ ) e valores de  $R^2$  em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS)

Altura de manejo do pasto	Comp. A	Ka	Kb	$T^{1/2}$		$R^2$
				A	(100-A)	
cm	%	.....Dias <sup>-1</sup> .....	.....Dias.....			
<b>Pastagem<sup>(1)</sup></b>						
10	44 a	0,032041 b	0,002571 cd	22	270	0,99
20	41 a	0,053423 a	0,005029 a	13	138	0,99
30	37 a	0,055349 a	0,004292 b	13	161	0,99
40	39 a	0,038843 b	0,002607 c	18	266	0,99
SP	36 a	0,033914 b	0,002123 d	20	326	0,99
<b>Esterco bovino</b>						
10	22 a	0,076752 b	0,004448 b	9	156	0,99
20	20 a	0,223084 a	0,006649 a	3	104	0,99
30	20 a	0,247317 a	0,006412 a	3	108	0,99
40	20 a	0,074182 b	0,004290 b	9	162	0,99
<b>Caule soja</b>						
10	58 a	0,011825 a	.....	59	.....	0,99
20	59 a	0,011911 a	.....	58	.....	0,99
30	59 a	0,011386 a	.....	61	.....	0,99
40	61 a	0,011507 a	.....	60	.....	0,99
SP	58 a	0,011773 a	.....	59	.....	0,99
<b>Folha soja</b>						
10	49 a	0,030258 a	0,001799 a	23	385	0,99
20	46 a	0,031206 a	0,001778 a	22	390	0,99
30	46 a	0,031682 a	0,001761 a	22	394	0,99
40	46 a	0,031171 a	0,001684 a	22	411	0,99
SP	47 a	0,031316 a	0,001707 a	22	406	0,99

<sup>(1)</sup> Aveia preta + azevém. SP: Sem pastejo. Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A partir dos modelos ajustados foram estimadas as quantidades de Ca (Figura 12) liberadas ao longo do tempo de decomposição dos resíduos do pasto, do esterco e das folhas e caules de soja e a quantidade total liberada dos resíduos, na média dos dois ciclos pastejo-soja.

A liberação de Ca dos resíduos no ciclo pastejo apresentou diferença

entre as intensidades de pastejo ( $p < 0,05$ ) e, por não diferirem ( $p > 0,05$ ) entre dois anos de avaliação (Apêndice 5), são apresentados os dados médios (Figura 12). A liberação desse nutriente no pasto aumentou com a quantidade de MS remanescente dos resíduos após o ciclo do pastejo (Figura 12). A liberação foi maior, ao longo do tempo e no final da avaliação nos tratamentos no SP e pastejo a 40 cm de altura de manejo do pasto, que não diferiram entre si, seguidos pelo pastejo a 10, 20 e 30 cm, cujo acúmulo aos 253 dias foi de 3,0; 11,2; 16,2; 20,4 e 19,0 kg ha<sup>-1</sup> para as alturas de manejo do pasto de 10, 20, 30 e 40 cm e área SP, respectivamente. Borkert et al. (2003) verificaram que a aveia-preta, com rendimento de 7,5 a 10 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca ciclou, em média, 68 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, uma quantidade superior às observadas neste trabalho, pois aos 253 dias somente 62% do Ca tinha sido liberado

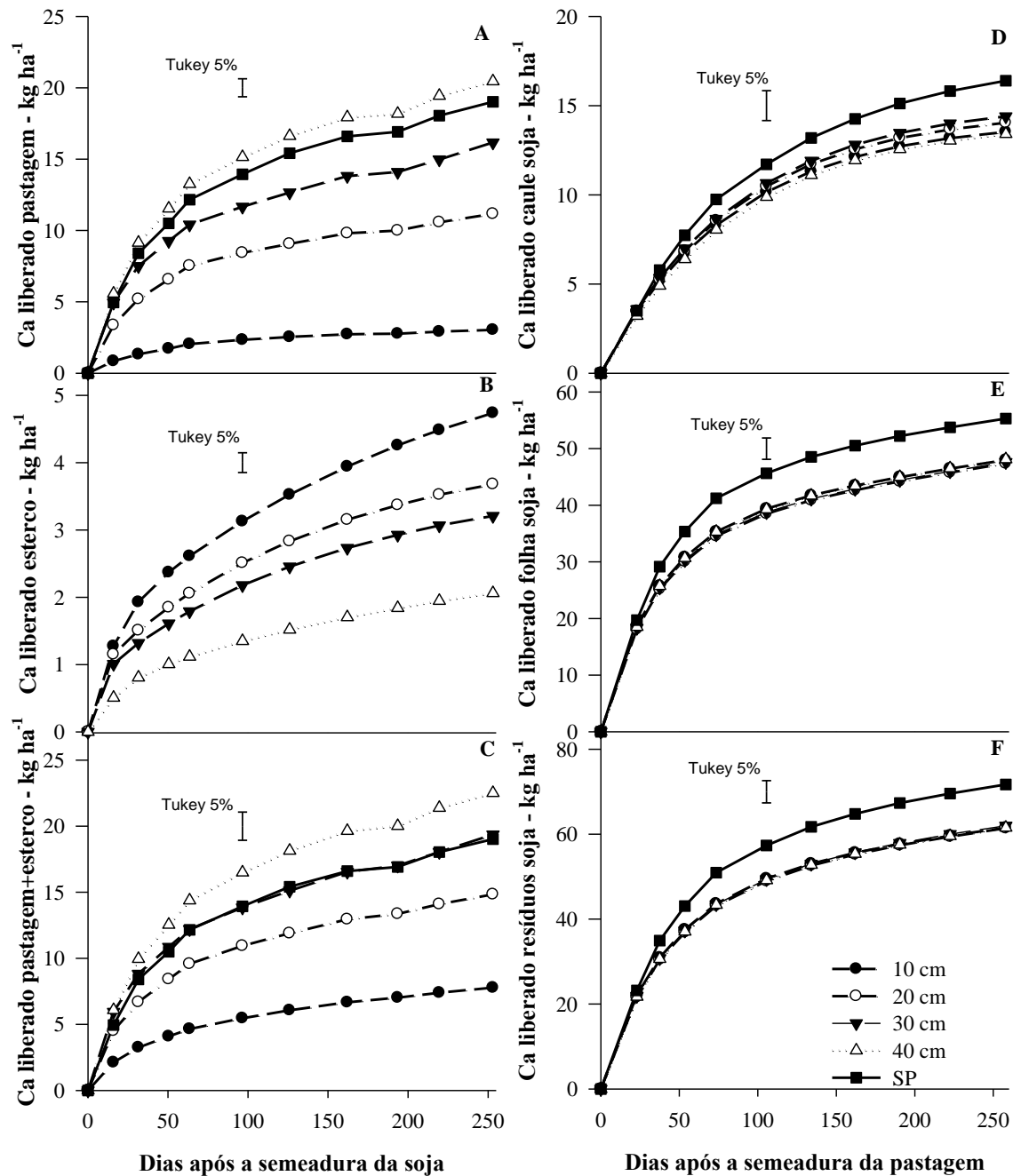
O Ca liberado dos resíduos de esterco bovino ao longo do tempo, foi de forma inversa do observado para a pastagem (Figura 12 B). A maior liberação foi verificada no pastejo mais intenso, pela maior quantidade de resíduos do esterco, seguido pelas intensidades de 20, 30 e 40 cm, liberando, ao final de 253 dias de avaliação, somente 4,7; 3,7; 3,2 e 2,0 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para esses tratamentos. Esse comportamento deve-se pelos tratamentos impostos que modificam a dinâmica dos nutrientes, pois segundo Soussana & Lemaire (2012), os herbívoros alteram os ciclos dos nutrientes e, quanto maior a quantidade de animais em pastejo, mais alterações são impostas, pois, segundo Haynes & Williams (1993), a principal via de excreção de Ca dos animais é pelo esterco, sendo seu conteúdo em torno de 1,2 a 2,5%.

A liberação acumulada de Ca da pastagem+esterco ao longo do pastejo (Figura 12 C), mesmo que a sua contribuição (pastagem e esterco) ocorra de forma oposta (Figura 12 A e B), é determinada predominantemente pelos resíduos do pasto, em função da sua maior magnitude. A maior liberação ocorre no pastejo leve (40 cm), liberação intermediária ocorre no de SP e pastejo a 30 cm, seguidos pelo pastejo de 20 cm, e a mais baixa liberação, pelo pastejo de 10 cm. Isto leva a uma menor quantidade Ca acumulada nesse tratamento, visto que não há diferença ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos de manejo do pasto na liberação de Ca dos resíduos de soja (Figura 12 D,E,F).

A quantidade total liberada a partir do final do pastejo (Figura 12 C) variou de 22,5 kg ha<sup>-1</sup> no pastejo a 40 cm a 7,8 kg ha<sup>-1</sup> no pastejo a 10 cm.

Essas quantidades, mesmo que diferenciadas entre as alturas de manejo do pasto, são essenciais para manter Ca no sistema, visto que em sistemas de integração lavoura-pecuária, as raízes das plantas de cobertura, como aveia promovem uma reutilização de nutrientes lixiviados através da sua absorção em camadas mais profundas, assim como, de outro modo, possibilitam a percolação de nutrientes da camada superficial para camadas inferiores do perfil do solo, pelos canais formados pelas raízes quando decompostas. Segundo Nolla & Anghinoni (2003), a manutenção do solo constantemente coberto provoca aumento na concentração de nutrientes na camada superficial do solo, especialmente de P e Ca.

A liberação de Ca dos resíduos de soja não foi influenciada ( $p > 0,05$ ) pelas intensidades de pastejo (Figura 12 D,E,F) nem pelos anos de avaliação (Apêndice 5). O retorno do Ca liberado dos resíduos de soja para a pastagem é relevante, pois a quantidade ciclada é alta (acima  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e o mesmo, permanecendo no sistema, restringe a sua perda por lixiviação. Desta forma, pode-se observar que aos 119 dias (data média de dias de pastejo), a quantidade de Ca liberada, dos resíduos de soja é maior pelas folhas, as quais liberam mais Ca ( $40 \text{ kg ha}^{-1}$ ), que nos caules ( $11 \text{ kg ha}^{-1}$ ), resultando em um total de, em média  $51 \text{ kg ha}^{-1}$ , desse nutriente no período de 119 dias.



**Figura 12** Liberação de cálcio (Ca) do pasto (A), do esterco (B), do acumulado do pasto+esterco (C), dos caules de soja (D), das folhas de soja (E) e acumulado dos resíduos de soja (F) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS)

### 8.4.3 Ciclagem de magnésio

A taxa de liberação de Mg nos resíduos da pastagem e do esterco não apresentou diferença entre os anos de avaliação (Apêndice 6), mas apresentou ( $p < 0,05$ ) entre intensidades de pastejo (Tabela 13).

As maiores taxas de liberação de magnésio dos resíduos da pastagem foram nos tratamentos com intensidade de pastejo moderados (20 e 30 cm), assim como foi verificado para Ca (Tabela 12), apresentaram uma meia vida de 16 dias para o compartimento prontamente decomponível (36%) e de 243 e 257 dias para o material recalcitrante (64%) para essas intensidades de pastejo, respectivamente. As demais intensidades de pastejo (40 e 10 cm de altura de pastejo e área SP) apresentaram uma meia vida do compartimento mais prontamente decomponível de 23 e 30 dias respectivamente, sendo que a intensidade de pastejo 10 cm não diferiu da área SP.

A menor quantidade de Mg liberada foi na maior intensidade de pastejo, com apenas 54% do Mg, inferior aos das intensidades de pastejo moderado, que foram de 68% aos 253 dias após a alocação dos sacos de decomposição no campo. Torres et al., (2008) encontraram valores semelhantes de meia vida do Mg para aveia-preta como planta de cobertura que, na meia média de dois anos de avaliação, foi de 14 dias.

As taxas de liberação de Mg do esterco (Tabela 13) foram maiores nos tratamentos com intensidade de pastejo moderado, seguindo o mesmo comportamento dos resíduos da pastagem e a mesma lógica do Ca (Tabela 12), apresentando uma meia vida de somente 6 (seis) dias para material do compartimento prontamente decomponível (22%) e de, em média de 192 dias, para o material recalcitrante (78%). Já as demais intensidades de pastejo foram semelhantes quanto à meia vida do compartimento mais prontamente decomponível, 11 e 12 dias, para as intensidades de pastejo 10 e 40 cm, respectivamente. Porém, vale salientar que a quantidade de Mg no compartimento mais prontamente decomponível é menor que a dos resíduos da pastagem. Isso se deve ao fato de que o material já ter passado por um estágio de degradação no rumem, onde a parte lábil é mais absorvida pelo animal e a parte mais lignificada é liberada via esterco.

**Tabela 13** Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados aos valores medidos da taxa de liberação de magnésio da biomassa da dos resíduos e as constantes de decomposição ( $ka$  e  $kb$ ) tempo de meia vida ( $t^{1/2}$ ) e valores de  $R^2$ , em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS)

Altura de manejo do pasto	Comp. A	Ka	Kb	$T^{1/2}$		$R^2$
				A	(100-A)	
cm	%	.....Dias <sup>-1</sup> .....			.....Dias.....	
<b>Pastagem<sup>(1)</sup></b>						
10	36 a	0,022870 c	0,001554 C	30	446	0,99
20	36 a	0,044189 a	0,002857 a	16	243	0,99
30	36 a	0,043756 a	0,002701 a	16	257	0,99
40	34 a	0,029502 b	0,002218 b	23	312	0,99
SP	36 a	0,022979 c	0,001806 C	30	384	0,99
<b>Esterco bovino</b>						
10	23 a	0,061479 b	0,002926 b	11	237	0,99
20	22 a	0,123670 a	0,003642 a	6	190	0,99
30	22 a	0,112878 a	0,003560 a	6	195	0,99
40	23 a	0,060049 b	0,002908 b	12	238	0,99
<b>Caule soja</b>						
10	61 a	0,010739 a	.....	65	.....	0,99
20	60 a	0,010734 a	.....	65	.....	0,99
30	61 a	0,010644 a	.....	65	.....	0,99
40	60 a	0,010677 a	.....	65	.....	0,99
SP	60 a	0,010669 a	.....	65	.....	0,99
<b>Folha soja</b>						
10	58 a	0,027411 a	0,001397 a	25	496	0,99
20	58 a	0,027002 a	0,001436 a	26	483	0,99
30	57 a	0,025959 a	0,001438 a	27	482	0,99
40	58 a	0,027370 a	0,001412 a	25	491	0,99
SP	59 a	0,025342 a	0,001402 a	27	494	0,99

<sup>(1)</sup> Aveia preta + azevém. SP: Sem pastejo. Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

A exemplo de Ca, a taxa de liberação de Mg dos resíduos vegetais da soja (folha e caule) não foi influenciada pela intensidade de pastejo (Tabela 13). A taxa de liberação de Mg dos resíduos da soja seguiu modelo exponencial simples para os caules e exponencial duplo para as folhas. Os resíduos de folhas de soja tem uma grande parte do material no compartimento

mais facilmente decomponível (58%) com uma meia vida média de 26 dias, enquanto nos resíduos de caule, a fração mais decomponível é similar (60%), porém com uma meia vida maior, de 65 dias. Isso leva a uma liberação, ao final de 119 dias (tempo médio de utilização da pastagem), de 62% de Mg das folhas e apenas 43% de caules da soja. Tais diferenças, mais uma vez, podem ser atribuídas aos respectivos teores de lignina, superiores nos resíduos do caule (Tabela 5, Capítulo IV).

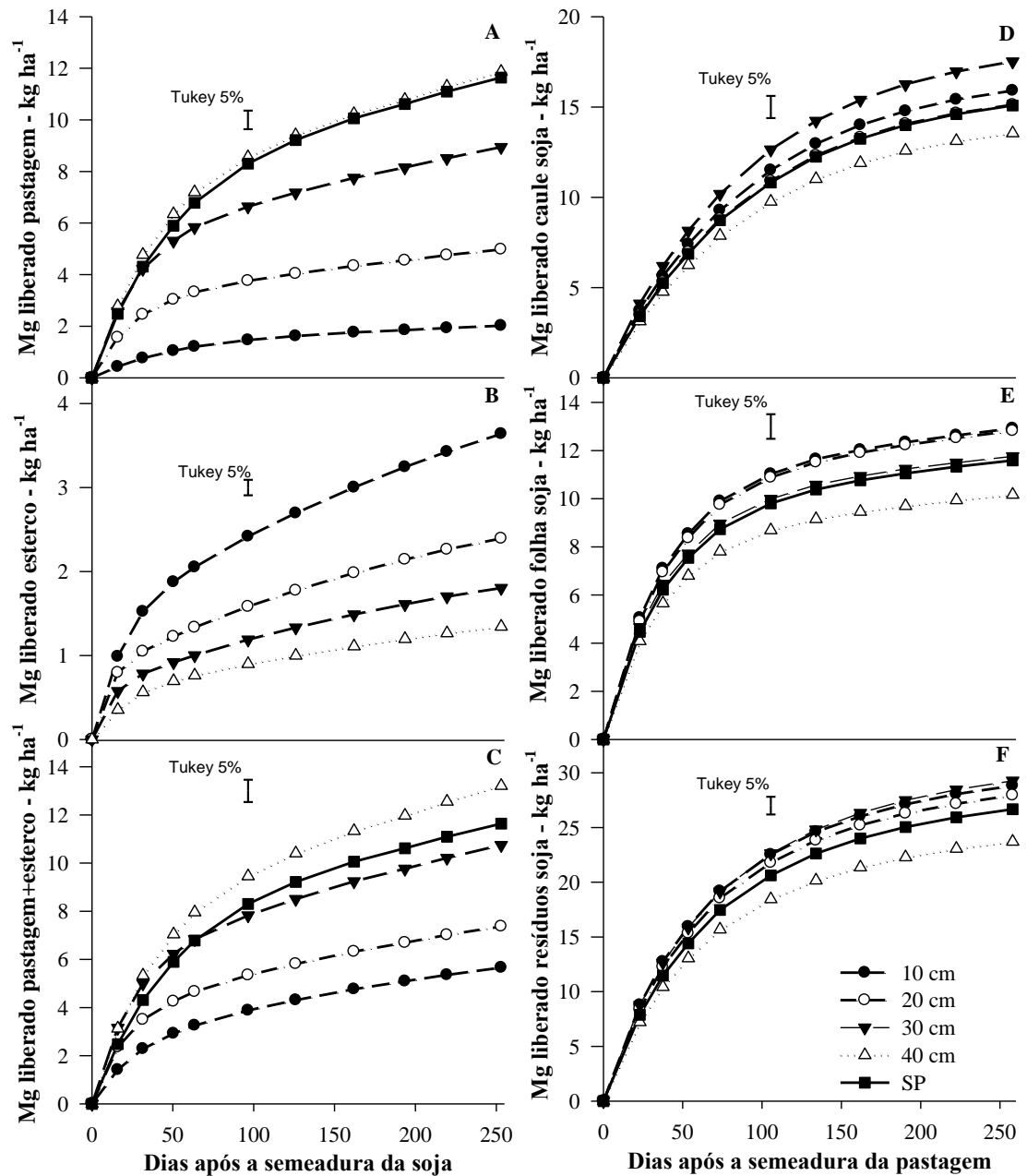
Como mencionado anteriormente, poucos são os trabalhos que avaliam a liberação de nutrientes em sistemas integrados que são, para Ca e Mg, ainda mais escassos. Destaca-se, assim, o trabalho de Padovan et al. (2006), que verificaram uma meia vida de 20 dias para esses resíduos, semelhantemente ao observado neste trabalho.

A partir dos valores de matéria seca residual da pastagem e do seu teor de Mg, obteve-se a quantidade de Mg que retorna ao sistema (Figura 13). As liberações desse nutriente dos resíduos da pastagem, esterco e acumulado dessas formas apresentaram diferença entre as intensidades de pastejo ( $p < 0,05$ ), porém não diferindo entre os dois anos de avaliação (Apêndice 6).

A liberação de Mg dos resíduos da pastagem (Figura 13 A) e do esterco (Figura 13 B), a exemplo do Ca (Figura 12), está diretamente relacionada com a quantidade original desses nutrientes nos resíduos (Tabela 11).

A liberação do Mg dos resíduos da pastagem foi maior no SP, que é igual ao pastejo de 40 cm seguido, em ordem decrescente, pelos tratamentos 30 cm, 20 cm e 10 cm, com liberação, aos 253 dias de deposição dos resíduos, de 2; 5; 9; 12 e 12 kg ha<sup>-1</sup>, para as alturas de pastejo 10, 20, 30, 40 cm e SP, respectivamente. Borkert et al., (2003) verificaram uma maior quantidade de Mg liberado da aveia-preta, de 20 kg ha<sup>-1</sup>, devido ao fato de ainda faltar cerca de 42% do Mg a ser liberado dos resíduos da pastagem.

No esterco, a exemplo do Ca, a liberação de Mg (Figura 13 B) foi maior no pastejo mais intenso (10 cm), seguido pelos pastejos moderados (20 e 30 cm) e leve (40 cm), com liberação aos 253 dias, de 3,6; 2,4; 1,8 e 1,3 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Essa maior liberação nas menores alturas de pastejo deve-se ao fato de estarem com uma maior carga animal e, conseqüentemente, maior produção de esterco e urina.



**Figura 13** Liberação de magnésio (Mg) da pastagem (A), do esterco (B) acumulado no pastagem+esterco (C), nos caules de soja (D), nas folhas de soja (E) e acumulado dos resíduos de soja (F) em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo (São Miguel das Missões - RS)

O retorno do Mg dos resíduos, considerando-se a liberação acumulada de pastagem+esterco apresentou diferença ( $p < 0,05$ ) entre intensidades de



pastejo (Figura 13 C). As quantidades liberadas, na decomposição da pastagem (Figura 13 A), juntamente com a do esterco (Figura 13 B) ao longo do tempo, foram baixas, mas importantes para o sistema, por estarem em processo de ciclagem e, desta forma, tendo menor quantidade perdida para o ambiente. A liberação seguiu a ordem: pastejo leve (40 cm), com 13,2 kg ha<sup>-1</sup>; SP, com 11,6 kg ha<sup>-1</sup>; pastejos moderados: 30 cm, com 10,7 kg ha<sup>-1</sup> e 20 cm, com 7,4 kg ha<sup>-1</sup> e pastejo intenso (10 cm) com 5,7 kg ha<sup>-1</sup>. Contudo, vale ressaltar que o retorno de Mg nos sistemas pastejados ocorre predominantemente via esterco (88%) e menor (22%) via urina, que está em forma prontamente disponível para as culturas (Haynes & Williams, 1993). Considerando esse valor (22%), a ciclagem desse nutriente é maior na intensidade de pastejo leve (13,5 kg ha<sup>-1</sup>), seguida de SP (11,60 kg ha<sup>-1</sup>) que é igual de 30 cm (11,4 kg ha<sup>-1</sup>), seguida pela altura 20 cm (7,9 kg ha<sup>-1</sup>) e 10 cm (6,5 kg ha<sup>-1</sup>).

O retorno de Mg dos resíduos de soja não foi influenciado ( $p>0,05$ ) pelas intensidades de pastejo nem pelos anos de avaliação (Figura 13 D,E,F). O Mg ciclado desses resíduos para a pastagem tem a sua importância, pois, enquanto cicla no sistema não é perdido, mesmo sendo baixa a quantidade liberada. Desta forma, pode-se observar que aos 253 dias, a quantidade de Mg liberado dos resíduos de soja, diferentemente do Ca, é semelhante entre as folhas, de 15 kg ha<sup>-1</sup>, e os caules, de 12 kg ha<sup>-1</sup>, resultando em um total de 27 kg ha<sup>-1</sup>, que são liberados de forma lenta e contínua para o sistema.

A literatura que trata da ciclagem de Ca e Mg é muito escassa, ainda mais se tratando de um sistema ILP. Por isto, a sua validade como subsídio às recomendações de adubação, especialmente quando se trata de sistemas consolidados, como do presente trabalho.

## 8.5 Conclusões

Em sistemas de integração lavoura-pecuária manejados com intensidades de pastejo moderadas, aceleram a taxa de liberação do cálcio e magnésio.

A ciclagem de cálcio e magnésio em sistema de integração lavoura-pecuária é maior nas áreas com pastejos leve e nas áreas sem pastejo, devido

ao maior aporte de resíduos no sistema pela pastagem e esterco.

A liberação desses nutrientes dos resíduos de soja não é influenciada pelo manejo da pastagem, havendo liberação mais rápida nas folhas do que nos caules de soja.

A liberação desses nutrientes é maior da soja para a pastagem do que dos resíduos do pasto+esterco para a soja.

## 9. CONCLUSÕES

Sistemas de integração lavoura-pecuária em plantio direto devem ser utilizados em intensidades moderadas de pastejo, visto que, nessas intensidades os ganhos na qualidade do solo são iguais ou superiores ao plantio direto sem a inserção dos animais.

Intensidades moderadas de pastejo promovem aumentos nos estoques de carbono e de nitrogênio do solo e nas suas frações lábeis, o que não ocorre em pastejo intenso. O carbono e o nitrogênio da fração particulada e o Índice de Manejo de Carbono indicam que o aumento das intensidades de pastejo diminui a qualidade do solo em relação à qualidade original (mata).

Intensidades de pastejo moderadas resultam em maior decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos do pasto e do esterco, devido a modificações na qualidade dos resíduos (menores teores de lignina).

Manejos diferenciados dos animais na pastagem no outono-inverno não influenciam a liberação dos nutrientes da cultura seguinte, no caso a soja, cujas folhas se decompõem mais rapidamente do que os caules.

A ciclagem de nutrientes no ciclo pastejo-lavoura é maior em intensidades de pastejo moderadas a leves e área sem pastejo, como resultado da maior quantidade de resíduo do ciclo de pastejo. Assim, na integração soja-pecuária de corte, uma grande quantidade de nutrientes é ciclada e, por sua magnitude, deve ser considerada nas recomendações de adubação para esses sistemas, especialmente quando em plantio direto consolidado.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA-MARTINEZ, V.; ZOBECK, T. M.; ALLEN, V. Soil microbial, chemical and physical properties in continuous cotton and integrated crop-livestock systems. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 68, n. 6, p. 1875–1884, 2004.
- ADAMI, P. F. **Intensidades de pastejo e níveis de cama de aviário em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2012. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia área de Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- ADAMI, P. F. **Produção, qualidade e decomposição de papuã sob intensidades de pastejo e níveis de nitrogênio**. 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2009.
- AGUINAGA, A. A. Q. et al. Produção de novilhos superprecoces em pastagem de aveia e azevém submetida a diferentes alturas de manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 1765-1773, 2006.
- AITA, C. et al. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 157-1165, 2001.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteira e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.601-612, 2003.
- ALLEN, V. G. et al. Integrated irrigated crop–livestock systems in dry climates. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 2, p. 346–360, 2007.
- 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, n. 1, p. 189-197, 2001.
- ANGHINONI, I. et al. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. In: DA FONSECA, A. F.; CAIRES, E. F.; BARTH, G. (Ed.) **Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto**. Ponta Grossa : AEACG/Inpag, 2011a. p. 1-31.
- ANGHINONI, I. et al. Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. **Synergismus Scientifica**, Pato Branco, v. 6, n. 2, p. 1-8, 2011b.
- ASHMAN, M. R.; HALLETT, P. D.; BROOKES, P. C. Are the links between soil aggregate size class, soil organic matter and respiration rate artefacts of the fractionation procedure? **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 35, n. 3, p. 435-444, 2003.

- ASSMANN, A. L. et al. Produção de gado de corte e acúmulo de matéria seca em sistema de integração lavoura-pecuária em presença e ausência de trevo-branco e nitrogênio. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 37-44, 2004.
- ASSMANN, J. M. et al. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, 2013. No prelo.
- ASSMANN, T. S. et al. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 675-683, 2003.
- AUSTIN, A. T.; VIVANCO, L. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation. **Nature**, Ithaca, v. 442, p. 555-558, 2006.
- BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1925-1933, 2009.
- BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 31, n. 7, p. 697-710, 2000.
- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 3, p. 215-230, 2000.
- BARDGETT, R. D. et al. Soil microbial community patterns related to the history and intensity of grazing in submontane ecosystems. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 33, p. 1653–1664, 2001.
- BARDGETT, R. D.; WARDLE, D. A. Herbivore-mediated linkages between aboveground and belowground communities. **Ecology**, Washington, v. 84, n. 9, p. 2258-2268, 2003.
- BARDGETT, R. D.; WARDLE, D. A.; YEATES, G. W. Linking aboveground and below-ground interactions: how plant responses to foliar herbivory influence soil organisms. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 30, n. 14, p. 1867–1878, 1998.
- BARTHAM, G. T. Sward structure and the depth of the grazed horizon. **Grass and Forage Science**, Malden, v. 36, n. 2, p. 130-131, 1981.
- BATLLE-BAYER, L.; BATJES, N. H.; BINDRABAN, P. S.; Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: a review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 137, p. 47-58, 2010.
- BAYER, C. et al. A method for estimating coefficients of soil organic matter

- dynamics based on long-term experiments. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, p. 217-236, 2006b.
- 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, n. 7, p. 677-683, 2004.
- BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, p. 237-245, 2006a.
- BAYER, C. et al. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping system. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 5, p. 1473-1478, 2001.
- BAYER, C. et al. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 2, p. 95-104, 2000b.
- BAYER, C. et al. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, p. 55-117, 2011.
- BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, p. 101-109, 2000a.
- 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. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 09-26.
- BERG B.; MCCLAUGHERTY C. **Plant litter. Decomposition. Humus formation. Carbon sequestration**. Berlin: Springer Verlag Heidelberg, 2003. 296 p.
- BERNARDES T. G. et al. Decomposição da biomassa e liberação de nutrientes dos capins braquiária e mombaça, em condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 370-377, 2010.
- 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, n. 1, p. 129-136, 2001.
- 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 Agricultural Research**, Melbourne, v. 46, p. 1459-1466, 1995.

- BLAIR, N.; CROCKER, G. J. Crop rotation effects on soil carbon and physical fertility of two Australian soils. **Australian Journal Agricultural Research**, Melbourne, v. 38, p. 71-84, 2000.
- BODDEY, R. M. et al. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 389-403, 2004.
- BOLINDER, M. A. et al. Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea mays* L.). **Plant and Soil**, Haia, v. 215, n. 1, p. 85-91, 1999.
- BORKERT, C. M. et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea das culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 143-153, 2003.
- BORTOLLI, M. A. de. **Influência de períodos de pastejo em trigo duplo propósito sobre a decomposição e liberação de nutrientes da palhada em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2010.
- BRAZ, S. P. et al. Aspectos quantitativos do processo de reciclagem de nutrientes pelas fezes de bovinos sob pastejo em pastagem de *Brachiaria decumbens* na zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 858-865, 2002.
- BROOKES, D. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, n. 2, p. 269-279, 1995.
- BRUNETTO, G. et al. Nutrients release during the decomposition of mowed perennial ryegrass and white clover and its contribution to nitrogen nutrition of grapevine. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 90, n.3, p.299-308, 2011.
- BULDEMAN, A. The decomposition of the leaf mulches of *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* and *Flemingia macrophylla* under humid tropical conditions. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 7, n. 1, p. 33-45, 1988.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T., Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, 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**, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 121-126, 1995.
- CAMPOS, B. C. et al. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 386-391, 1999.

- CANTARUTTI, R. B.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; COSTA, O. V. Impacto do animal sobre o solo: compactação e reciclagem de nutrientes. In: PRODUÇÃO animal na visão dos brasileiros. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", 2001. p. 826-837.
- CARVALHO, J. L. N. **Dinâmica do carbono e fluxo de gases do efeito estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia e no Cerrado**, 2010. 143 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência - Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Piracicaba, 2010.
- CARVALHO, J. L. N. et al. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil and Tillage Research**, Philadelphia, v. 103, n. 2, p. 342-349, 2009a.
- CARVALHO, J. L. N. et al. Conversion of cerrado into agricultural land in the south-western amazon: carbon stocks and soil fertility. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 2, p. 233-241, 2009b.
- CARVALHO, P. C. de F. et al. Manejo da integração lavoura-pecuária em sistema de plantio direto na região de clima subtropical. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 10., 2006, Uberaba. [Anais...] [S.l.]: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2006. p. 77-184.
- CARVALHO, P. C. de F. et al. Manejo de animais em pastejo em sistemas de integração lavoura-pecuária. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTERNATIONAL CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 2007, Curitiba. **Proceedings...** Curitiba, 2007. 1 CD-ROM.
- CARVALHO, P. C. de F. et al. **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. 62 p.
- CARVALHO, P. C. de F. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 88, n. 2, p. 259-273, 2010.
- 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 em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- CASTRO FILHO, C. et al. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, v. 1, p. 45-51, 2002.
- CHAGAS, E. et al. Decomposição e liberação de nitrogênio, fósforo e potássio de resíduos da cultura do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 723-729, 2007.
- 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, n. 1, p. 1-90, 1992.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

CONAB. **Levantamento de avaliação da safra 2012/13**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 15 maio 2013.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio em estudos de proteção física da matéria orgânica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 541-549, 2008.

CONCEIÇÃO, P. C. 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, n. 5, p. 777-788, 2005.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R., Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo e a sua relação com o estado de compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 222-228, 2007.

CORNELISSEN, J. H. C. An experimental comparison of leaf decomposition rates in a wide range of temperate plant species and types. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 84, n. 4, p. 573-582, 1996.

CORNELISSEN, J. H. C.; THOMPSON, K. Functional leaf attributes predict litter decomposition rate in herbaceous plants. **New Phytologist**, London, v. 135, n. 1, p. 109-114, 1997.

CUI, X. Y. et al. Effect of long-term grazing on soil organic carbon content in semiarid steppes in Inner Mongolia. **Ecological Research**, Sakura-Mura, v. 20, n. 5, p. 519-527, 2005.

D'ANDRÉA, A. F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

DENG, Y.; DIXON, J. B. Soil organic matter and organic - mineral interactions, In: DIXON, J. B.; SCHULZE, D. G. (Ed.). **Soil mineralogy with environmental Applications**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 69-107.

DÍAZ-ZORITA, M.; DUARTE, G. A.; GROVE, J. H. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid pampas of Argentina. **Soil and Tillage Research**, Philadelphia, v. 65, n. 1, p. 1-18, 2002.

DIECKOW, J. et al. Land use, tillage, texture and organic matter stock and

- composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 60, n. 2, p. 240-249, 2009.
- DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks en physical fractions of a subtropical acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, n. 1-2, p. 319-328, 2005a.
- DIEKOW, J. 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**, Philadelphia, v. 81, n. 1, p. 87-95, 2005b
- DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. et al. Litter decomposition and mineralization in bahiagrass pastures managed at different intensities. **Crop Science**, Madison, v.46, n. 3, p.1305-1310, 2006.
- DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. et al. Nutrient cycling in warm-climate grasslands. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 3, p. 915-928. 2007.
- DUBEUX JÚNIOR. J. C. B.; SANTOS, H. K.; SOLLENBERGER, L. E. Ciclagem nutrientes: perspectivas de aumento da sustentabilidade da pastagem manejada intensivamente. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C. de; FARIA, V. P. de. (Ed.). **Fertilidade dos solos para pastagens produtivas - simpósio sobre manejo da pastagem**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", 2004. p. 357- 400.
- DUTTA, R. K.; AGRAWAL, M. Litterfall, litter decomposition and nutrient release in five exotic plant species planted on coal mine spoils. **Pedobiologia**, Jena, v. 45, n. 4, p. 298–312, 2001.
- ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.
- ENTZ, M. H. et al. Potential of forages to diversify cropping systems in the Northern Great Plains. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, n. 2, p. 240-250, 2002.
- EPSTEIN H. E.; BURKE I. C.; LAUENROTH W. K. Regional patterns of decomposition and primary production rates in the U.S. Great Plains. **Ecology**, Washington, v. 83, n. 2, p. 320-327, 2002.
- ESSE, P. C. et al. Decomposition of and nutrient release from ruminant manure on acid sandy soils in the Sahelian zone of Niger, West Africa. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 83, n. 1-2, p. 55-63, 2001.
- FERREIRA, E. V. F. et al. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade da

soja na integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 161-169, 2011.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Crop and cattle responses to tillage systems for integrated crop–livestock production in the Southern Piedmont, USA. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Pennsylvania, v. 22, n. 3, p. 168-180, 2007.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Early response of soil organic fractions to tillage and integrated crop–livestock production. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, n. 3, p. 613-625, 2008b.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Soil physical responses to cattle grazing cover crop under conventional and no tillage in the Southern Piedmont, USA. **Soil and Tillage Research**, Philadelphia, v. 100, n. 1-2, p. 141-153, 2008a.

FROSSARD, E. et al. Reactions controlling the cycling of P in soil. In: TIESSNM, H. (Ed.). **Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management**. Chichester: Wiley, 1995. p. 107-146.

FUJISAKA, S. et al. The effects of forest conversion on annual crops and pasture: estimates of carbon emissions and plant species loss in Brazilian Amazon colony. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 69, n. 1, p. 17-26, 1998.

GARCIA, R. et al. Forrageiras utilizadas no sistema integrado agricultura-pecuária. In: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A. A.; AGNES, E. L. (Ed.). **Manejo integrado – integração agricultura-pecuária**. Viçosa: UFV/DFP, 2004. p. 331-351.

GARIBALDI L. A.; SEMMARTIN, M.; CHANETON E. J. Grazing-induced changes in plant composition affect litter quality and nutrient cycling in Flooding Pampa grasslands. **Oecologia**, Netherlands, v. 151, n. 4, p. 650–662, 2007.

GIACOMINI, S. J. et al. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, 2003.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 909-920, 2012.

HAN, G. D. et al. Effect of grazing intensity on carbon and nitrogen in soil and vegetation in a meadow steppe in Inner Mongolia. **Agriculture, Ecosystem and Environments**, Amsterdam, v. 125, n. 1-4, p. 21–32, 2008.

- HASSINK, J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 191, n. 1, p. 77-87, 1997.
- HAWKESFORD, M. et al. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. New York: Elsevier, 2012. p. 135-189.
- HAYNES, R. J.; BEARE, M. H. Influence of six crop species on aggregate stability and labile organic matter fractions. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 11-12, p. 1647-1653, 1997.
- HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Influence of stock camping behaviour on the soil microbiological and biochemical properties of grazed pastoral soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 28, n. 3, p. 253-258, 1999.
- HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, New York, v. 49, n. 1, p. 119-199, 1993.
- HE N. P. et al. Grazing intensity impacts soil carbon and nitrogen storage of continental steppe. **Ecosphere**, Washington, v. 2, n. 1, p. 1-8, 2011.
- HEINZ, R. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crame e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1549-1555, 2011.
- HOFFMANN, I. et al. Farmers management strategies to maintain soil fertility in a remote area in northwest Nigeria. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 86, n. 3, p. 263-275, 2001.
- INGRAM, L. J. et al. Grazing impacts on soil carbon and microbial communities in a mixed-grass ecosystem. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, n. 4, p. 939-948, 2008.
- INMET. **Monitoramento das estações automáticas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 12 maio 2013.
- JOHANSSON, M. B.; BERG, B.; MEENTEMEYER, V. Litter mass-loss rates in late stages of decomposition in a climatic transect of pine forests - long-term decomposition in a Scots pine forest IX. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 73, n. 10, p. 1509-1521, 1995.
- KEULEN, H.; SCHIERE, H. Crop-livestock systems: old wine in new bottles? In: FISCHER, T. et al. **New directions for a diverse planet**. Gosford: The Regional Institute, 2004. 1 CD ROM. Trabalho apresentado ao IV International Crop Science Congress.
- KOTTEK, M. et al. World map of the köppen-geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.
- KOZELINSKI, S. M. **Produção de trigo duplo propósito e ciclagem de**

- nutrientes em sistema de integração lavoura pecuária.** 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2009.
- KUNRATH, T. R. **Impactos de altura de manejo do pasto em sistemas de integração lavoura-pecuária.** 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental pollution**, Oxford, v. 116, n. 3, p. 353-362, 2002.
- LANG C. R. et al. Fitomassa aérea residual da pastagem de inverno no sistema integração lavoura-pecuária. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 5, n. 1-2, p. 43-48, 2004.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.
- LEMAIRE, G. et al. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. **Grass and Forage Science**, Malden, v. 64, n. 4, p. 341-353, 2009.
- LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. **The ecology and management of grazing systems.** Wallingford: CAB International, 1996. p. 3-36.
- LOPES, M. L. T. et al. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1499-1506, 2009.
- LOSS, A. et al. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 1067-1072, 2009.
- LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com o rendimento de milho e estoques destes elementos no solo em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 175-187, 2004.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London: Academic Press, 1995. 862 p.
- MATHEWS, B. W.; MIYSAKA, S. C.; TRISCHLER, J. P. Mineral nutrition of C4 forage grasses. In: MOSER, L. E.; BURSON, B. L.; SOLLENBERGER, L. E. **Warm-season (C4) grasses.** Madison: Agronomy Monograph, 2004. p. 217-265.
- MCNAUGHTON S. J. Ecology of a grazing ecosystem: the serengeti. **Ecological Monographs**, Durham, v. 55, n. 3, p. 259-295, 1992.
- MELLO, J. S. Fundamentos para integração lavoura-pecuária no sistema

- plantio. **Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 35, n.1, p. 12-13, 1996.
- MERCHEN, N. R. Digestion, absorption and excretion in ruminantes In: CHURCH, D. C. **The ruminant animal digestive physiology and nutrition**. Carvallis: O & B Books, 1993. p. 172-201.
- MORAES, A. et al. Avanços científicos em integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Synergismus Scientifica**, Pato Branco, v. 6, n. 2, p. 9-16, 2011.
- NARDOTO, G. B.; BUSTAMANTE, M. M. C. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 955-962, 2003.
- NICOLOSO, R. S. et al. Balanço de carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2425-2433, 2008.
- NICOLOSO, R. S.; LANZANOVA, M. E.; LOVATO, T. Manejo das pastagens de inverno e potencial produtivo de sistemas de integração lavoura-pecuária no estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1799-1805, 2006.
- NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Atividade e especiação química na solução afetadas pela adição de fósforo em Latossolo sob plantio direto em diferentes condições de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 955-963, 2006.
- OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 76, n. 1-3, p. 319-337, 1984.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1983. 434 p.
- OENEMA, O. et al. Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 72, n. 1, p. 51-65, 2005.
- PADOVAN, M. P. et al. Avaliação de cultivares de soja, sob manejo orgânico, para fins de adubação verde e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1705-1710, 2002.
- PADOVAN, M. P. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de soja cortada em diferentes estádios de desenvolvimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 667-672, 2006.
- PALADINI, F. L. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-escuro afetado por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 135-140, 1991.
- PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. Nitrogen release from the leaves of some

- tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 23, n. 1, p. 83-88, 1991.
- PANACHUKI, E. et al. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1777-1786, 2011.
- PARSONS, S. A.; CONGDON, R. A. Plant litter decomposition and nutrient cycling in north Queensland tropical rain-forest communities of differing successional status. **Journal of Tropical Ecology**, New York, v. 24, n. 3, p. 317–327, 2008.
- PARTON, W. A. et al. Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. **Science**, Washington, v. 315, n. 5810, p. 361–364, 2007.
- PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. California: Academic Press, 1996. 340 p.
- PAUSTIAN, K. et al. Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions. **Soil Use and Management**, Lismore, v. 13, n. 4, p. 230-244, 1997.
- PITTA, C. S. R. et al. Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 1043-1053, 2012.
- PITTA, C. S. R. **Produção de caprinos suplementados em pastagem de aveia e rendimento do milho em sistemas de integração lavoura-pecuária**. 2012. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia área de Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- PIVA, J. T. **Fluxo de gases de efeito estufa e estoque de carbono do solo em sistemas integrados de produção no sub trópico brasileiro**. 2012. 96 f. Tese (Doutorado em Agronomia área de Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- PULLEMAN, M. M. et al. Soil organic matter distribution and microaggregate characteristics as affected by agricultural management and earthworm activity. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 56, n. 4, p. 453-467, 2005.
- REEDER, J. D.; SCHUMAN, G. E. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed grass and short-grass rangelands. **Environmental Pollution**, New York, v. 116, n. 3, p. 457-463, 2002.
- REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL (RPS-Sul). **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2002 até 2012**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 142 p.
- 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 Agroecosystems**, Dordrecht, v. 54, n. 2, p. 99-

112, 1999.

- REZENDE, L. A.; ASSIS, L. C.; NAHAS, E. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization in two soils amended with distillery yeast. **Bioresource Technology**, New York, v. 94, n.2, p. 159-167, 2004.
- ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 107-119, 2003.
- ROSCOE, R.; MADARY, B. E.; MACHADO, P. L. O de A. Fracionamento físico do solo na obtenção de compartimentos mensuráveis para uso em simuladores da dinâmica da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**. Dourados: Embrapa, 2006. p. 17-42.
- RUSSELL, J. S.; ISBELL, R. F. **Australian soils: the human impact**. Queensland: University of Queensland, 1986. 522 p.
- RUSSELLE, M. P.; ENTZ, M. H.; FRANZLUEBBERS, A. J. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 2, p. 325–334, 2007.
- 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, n. 5, p. 1486-1499, 2001.
- SALTON, J. C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p.11-21, 2008.
- SALTON, J. C. et al. **Matéria orgânica do solo na interação lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 29).
- SALTON, J. C. Et al. Pastoreio de aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 69, n.1, p. 32-34, 2002.
- SANAULLAH, M. et al. How does plant leaf senescence of grassland species influence decomposition kinetics and litter compounds dynamics? **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 88, n. 2, p. 159-171, 2010.
- SANDINI, I. E. et al. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n.8, p. 1315-1322, 2011.
- SARTOR, L. R., **Atributos químicos e biológicos do solo, rendimento e valor nutritivo de grãos de milho em sistema de integração lavoura-pecuária em resposta ao nitrogênio**. 2012. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia área de Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.



- SCHUMAN, G. E. et al. Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed-grass rangeland. **Ecological Applications**, Washington, v. 9, n. 1, p. 65–71, 1999.
- SCHUNKE, R. M. **Qualidade, decomposição e liberação de nutrientes da "litter" de quatro cultivares de *Panicum maximum* Jacq.** 1998. 111 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1998.
- SEMMARTIN M. et al. Litter quality and nutrient cycling affected by grazing-induced replacements in species composition along a precipitation gradient. **Oikos**, Denmark, v. 107, n. 1, p. 148–160, 2004.
- SEMMARTIN M.; GARIBALDI L. A.; CHANETON E. J. Grazing history effects on above- and below-ground litter decomposition and nutrient cycling in two co-occurring grasses. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 303, n. 1-2, p. 177-189, 2008.
- SEMMARTIN, M.; GHERSA, C. M. Intraspecific changes in plant morphology, associated with grazing, and effects on litter quality, carbon and nutrient dynamics during decomposition. **Austral Ecology**, Auckland, v. 31, n. 1, p. 99-105, 2006.
- SHARIFF, A.R., BIONDINI, M.E., GRYGIEL, C.E. Grazing intensity effects on litter decomposition and soil nitrogen mineralization. **Journal of Range Management**, London, v. 47, n. 6, p. 444-449, 1994.
- SHUNKE, R. M. Alternativas de manejo de pastagem para melhor aproveitamento do nitrogênio do solo. In: WORKSHOP - nitrogênio na sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agropecuária. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. p. 125-140.
- SILVA NETO, L. F. et al. Óxidos de ferro em latossolos tropicais e subtropicais brasileiros em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1873-1881, 2008.
- SILVA, E. F. da et al. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011.
- SILVA, F. D. da. **Distribuição espacial e temporal de placas de esterco e produtividade da soja em sistema de integração soja-bovinos de corte.** 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n.1, p.113-117, 1997.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. 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, n. 1, p.

191-199, 2000.

- SIX, J. et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 241, n. 2, p. 155-176, 2002.
- 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**, Amsterdam, v. 32, n. 14, p. 2099-2103, 2000.
- SMITH, V. C.; BRADFORD, M. A. Litter quality impacts on grassland litter decomposition are differently dependent on soil fauna across time. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 24, n. 2, p. 197–203, 2003.
- SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, Amsterdam, v. 74, n. 1-2, p. 65-105, 1996.
- SORATTO, R. P. et al. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milho, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 10, p. 1462-1470, 2012.
- SOUSSANA, J. F; LEMAIRE, G. Coupling the carbon and nitrogen cycles through improved grassland management and crop–livestock integration. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 2., 2012, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012. 1 CD-ROM.
- SOUZA, E. D. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 79-88, 2010.
- SOUZA, E. D. et al. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistemas de integração agricultura-pecuária submetidos a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1273-1282, 2008.
- SOUZA, E. D. et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 1829-1836, 2009.
- SRIVASTAVA, S. C.; SINGH, J. S. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: effects of alternate land uses and nutrient flux. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 23, n. 2, p. 117-124, 1991.
- STARK, S.; GRELLMANN, D. Soil microbial responses to herbivory in an arctic tundra heath at two levels of nutrient availability. **Ecology**, Washington, v. 83, n. 10, p. 2736–2744, 2002.

- STEFFENS, M. et al. Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (P.R. China). **Geoderma**, Amsterdam, v. 143, n. 1-2, p. 63–72, 2008.
- STEWART, C. E. et al. Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 86, n. 1, p. 19-31, 2007.
- SULC, R. M.; TRACY, B. F. Integrated crop-livestock systems in the U.S. corn belt. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 2, p. 335-345, 2007.
- TAN, Z. X. et al. Relationships between surface soil organic carbon pool and site variables. **Geoderma**, Amsterdam, v. 121, n. 3-4, p. 187-195, 2004.
- TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S., Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, n. 2-3, p. 111-119, 1991.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147 p.
- THOMAS, R. J. The role of the legume in the nitrogen cycle of productive and sustainable pastures. **Grass and Forage Science**, Malden, v. 47, n. 1, p. 133-142, 1992.
- THONNISSEN, C. et al. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 2, p. 253–260, 2000.
- TIESSEN, H.; SHANG, C. Organic-matter turnover in tropical land use systems. In: BERGSTROM L.; KIRCHMANN, H. **Carbon and nutrient dynamics in natural and agricultural tropical ecosystems**. Wallingford: CAB International, 1998. p. 1-14.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 421-428, 2008.
- TRACY, B. F.; DAVIS, A. S. Weed biomass and species composition as affected by an integrated crop-livestock system. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 4, p. 1523–1530, 2009.
- TRACY, B. F.; ZHANG, Y. Soil compaction, corn yield response, and soil nutrient pool dynamics within an integrated crop livestock system in Illinois. **Crop Science**, Madison, v. 48, n. 3, p. 1211-1218, 2008.
- TRINSOUTROT, I. et al. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under non limiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 3, p. 918-926, 2000.
- TRIPATHI, S. K.; SINGH, K. P. Nutrient immobilization and release patterns during plant decomposition in a dry tropical bamboo savanna, India. **Biology Fertility Soils**, Berlin, v. 14, n. 3, p. 191-199, 1992.

- VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476 p.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.
- VIEIRA, F. C. B. et al. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 96, n. 1-2, p. 195-204, 2007.
- VILELA, L. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.
- WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Reviews**, London, v. 7, n. 3, p. 321-358, 1992.
- WEEDA, W.C. Effect of cattle dung patches on soil tests and botanical and chemical composition of herbage. **New Zealand Journal Agriculture Research**, New Zealand, v. 20, n. 4, p. 471-478, 1977.
- WIEDER, R. K.; LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data from litter bags. **Ecology**, Washington v. 63, n. 6, p. 1636-1642, 1982.
- WOHLENBERG, E. V. et al. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 891-900, 2004.

## **11. RELAÇÃO DE APÊNDICES**

**Apêndice 1** Dados de ciclagem de carbono em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo. Ano 1 (2009/10) e Ano 2 (2010/11); 10, 20, 30 e 40 representam as alturas de manejo do pasto, e área sem pastejo (SP) - (São Miguel das Missões - RS)

		Alturas de pastejo	Comp. A	Ka	R <sup>2</sup>
Ano	Rep.	cm	%	Dias <sup>-1</sup>	
..... <i>Esterco</i> .....					
1	1	10	73,34	0,002912	0,91
1	2	10	45,12	0,002920	0,98
1	3	10	66,29	0,003467	0,95
1	1	20	99,98	0,004381	0,70
1	2	20	31,61	0,004893	0,88
1	3	20	97,70	0,004482	0,93
1	1	30	66,80	0,004269	0,93
1	2	30	30,26	0,003754	0,88
1	3	30	99,97	0,004410	0,93
1	1	40	44,79	0,003284	0,95
1	2	40	74,74	0,003269	0,98
1	3	40	99,98	0,003181	0,99
2	1	10	80,90	0,002926	0,94
2	2	10	60,71	0,003051	0,99
2	3	10	81,47	0,003132	0,97
2	1	20	99,96	0,005080	0,62
2	2	20	29,70	0,003956	0,84
2	3	20	66,11	0,004778	0,92
2	1	30	40,65	0,003942	0,94
2	2	30	40,25	0,003844	0,87
2	3	30	67,81	0,004705	0,96
2	1	40	44,57	0,002855	0,95
2	2	40	99,98	0,003257	0,99
2	3	40	85,56	0,003392	0,99
..... <i>Pastagem</i> .....					
1	1	10	43,95	0,007161	0,95
1	2	10	39,34	0,012120	0,91
1	3	10	99,89	0,002135	0,93
1	1	20	64,10	0,007301	0,97
1	2	20	55,90	0,012392	0,93
1	3	20	68,72	0,005647	0,97
1	1	30	58,86	0,011196	0,93
1	2	30	57,87	0,010372	0,91
1	3	30	70,68	0,005681	0,89
1	1	40	41,60	0,011359	0,90
1	2	40	47,26	0,008255	0,85

1	3	40	99,87	0,002031	0,84
1	1	SP	50,03	0,006629	0,95
1	2	SP	47,74	0,008292	0,88
1	3	SP	99,98	0,001860	0,93
2	1	10	56,76	0,004713	0,95
2	2	10	48,65	0,007417	0,93
2	3	10	99,98	0,001850	0,92
2	1	20	54,46	0,009696	0,94
2	2	20	52,85	0,009883	0,94
2	3	20	61,27	0,005643	0,93
2	1	30	57,17	0,010416	0,95
2	2	30	57,00	0,009317	0,94
2	3	30	63,51	0,005760	0,91
2	1	40	39,72	0,008656	0,90
2	2	40	47,98	0,005713	0,88
2	3	40	96,55	0,001921	0,86
2	1	SP	49,68	0,004662	0,94
2	2	SP	56,58	0,007298	0,90
2	3	SP	99,88	0,001468	0,90

.....**Folha soja**.....

1	1	10	68,28	0,006555	0,86
1	2	10	71,47	0,005700	0,90
1	3	10	75,85	0,005108	0,93
1	1	20	82,07	0,004618	0,85
1	2	20	63,57	0,006568	0,89
1	3	20	72,66	0,005322	0,93
1	1	30	64,78	0,006972	0,85
1	2	30	71,25	0,005581	0,9
1	3	30	76,14	0,004927	0,93
1	1	40	81,80	0,004639	0,85
1	2	40	55,79	0,008668	0,87
1	3	40	72,44	0,005340	0,93
1	1	SP	69,25	0,006208	0,85
1	2	SP	71,95	0,005506	0,87
1	3	SP	80,52	0,004569	0,93
2	1	10	82,53	0,004742	0,98
2	2	10	70,95	0,005624	0,98
2	3	10	70,23	0,005913	0,99
2	1	20	64,81	0,006823	0,97
2	2	20	72,00	0,005404	0,99
2	3	20	74,62	0,005018	0,98
2	1	30	82,21	0,004628	0,97
2	2	30	57,60	0,008263	0,99
2	3	30	72,88	0,005310	0,99
2	1	40	64,05	0,006945	0,97

2	2	40	70,80	0,005626	0,99
2	3	40	73,55	0,005103	0,99
2	1	SP	83,23	0,004539	0,97
2	2	SP	60,09	0,007704	0,99
2	3	SP	73,55	0,005242	0,99

.....**Caule soja**.....

1	1	10	35,15	0,002438	0,93
1	2	10	57,21	0,001467	0,91
1	3	10	57,66	0,001319	0,90
1	1	20	48,90	0,002565	0,93
1	2	20	49,95	0,001483	0,91
1	3	20	42,61	0,001332	0,9
1	1	30	34,38	0,002534	0,94
1	2	30	56,72	0,001480	0,92
1	3	30	57,25	0,001328	0,91
1	1	40	48,57	0,002420	0,94
1	2	40	50,28	0,001468	0,92
1	3	40	42,41	0,001317	0,9
1	1	SP	32,48	0,002635	0,92
1	2	SP	56,56	0,001448	0,9
1	3	SP	58,19	0,001268	0,89
2	1	10	49,86	0,001670	0,98
2	2	10	50,31	0,001475	0,99
2	3	10	42,77	0,002104	0,98
2	1	20	34,13	0,001707	0,99
2	2	20	56,65	0,001490	0,99
2	3	20	57,12	0,002111	0,98
2	1	30	48,66	0,001716	0,99
2	2	30	50,03	0,001487	0,99
2	3	30	42,44	0,002119	0,98
2	1	40	35,29	0,001720	0,99
2	2	40	56,35	0,001498	0,98
2	3	40	57,76	0,002121	0,98
2	1	SP	49,12	0,001698	0,99
2	2	SP	50,01	0,001492	0,99
2	3	SP	42,52	0,002115	0,98

---



**Apêndice 2** Dados de ciclagem de nitrogênio em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo. Ano 1 (2009/10) e Ano 2 (2010/11); 10, 20, 30 e 40 representam as alturas de manejo do pasto, e área sem pastejo (SP), (São Miguel das Missões - RS)

		Alturas de pastejo	Comp. A	Ka	Kb	R <sup>2</sup>
Ano	Rep.	cm	%	.....Dias <sup>-1</sup> .....		
..... <b>Esterco bovino</b> .....						
1	1	10	68,22	0,007332	0,001242	0,97
1	2	10	80,36	0,007963	0,001323	0,98
1	3	10	41,13	0,014799	0,001669	0,99
1	1	20	17,90	0,090101	0,002549	0,97
1	2	20	14,75	0,057272	0,002644	0,99
1	3	20	11,50	0,115892	0,002919	0,98
1	1	30	10,88	0,056372	0,001397	0,98
1	2	30	9,33	0,053342	0,001616	0,95
1	3	30	10,10	0,054857	0,001507	0,96
1	1	40	21,98	0,022285	0,001527	0,97
1	2	40	18,05	0,032317	0,001843	0,97
1	3	40	17,42	0,039245	0,001876	0,98
2	1	10	67,46	0,008789	0,001245	0,98
2	2	10	63,24	0,010031	0,001411	0,98
2	3	10	45,11	0,005108	0,001689	0,98
2	1	20	16,77	0,094576	0,002563	0,97
2	2	20	13,25	0,070125	0,002659	0,99
2	3	20	10,02	0,138482	0,002936	0,98
2	1	30	12,07	0,086960	0,001477	0,98
2	2	30	8,44	0,051694	0,001652	0,95
2	3	30	10,16	0,060645	0,001530	0,96
2	1	40	24,03	0,033880	0,001507	0,99
2	2	40	20,23	0,040377	0,001680	0,99
2	3	40	17,59	0,039588	0,001733	0,98
..... <b>Pastagem</b> .....						
1	1	10	59,43	0,006565	...	0,92
1	2	10	60,97	0,006576	...	0,94
1	3	10	96,88	0,002096	...	0,95
1	1	20	61,71	0,020923	...	0,92
1	2	20	66,25	0,019623	...	0,93
1	3	20	61,92	0,013650	...	0,94
1	1	30	58,84	0,013865	...	0,97
1	2	30	55,72	0,012145	...	0,96
1	3	30	58,13	0,014159	...	0,93
1	1	40	47,69	0,014578	...	0,92
1	2	40	51,75	0,013885	...	0,93

1	3	40	53,11	0,008356	...	0,95
1	1	SP	62,32	0,009984	...	0,97
1	2	SP	64,07	0,009191	...	0,92
1	3	SP	79,64	0,005775	...	0,93
2	1	10	56,05	0,008333	...	0,92
2	2	10	64,35	0,006021	...	0,94
2	3	10	93,50	0,003005	...	0,94
2	1	20	65,09	0,020961	...	0,96
2	2	20	62,87	0,017226	...	0,95
2	3	20	65,30	0,014929	...	0,95
2	1	30	55,46	0,012909	...	0,98
2	2	30	59,10	0,013188	...	0,98
2	3	30	54,75	0,012673	...	0,97
2	1	40	51,07	0,016582	...	0,95
2	2	40	48,37	0,012563	...	0,96
2	3	40	56,49	0,009155	...	0,96
2	1	SP	58,94	0,010297	...	0,98
2	2	SP	67,45	0,009079	...	0,92
2	3	SP	76,26	0,006198	...	0,93

.....**Folha soja**.....

1	1	10	74,90	0,010544	...	0,98
1	2	10	74,79	0,010765	...	0,99
1	3	10	74,26	0,010744	...	0,99
1	1	20	74,24	0,010693	...	0,99
1	2	20	73,71	0,011164	...	0,99
1	3	20	73,54	0,011173	...	0,99
1	1	30	72,91	0,010419	...	0,98
1	2	30	76,50	0,008971	...	0,97
1	3	30	79,05	0,008008	...	0,99
1	1	40	71,77	0,011987	...	0,98
1	2	40	75,43	0,009688	...	0,97
1	3	40	75,57	0,009415	...	0,99
1	1	SP	72,65	0,010851	...	0,97
1	2	SP	75,99	0,009283	...	0,98
1	3	SP	77,23	0,008553	...	0,97
2	1	10	73,90	0,011094	...	0,99
2	2	10	73,71	0,010705	...	0,99
2	3	10	75,81	0,009555	...	0,98
2	1	20	72,72	0,011101	...	0,99
2	2	20	73,58	0,010254	...	0,99
2	3	20	75,57	0,009196	...	0,99
2	1	30	73,31	0,011098	...	0,97
2	2	30	73,63	0,010481	...	0,98
2	3	30	75,68	0,009376	...	0,99
2	1	40	73,61	0,011097	...	0,99

2	2	40	73,67	0,010594	...	0,99
2	3	40	75,74	0,009466	...	0,98
2	1	SP	73,22	0,011099	...	0,99
2	2	SP	73,62	0,010443	...	0,98
2	3	SP	75,66	0,009346	...	0,99

.....**Caule soja**.....

1	1	10	68,34	0,008066	...	0,96
1	2	10	83,93	0,005476	...	0,97
1	3	10	93,98	0,003887	...	0,97
1	1	20	79,17	0,005372	...	0,88
1	2	20	74,91	0,007285	...	0,91
1	3	20	94,45	0,004152	...	0,89
1	1	30	62,64	0,011384	...	0,91
1	2	30	86,01	0,005158	...	0,96
1	3	30	93,89	0,003429	...	0,97
1	1	40	62,85	0,005708	...	0,9
1	2	40	86,07	0,004764	...	0,95
1	3	40	96,49	0,004123	...	0,89
1	1	SP	68,72	0,008154	...	0,93
1	2	SP	84,81	0,005190	...	0,95
1	3	SP	92,33	0,003759	...	0,97
2	1	10	81,12	0,005542	...	0,98
2	2	10	80,77	0,005115	...	0,99
2	3	10	81,10	0,004574	...	0,99
2	1	20	82,26	0,006277	...	0,99
2	2	20	81,66	0,005378	...	0,99
2	3	20	85,98	0,003450	...	0,99
2	1	30	79,61	0,005756	...	0,99
2	2	30	82,73	0,004852	...	0,99
2	3	30	85,56	0,004151	...	0,99
2	1	40	79,60	0,010120	...	0,98
2	2	40	82,59	0,005151	...	0,99
2	3	40	85,85	0,003265	...	0,99
2	1	SP	80,99	0,005520	...	0,99
2	2	SP	82,67	0,005154	...	0,99
2	3	SP	85,59	0,004164	...	0,99

---

**Apêndice 3** Dados de ciclagem de fósforo em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo. Ano 1 (2009/10) e Ano 2 (2010/11); 10, 20, 30 e 40 representam alturas de manejo do pasto, e área sem pastejo (SP) - (São Miguel das Missões - RS)

		Alturas de pastejo	Comp. A	Ka	Kb	R <sup>2</sup>
Ano	Rep.	cm	%	.....Dias <sup>-1</sup> .....		
..... <b>Esterco</b> .....						
1	1	10	33,73	0,033976	0,001866	0,99
1	2	10	35,70	0,109915	0,002339	0,98
1	3	10	33,49	0,086939	0,002066	0,98
1	1	20	39,89	0,074645	0,003147	0,97
1	2	20	27,50	0,254252	0,003991	0,98
1	3	20	30,15	0,149549	0,003767	0,97
1	1	30	36,69	0,069657	0,003520	0,99
1	2	30	28,62	0,187628	0,003921	0,98
1	3	30	31,37	0,128044	0,003636	0,98
1	1	40	38,65	0,033797	0,001841	0,99
1	2	40	38,69	0,083470	0,002378	0,99
1	3	40	34,05	0,077572	0,002512	0,98
2	1	10	36,65	0,068163	0,002267	0,99
2	2	10	36,72	0,069629	0,002262	0,99
2	3	10	36,59	0,069590	0,002272	0,99
2	1	20	31,27	0,126591	0,003842	0,99
2	2	20	30,91	0,136181	0,003855	0,99
2	3	20	31,06	0,132699	0,003851	0,99
2	1	30	31,92	0,106183	0,003708	0,99
2	2	30	31,90	0,108588	0,003707	0,98
2	3	30	31,88	0,107579	0,003708	0,99
2	1	40	32,46	0,055684	0,002255	0,99
2	2	40	32,78	0,057741	0,002265	0,99
2	3	40	32,54	0,057400	0,002265	0,98
..... <b>Pastagem</b> .....						
1	1	10	28,66	0,026611	0,001432	0,97
1	2	10	32,23	0,027457	0,001533	0,98
1	3	10	34,53	0,028732	0,001309	0,98
1	1	20	43,46	0,040963	0,001684	0,94
1	2	20	46,04	0,046797	0,001768	0,97
1	3	20	43,20	0,050955	0,001996	0,96
1	1	30	40,79	0,037503	0,001607	0,94
1	2	30	45,53	0,044065	0,001673	0,97
1	3	30	44,05	0,082914	0,001922	0,96
1	1	40	31,48	0,022465	0,001467	0,97

1	2	40	28,67	0,033531	0,001625	0,98
1	3	40	33,90	0,023860	0,001380	0,99
1	1	SP	29,25	0,026397	0,001457	0,97
1	2	SP	32,56	0,026282	0,001552	0,98
1	3	SP	34,58	0,028774	0,001362	0,99
2	1	10	30,95	0,028759	0,001486	0,99
2	2	10	27,42	0,034830	0,001387	0,99
2	3	10	33,24	0,028773	0,001467	0,98
2	1	20	40,33	0,037658	0,001665	0,99
2	2	20	44,96	0,043166	0,001616	0,99
2	3	20	43,19	0,081796	0,001705	0,97
2	1	30	44,19	0,040665	0,001665	0,99
2	2	30	46,69	0,047032	0,001549	0,99
2	3	30	43,83	0,052634	0,001667	0,99
2	1	40	29,43	0,026336	0,001313	0,98
2	2	40	32,14	0,026511	0,001442	0,99
2	3	40	34,59	0,028788	0,001484	0,99
2	1	SP	31,84	0,022074	0,001476	0,98
2	2	SP	28,35	0,035894	0,001395	0,99
2	3	SP	33,99	0,024305	0,001367	0,98

.....**Folha soja**.....

1	1	10	20,72	0,071928	0,006382	0,99
1	2	10	22,66	0,059907	0,005982	0,98
1	3	10	29,77	0,043623	0,005294	0,99
1	1	20	24,29	0,051354	0,005945	0,99
1	2	20	22,25	0,050119	0,006017	0,99
1	3	20	22,91	0,048502	0,005866	0,99
1	1	30	23,67	0,053237	0,005906	0,98
1	2	30	21,71	0,051912	0,005960	0,99
1	3	30	22,56	0,049638	0,005787	0,99
1	1	40	24,18	0,050720	0,005908	0,98
1	2	40	22,03	0,049511	0,006006	0,99
1	3	40	22,33	0,048773	0,005896	0,98
1	1	SP	24,43	0,049865	0,005880	0,99
1	2	SP	22,25	0,048529	0,005992	0,98
1	3	SP	22,20	0,048644	0,005923	0,99
2	1	10	32,25	0,031636	0,005267	0,99
2	2	10	20,55	0,061611	0,006125	0,98
2	3	10	18,83	0,079678	0,005745	0,99
2	1	20	23,00	0,042478	0,005782	0,99
2	2	20	22,57	0,044395	0,005908	0,98
2	3	20	22,86	0,040663	0,005666	0,99
2	1	30	22,39	0,043916	0,005734	0,99
2	2	30	22,02	0,045874	0,005854	0,99
2	3	30	22,26	0,041949	0,005616	0,99

2	1	40	22,73	0,042116	0,005773	0,98
2	2	40	22,28	0,044045	0,005902	0,99
2	3	40	22,51	0,040418	0,005666	0,99
2	1	SP	22,90	0,041509	0,005763	0,98
2	2	SP	22,42	0,043408	0,005895	0,99
2	3	SP	22,62	0,039963	0,005663	0,99

.....**Caule soja**.....

1	1	10	53,34	0,018992	...	0,90
1	2	10	57,22	0,011748	...	0,88
1	3	10	83,25	0,004574	...	0,93
1	1	20	57,01	0,012001	...	0,90
1	2	20	55,24	0,014969	...	0,89
1	3	20	57,72	0,010876	...	0,94
1	1	30	52,73	0,018133	...	0,90
1	2	30	57,17	0,011504	...	0,89
1	3	30	89,26	0,003972	...	0,94
1	1	40	57,01	0,011852	...	0,90
1	2	40	55,17	0,014805	...	0,89
1	3	40	57,78	0,010707	...	0,94
1	1	SP	53,03	0,018562	...	0,90
1	2	SP	57,22	0,011375	...	0,89
1	3	SP	86,00	0,004273	...	0,93
2	1	10	57,04	0,011971	...	0,99
2	2	10	55,24	0,014960	...	0,98
2	3	10	57,78	0,010844	...	0,99
2	1	20	53,35	0,019001	...	0,99
2	2	20	57,23	0,011742	...	0,98
2	3	20	83,20	0,004580	...	0,99
2	1	30	56,95	0,011745	...	0,99
2	2	30	54,90	0,014151	...	0,98
2	3	30	57,72	0,010620	...	0,99
2	1	40	53,22	0,018828	...	0,99
2	2	40	57,23	0,011598	...	0,98
2	3	40	84,25	0,004459	...	0,99
2	1	SP	56,97	0,011633	...	0,99
2	2	SP	55,06	0,014555	...	0,97
2	3	SP	57,80	0,010511	...	0,99

---

**Apêndice 4** Dados de ciclagem de potássio em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo. Ano 1 (2009/10) e Ano 2 (2010/11); 10, 20, 30 e 40 representam as alturas de manejo do pasto, e área sem pastejo (SP) - (São Miguel das Missões - RS)

Ano	Rep.	Alturas de pastejo	Comp. A	Ka	R <sup>2</sup>
		cm	%	Dias <sup>-1</sup>	
..... <i>Esterco</i> .....					
1	1	10	89,47	0,054977	0,97
1	2	10	92,32	0,055953	0,97
1	3	10	88,65	0,063981	0,97
1	1	20	93,88	0,053770	0,96
1	2	20	91,45	0,064487	0,97
1	3	20	93,76	0,049446	0,96
1	1	30	94,90	0,054004	0,99
1	2	30	96,07	0,048272	0,98
1	3	30	92,77	0,093441	0,98
1	1	40	95,23	0,047277	0,97
1	2	40	93,76	0,060385	0,98
1	3	40	94,97	0,069403	0,98
2	1	10	91,40	0,061300	0,98
2	2	10	90,03	0,072031	0,98
2	3	10	92,53	0,058321	0,98
2	1	20	92,95	0,040900	0,99
2	2	20	94,16	0,063674	0,98
2	3	20	90,68	0,080823	0,97
2	1	30	96,13	0,035638	0,96
2	2	30	93,77	0,076641	0,99
2	3	30	95,19	0,051754	0,98
2	1	40	93,31	0,070872	0,99
2	2	40	95,65	0,055291	0,98
2	3	40	93,09	0,053288	0,98
..... <i>Pastagem</i> .....					
1	1	10	84,73	0,034183	0,97
1	2	10	89,28	0,035217	0,93
1	3	10	83,79	0,052334	0,95
1	1	20	89,85	0,033669	0,98
1	2	20	86,87	0,048782	0,98
1	3	20	90,27	0,031312	0,97
1	1	30	90,00	0,030737	0,99
1	2	30	93,00	0,032904	0,98

1	3	30	90,14	0,041761	0,97
1	1	40	91,33	0,030242	0,98
1	2	40	89,38	0,042670	0,98
1	3	40	91,61	0,029812	0,98
1	1	SP	88,68	0,040774	0,99
1	2	SP	90,59	0,032375	0,99
1	3	SP	89,17	0,052313	0,97
2	1	10	89,52	0,027990	0,97
2	2	10	81,72	0,061787	0,99
2	3	10	89,70	0,034648	0,98
2	1	20	87,73	0,044836	0,98
2	2	20	89,22	0,035232	0,98
2	3	20	88,18	0,040360	0,97
2	1	30	91,82	0,026234	0,97
2	2	30	90,93	0,042874	0,98
2	3	30	92,43	0,032281	0,97
2	1	40	89,32	0,037586	0,98
2	2	40	91,58	0,032672	0,99
2	3	40	89,50	0,037284	0,98
2	1	SP	90,66	0,032648	0,97
2	2	SP	88,57	0,040432	0,97
2	3	SP	91,49	0,037803	0,98

.....**Folha soja**.....

1	1	10	98,40	0,064460	0,99
1	2	10	97,44	0,060668	0,99
1	3	10	98,51	0,064355	0,99
1	1	20	97,98	0,061666	0,98
1	2	20	98,83	0,062969	0,99
1	3	20	98,40	0,057528	0,99
1	1	30	98,56	0,066695	0,99
1	2	30	97,80	0,060466	0,98
1	3	30	98,91	0,062114	0,99
1	1	40	97,85	0,061051	0,99
1	2	40	99,00	0,062773	0,98
1	3	40	98,26	0,059925	0,99
1	1	SP	98,11	0,062342	0,98
1	2	SP	97,43	0,057295	0,99
1	3	SP	98,33	0,062170	0,99
2	1	10	98,06	0,062054	0,99
2	2	10	97,87	0,064894	0,99
2	3	10	98,17	0,061666	0,99



2	1	20	98,37	0,065463	0,98
2	2	20	98,46	0,059922	0,99
2	3	20	98,76	0,060013	0,99
2	1	30	98,12	0,062087	0,99
2	2	30	98,23	0,064236	0,99
2	3	30	98,42	0,057330	0,99
2	1	40	98,26	0,064780	0,99
2	2	40	98,63	0,059655	0,99
2	3	40	98,64	0,063497	0,98
2	1	SP	97,62	0,058211	0,99
2	2	SP	97,92	0,062052	0,99
2	3	SP	97,82	0,057297	0,98

.....**Caule soja**.....

1	1	10	98,94	0,046701	0,99
1	2	10	99,00	0,039847	0,99
1	3	10	98,17	0,051279	0,98
1	1	20	99,40	0,040283	0,98
1	2	20	99,28	0,045440	0,99
1	3	20	99,45	0,040306	0,99
1	1	30	98,89	0,050562	0,98
1	2	30	99,20	0,042445	0,99
1	3	30	98,87	0,051656	0,98
1	1	40	99,35	0,038456	0,99
1	2	40	98,76	0,045906	0,99
1	3	40	99,31	0,039308	0,99
1	1	SP	98,35	0,038015	0,98
1	2	SP	98,82	0,032752	0,97
1	3	SP	99,77	0,035347	0,97
2	1	10	99,15	0,038946	0,99
2	2	10	98,44	0,050404	0,99
2	3	10	98,95	0,039980	0,98
2	1	20	98,85	0,047058	0,98
2	2	20	99,49	0,039887	0,99
2	3	20	99,11	0,046941	0,98
2	1	30	99,26	0,041701	0,99
2	2	30	98,71	0,053474	0,98
2	3	30	99,24	0,042052	0,99
2	1	40	99,05	0,043188	0,99
2	2	40	99,27	0,039182	0,99
2	3	40	98,90	0,046528	0,98
2	1	SP	98,79	0,032599	0,98

2	2	SP	98,53	0,038497	0,98
2	3	SP	98,89	0,031997	0,99

**Apêndice 5** Dados de ciclagem de cálcio em um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo. Ano 1 (2009/10) e Ano 2 (2010/11); 10, 20, 30 e 40 representam as alturas de manejo do pasto, e área sem pastejo (SP) - (São Miguel das Missões - RS)

<i>Ano</i>	<i>Rep.</i>	Alturas de pastejo <i>cm</i>	Comp. A %	Ka	Kb	R <sup>2</sup>
<i>.....Dias<sup>-1</sup>.....</i>						
<b>.....Esterco.....</b>						
1	1	10	24,36	0,060283	0,004566	0,99
1	2	10	20,42	0,082218	0,004539	0,99
1	3	10	23,42	0,092217	0,004440	0,99
1	1	20	22,49	0,151725	0,006162	0,98
1	2	20	20,32	0,235660	0,006893	0,99
1	3	20	18,33	0,215431	0,006992	0,99
1	1	30	19,84	0,244917	0,006347	0,99
1	2	30	20,84	0,254556	0,006546	0,99
1	3	30	18,84	0,234805	0,006146	0,98
1	1	40	19,74	0,073892	0,004191	0,99
1	2	40	21,74	0,076920	0,004391	0,99
1	3	40	18,73	0,071985	0,004192	0,99
2	1	10	23,78	0,061744	0,004361	0,99
2	2	10	22,53	0,081211	0,004477	0,98
2	3	10	19,14	0,082840	0,004307	0,99
2	1	20	19,54	0,250522	0,006572	0,99
2	2	20	20,58	0,222972	0,006718	0,98
2	3	20	18,56	0,262192	0,006560	0,99
2	1	30	19,61	0,220455	0,006465	0,99
2	2	30	20,70	0,301784	0,006628	0,99
2	3	30	18,81	0,227383	0,006338	0,98
2	1	40	20,72	0,067164	0,004275	0,99
2	2	40	21,77	0,076757	0,004422	0,98
2	3	40	19,82	0,078373	0,004266	0,99
<b>.....Pastagem.....</b>						
1	1	10	40,35	0,030276	0,001222	0,98
1	2	10	43,27	0,037846	0,002994	0,99
1	3	10	46,37	0,039943	0,004060	0,99
1	1	20	54,81	0,058341	0,003573	0,98
1	2	20	40,84	0,047597	0,005645	0,99
1	3	20	30,61	0,051869	0,006265	0,99
1	1	30	39,19	0,059569	0,003356	0,99

1	2	30	34,27	0,045822	0,004480	0,98
1	3	30	36,67	0,065615	0,005282	0,99
1	1	40	50,85	0,032633	0,001400	0,98
1	2	40	39,20	0,034163	0,002785	0,99
1	3	40	28,78	0,035568	0,003792	0,99
1	1	SP	37,98	0,037153	0,001489	0,99
1	2	SP	35,40	0,035939	0,002181	0,99
1	3	SP	36,20	0,035350	0,002796	0,98
2	1	10	46,37	0,027101	0,002268	0,99
2	2	10	45,26	0,028387	0,002394	0,99
2	3	10	40,02	0,028691	0,002491	0,98
2	1	20	48,99	0,046429	0,004726	0,99
2	2	20	37,86	0,069061	0,004910	0,98
2	3	20	35,13	0,047164	0,005058	0,99
2	1	30	43,59	0,059282	0,004094	0,99
2	2	30	35,90	0,050436	0,004218	0,98
2	3	30	32,62	0,051368	0,004324	0,99
2	1	40	45,48	0,044446	0,002458	0,98
2	2	40	37,97	0,039809	0,002545	0,99
2	3	40	33,39	0,046438	0,002658	0,98
2	1	SP	39,89	0,030360	0,002001	0,99
2	2	SP	36,20	0,031831	0,002096	0,99
2	3	SP	32,54	0,032852	0,002173	0,98

.....**Folha soja**.....

1	1	10	49,74	0,029958	0,001697	0,99
1	2	10	50,73	0,029955	0,001798	0,99
1	3	10	48,69	0,030983	0,002003	0,99
1	1	20	44,38	0,031665	0,001759	0,99
1	2	20	44,40	0,032633	0,001857	0,99
1	3	20	47,38	0,030664	0,001660	0,99
1	1	30	49,36	0,032688	0,001762	0,98
1	2	30	45,36	0,031704	0,001863	0,99
1	3	30	45,39	0,030670	0,001659	0,99
1	1	40	45,91	0,030977	0,001559	0,98
1	2	40	47,93	0,031978	0,001756	0,99
1	3	40	44,89	0,030052	0,001661	0,99
1	1	SP	45,67	0,031266	0,001699	0,99
1	2	SP	46,69	0,030226	0,001597	0,99
1	3	SP	47,75	0,032984	0,001920	0,98
2	1	10	44,80	0,030544	0,001698	0,99
2	2	10	49,79	0,029543	0,001696	0,98
2	3	10	50,72	0,030566	0,001901	0,99
2	1	20	48,54	0,030768	0,001731	0,99
2	2	20	46,44	0,030705	0,001836	0,98
2	3	20	47,62	0,030800	0,001824	0,99

2	1	30	46,86	0,032187	0,001760	0,99
2	2	30	45,35	0,033171	0,001860	0,99
2	3	30	45,92	0,029672	0,001660	0,99
2	1	40	47,13	0,031856	0,001657	0,98
2	2	40	47,12	0,031842	0,001812	0,99
2	3	40	45,12	0,030321	0,001661	0,99
2	1	SP	45,82	0,031111	0,001623	0,98
2	2	SP	47,31	0,031138	0,001677	0,99
2	3	SP	46,81	0,031170	0,001726	0,99

.....**Caule soja**.....

1	1	10	57,87	0,012844	...	0,99
1	2	10	56,81	0,011856	...	0,98
1	3	10	59,92	0,010815	...	0,99
1	1	20	58,68	0,012005	...	0,99
1	2	20	59,65	0,011059	...	0,98
1	3	20	57,66	0,013035	...	0,99
1	1	30	56,53	0,011385	...	0,99
1	2	30	61,69	0,010939	...	0,99
1	3	30	59,09	0,011181	...	0,99
1	1	40	56,42	0,011418	...	0,99
1	2	40	61,75	0,011586	...	0,99
1	3	40	64,84	0,011817	...	0,98
1	1	SP	57,87	0,011840	...	0,99
1	2	SP	58,64	0,012024	...	0,99
1	3	SP	56,55	0,011337	...	0,98
2	1	10	57,85	0,012319	...	0,99
2	2	10	57,86	0,011953	...	0,99
2	3	10	57,72	0,011162	...	0,98
2	1	20	57,53	0,011677	...	0,99
2	2	20	60,66	0,011333	...	0,99
2	3	20	61,29	0,012359	...	0,98
2	1	30	57,63	0,011744	...	0,99
2	2	30	60,63	0,010974	...	0,99
2	3	30	58,26	0,012093	...	0,99
2	1	40	56,44	0,011377	...	0,99
2	2	40	61,66	0,011306	...	0,98
2	3	40	62,10	0,011540	...	0,99
2	1	SP	57,85	0,012319	...	0,99
2	2	SP	56,86	0,011953	...	0,98
2	3	SP	58,72	0,011162	...	0,99

---

**Apêndice 6** Dados de ciclagem de magnésio em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e intensidades de pastejo. Ano 1 (2009/10) e Ano 2 (2010/11); 10, 20, 30 e 40 representam as alturas de manejo do pasto, e área sem pastejo (SP) - (São Miguel das Missões - RS)

<i>Ano</i>	<i>Rep.</i>	<b>Alturas de pastejo <i>cm</i></b>	<b>Comp. A %</b>	<b>Ka  .....Dias<sup>-1</sup>.....</b>	<b>Kb</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
..... <b>Esterco</b> .....						
1	1	10	22,71	0,058423	0,002894	0,99
1	2	10	21,62	0,062679	0,003147	0,99
1	3	10	23,67	0,061610	0,002592	0,98
1	1	20	23,19	0,122334	0,003949	0,99
1	2	20	22,86	0,126208	0,003210	0,98
1	3	20	20,89	0,119413	0,004108	0,99
1	1	30	22,38	0,136350	0,003235	0,99
1	2	30	21,46	0,105670	0,004008	0,98
1	3	30	22,22	0,105385	0,003139	0,99
1	1	40	22,58	0,060331	0,002984	0,99
1	2	40	22,32	0,060166	0,002756	0,99
1	3	40	23,59	0,058552	0,003152	0,98
2	1	10	22,18	0,059459	0,003177	0,99
2	2	10	21,74	0,065033	0,002798	0,99
2	3	10	23,57	0,061669	0,002947	0,99
2	1	20	22,15	0,115082	0,003175	0,99
2	2	20	23,42	0,127537	0,003797	0,99
2	3	20	20,82	0,131444	0,003615	0,99
2	1	30	22,00	0,108154	0,003816	0,99
2	2	30	22,29	0,118584	0,003425	0,98
2	3	30	22,58	0,103122	0,003735	0,99
2	1	40	22,83	0,058531	0,002637	0,99
2	2	40	22,07	0,060987	0,003079	0,99
2	3	40	22,62	0,061726	0,002837	0,98
..... <b>Pastagem</b> .....						
1	1	10	37,02	0,022808	0,001171	0,99
1	2	10	34,95	0,021381	0,001587	0,99
1	3	10	34,10	0,024685	0,001741	0,98
1	1	20	36,68	0,043895	0,002835	0,99
1	2	20	35,04	0,046975	0,003168	0,98
1	3	20	37,22	0,042701	0,002855	0,99
1	1	30	37,07	0,042321	0,002709	0,99
1	2	30	35,48	0,042874	0,002946	0,99
1	3	30	35,42	0,045617	0,002716	0,98
1	1	40	34,47	0,028298	0,002059	0,99
1	2	40	34,61	0,032339	0,002317	0,98

1	3	40	33,21	0,027584	0,002431	0,99
1	1	SP	36,53	0,022590	0,001761	0,99
1	2	SP	35,26	0,020928	0,001789	0,98
1	3	SP	34,70	0,026096	0,002110	0,99
2	1	10	36,70	0,021736	0,001549	0,99
2	2	10	33,27	0,024483	0,001575	0,99
2	3	10	37,31	0,022127	0,001700	0,98
2	1	20	37,51	0,043052	0,002756	0,99
2	2	20	35,84	0,043126	0,002928	0,99
2	3	20	36,11	0,045385	0,002598	0,98
2	1	30	36,46	0,042658	0,002615	0,99
2	2	30	35,04	0,045835	0,002748	0,99
2	3	30	36,19	0,043230	0,002473	0,99
2	1	40	35,17	0,028999	0,002053	0,98
2	2	40	36,16	0,029420	0,002174	0,99
2	3	40	31,86	0,030374	0,002277	0,99
2	1	SP	36,49	0,021960	0,001719	0,98
2	2	SP	34,40	0,023301	0,001645	0,99
2	3	SP	37,65	0,022998	0,001815	0,99

.....**Folha soja**.....

1	1	10	57,75	0,027356	0,001403	0,99
1	2	10	58,71	0,026428	0,001501	0,99
1	3	10	56,64	0,028447	0,001310	0,99
1	1	20	58,97	0,026994	0,001425	0,98
1	2	20	56,93	0,028590	0,001323	0,99
1	3	20	57,78	0,026335	0,001548	0,99
1	1	30	56,77	0,026579	0,001472	0,99
1	2	30	55,92	0,024419	0,001360	0,98
1	3	30	58,22	0,027181	0,001515	0,99
1	1	40	57,59	0,027461	0,001403	0,99
1	2	40	56,89	0,026292	0,001273	0,98
1	3	40	59,49	0,026761	0,001518	0,99
1	1	SP	60,23	0,024884	0,001375	0,98
1	2	SP	58,75	0,026203	0,001524	0,99
1	3	SP	58,36	0,023820	0,001259	0,99
2	1	10	57,72	0,028457	0,001398	0,99
2	2	10	58,09	0,025394	0,001406	0,99
2	3	10	57,88	0,028384	0,001362	0,99
2	1	20	57,92	0,027533	0,001447	0,98
2	2	20	56,44	0,026979	0,001342	0,99
2	3	20	58,02	0,025584	0,001527	0,99
2	1	30	58,37	0,025723	0,001422	0,99
2	2	30	57,13	0,025480	0,001415	0,99
2	3	30	57,91	0,026376	0,001442	0,99
2	1	40	58,48	0,027457	0,001412	0,99

2	2	40	56,65	0,027699	0,001331	0,99
2	3	40	58,40	0,028551	0,001536	0,98
2	1	SP	58,23	0,026749	0,001434	0,99
2	2	SP	58,63	0,023228	0,001526	0,99
2	3	SP	57,24	0,027169	0,001295	0,98

.....**Caule soja**.....

1	1	10	60,58	0,010510	...	0,99
1	2	10	59,56	0,010853	...	0,99
1	3	10	62,95	0,010877	...	0,98
1	1	20	60,55	0,010876	...	0,98
1	2	20	60,64	0,010968	...	0,99
1	3	20	60,21	0,010450	...	0,99
1	1	30	60,63	0,010857	...	0,98
1	2	30	60,21	0,010489	...	0,99
1	3	30	60,63	0,010488	...	0,98
1	1	40	59,60	0,010794	...	0,99
1	2	40	59,17	0,010662	...	0,99
1	3	40	60,55	0,010493	...	0,99
1	1	SP	60,85	0,010523	...	0,98
1	2	SP	58,66	0,010642	...	0,99
1	3	SP	60,49	0,010910	...	0,99
2	1	10	60,77	0,010503	...	0,99
2	2	10	59,59	0,010797	...	0,99
2	3	10	61,16	0,010895	...	0,98
2	1	20	60,11	0,010809	...	0,98
2	2	20	59,89	0,010830	...	0,99
2	3	20	60,37	0,010472	...	0,98
2	1	30	60,59	0,010704	...	0,99
2	2	30	60,37	0,010658	...	0,98
2	3	30	61,27	0,010668	...	0,99
2	1	40	60,11	0,010809	...	0,99
2	2	40	58,89	0,010830	...	0,99
2	3	40	61,37	0,010472	...	0,98
2	1	SP	60,73	0,010692	...	0,99
2	2	SP	59,45	0,010562	...	0,98
2	3	SP	60,57	0,010686	...	0,99

---