

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

**CICLAGEM E BALANÇO DE NUTRIENTES EM SISTEMA INTEGRADO DE
PRODUÇÃO AGRÍCOLA E PECUÁRIA COM OVINOS**

**Fernando Arnuti
(Tese de Doutorado)**

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

**CICLAGEM E BALANÇO DE NUTRIENTES EM SISTEMA INTEGRADO DE
PRODUÇÃO AGRÍCOLA E PECUÁRIA COM OVINOS**

FERNANDO ARNUTI

Engenheiro Agrônomo (UFSM)
Mestre em Ciência do Solo (UFRGS)

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

Porto Alegre (RS) Brasil
Junho de 2018

CIP - Catalogação na Publicação

Arnuti, Fernando
Ciclagem e balanço de nutrientes em sistema
integrado de produção agrícola e pecuária com ovinos /
Fernando Arnuti. -- 2018.
158 f.
Orientador: Ibanor Anghinoni.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-RS,
2018.

1. Fósforo. 2. Potássio. 3. Biomassa de raízes. 4.
Esterco de ovinos. 5. Integração lavoura-pecuária. I.
Anghinoni, Ibanor, orient. II. Título.

FERNANDO ARNUTI

Engenheiro Agrônomo - UFSM

Mestre em Ciência do Solo - UFRGS

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTOR 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: 29.06.2018
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 25.02.2018
Por

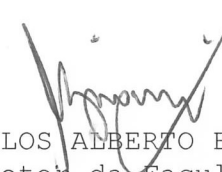

IVANOR ANGHINONI
Orientador-PPG Ciência do Solo


CARLOS GUSTAVO TORNQUIST
Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo


PEDRO ALBERTO SELBACH
Departamento de Solos/UFRGS


CARLOS NABINGER
Departamento de Plantas Forrageiras e
Agrometeorologia/UFRGS

TANGRIANI SIMIONI ASSMANN
UTFPR


CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade
de Agronomia

Este trabalho eu dedico aos meus pais, José e Idilce
e aos meus irmãos, Rogério, Fabiano e Daiane.

AGRADECIMENTOS

À minha Família, pelo apoio e incentivo.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de realizar o Curso de Doutorado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Professor Ibanor Anghinoni, pela orientação, confiança, amizade e apoio na condução deste trabalho.

Ao laboratorista Adão Luis Ramos dos Santos, pelo auxílio na condução dos trabalhos em laboratório e campo, pelo convívio e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Solos: Jader Amaro e José Ferreira da Silva (Tio Zé), pela atenção e auxílio prestados sempre que solicitados.

A todos os funcionários da Estação Experimental Agronômica (EEA) pelo suporte sempre que necessário durante o período experimental. Em especial, para o Marcelo Porto Nicola, Ozébio Martins Lopes (“Bode”), José Franco Oliveira (“Zezinho”) e Vilson Adriano Wollmann.

Aos colegas dos Cursos de Mestrado e Doutorado do PPG Ciência do Solo da UFRGS durante o período de março/2014 a fevereiro/2018, pelos bons momentos de descontração vividos.

Agradeço os colegas do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo: Amanda Posselt Martins, Cezar Augusto Gama De Toni, Diego Cecagno, Fabrício Balerini, Fernanda Canez Marcon, Gabriel Furtado Garcia, João de Andrade Bonetti, José Bernardo Moraes Borin, Jacques Krticka Carvalho, Lucas Aquino Alves, Luiz Gustavo Denardin, Rafael Ramon, Tauana Ferreira de Almeida, Tiago Lima Ferreira e Yara Jurema Barros pelo convívio, pela amizade e auxílio na concretização deste trabalho.

Aos amigos do GPEP, em especial, Anderson Soares Pitiço, Cleist Luiz Ribeiro Nunes (*in memorian*), Gentil Félix Da Silva Neto, Jean Victor Savian, Radael Marinho Tres Schons, Ricardo Pereira Gonçalves e Rubens Cherubini Alves, pela amizade e os bons momentos durante a condução do experimento.

Agradeço os bolsistas de iniciação científica, Amanda Ruviano Palma, Bruna Possobon Soares, Carlos Lise, Deonilce Retka, Dionata Filippi, Júlia de Assis, Walker Schaidhauer, Sarah Hanauer Lochmann, João Cadore Winter, Helen Estima Lazzari, Rodrigo Lisboa, Thais Deon, Thaianes Jeske, Thaynam Sousa, Luciano Pinzon Brauwers, Mateus Westerhofer Goulart, Leonardo R Nunes e Tamara Kubiszewski, pelo auxílio nas atividades de laboratório e de campo. Vocês foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Aos colegas de Apt. 61, Alberto Bisognin, Altamir Mateus Bertollo, Omar Alejandro Bauernfeind (“Argentino”), José Bernardo Moraes Borin (“Gordo”), Filipe Bassan, Yuri Zaidan, Raul Ribeiro e Renan Floriano da Silva pela parceria e bons momentos vivenciados ao longo dos últimos 4 anos.

Agradeço com carinho à Patricia Migliorini, pelo amor, companheirismo e apoio incondicional ao longo da minha formação profissional.

A todos que sempre torceram e acreditaram em mim, mesmo distantes.

Muito obrigado meus amigos!!!

CICLAGEM E BALANÇO DE NUTRIENTES EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA E PECUÁRIA COM OVINOS¹

Autor: Eng. Agr. M.Sc. Fernando Arnuti

Orientador: Prof. Dr. Ibanor Anghinoni

RESUMO

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) surgem no cenário atual como alternativa sustentável de produção de alimentos (carne e grãos) em relação aos atuais modelos de produção agrícola. Embora a adoção deste modelo de produção represente um avanço na estabilidade e sustentabilidade dos agroecossistemas, ainda existem lacunas de conhecimento sobre o efeito de diferentes manejos da pastagem e das culturas de grãos sobre os atributos químicos do solo, biomassa radicular das plantas e ciclagem de nutrientes. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a dinâmica dos nutrientes no solo em SIPA com ovinos manejados em diferentes métodos de pastoreio e intensidades de pastejo no inverno em sucessão e rotação de culturas de soja e milho no verão. Assim, foram realizados cinco estudos, utilizando um experimento de longa duração que avalia dois métodos de pastoreio (contínuo e rotativo) e duas intensidades de pastejo (moderada e baixa), durante o período hibernar em pastagem de azevém. No verão, a área foi subdividida em dois sistemas de cultivos: monocultura (soja/soja) e rotação (soja/milho). O primeiro estudo avaliou a influência dos métodos de pastoreio, intensidade de pastejo e sistema de cultivo sobre os atributos químicos do solo. Nesse estudo, os sistemas de cultivo não afetaram os indicadores de acidez do solo (pH e saturação por bases e por alumínio) e os teores de cálcio, magnésio e potássio no solo. O segundo estudo avaliou a produção de biomassa de raízes de azevém, soja e milho em função da influência das intensidades de pastejo e sistemas de cultivo, sob pastoreio contínuo. Os resultados mostraram que a produção de biomassa das raízes de azevém, soja e milho no perfil do solo não foi afetada pelas intensidades de pastejo e sistemas de cultivo. O terceiro estudo investigou o impacto das intensidades de pastejo, sistemas de cultivo e época de amostragem dos esterco na ciclagem de fósforo e potássio do esterco dos ovinos. Nesse estudo, a dinâmica de decomposição e liberação fósforo e potássio dos esterco de ovinos não foi influenciada pela intensidade de pastejo animal. O quarto estudo, avaliou a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos vegetais em função da intensidade de pastejo e sistemas de cultivo. As maiores quantidades de fósforo e potássio são liberadas até trinta dias após a deposição dos resíduos na superfície do solo. O quinto estudo englobou todos os estudos anteriores e abordou o balanço de fósforo e potássio no solo influenciado pela intensidade de pastejo e sistema de cultivo sob pastoreio contínuo. O balanço do fósforo no solo indicou saldo positivo apenas na intensidade de pastejo baixa com rotação de culturas no verão, enquanto o balanço de potássio no solo evidenciou-se positivo para todos os tratamentos, sendo reflexo da maior ciclagem desse elemento pelos resíduos depositados na superfície do solo.

¹Tese 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. (158p.) Junho, 2018..

CYCLING AND BALANCE OF NUTRIENTS IN AN INTEGRATED SYSTEM OF AGRICULTURAL AND LIVESTOCK PRODUCTION WITH SHEEP¹

Author: Eng. Agr. M.Sc. Fernando Arnuti

Adviser: Prof. Dr. Ibanor Anghinoni

ABSTRACT

The integrated crop-livestock system (ILCS) appear in the current scenario as a sustainable alternative of food production (meat and grains) in relation to the current models of agricultural production. Although the adoption of this production model represents an advance in the stability and sustainability of agroecosystems, there are still gaps in knowledge about the effect of different management of grazing and grain crops on soil chemical attributes, plant biomass and nutrient cycling. In this context, the objective of this research was to evaluate the nutrient dynamics in the soil in ILCS with sheep managed in different grazing methods and grazing intensities in winter in succession and rotation of soybean and corn crops in the summer. Thus, five studies were carried out using a long-term experiment evaluating two methods of grazing (continuous and rotating) and two grazing intensities (moderate and low) during the winter period in ryegrass pasture. In the summer, the area was subdivided into two cropping systems: monoculture (soybean / soybean) and rotation (soybean / corn). The first study evaluated the influence of grazing methods, grazing intensity and cropping system on soil chemical attributes. In this study, the cropping systems did not affect the soil acidity indexes (pH and saturation by bases and by aluminum) and the levels of calcium, magnesium and potassium in the soil. The second study evaluated the biomass production of ryegrass, soybean and corn roots as a function of the influence of grazing intensities and cropping systems, under continuous grazing. The results showed that the biomass production of ryegrass and maize roots in the soil profile was not affected by grazing intensities and cropping systems. The third study investigated the impact of grazing intensities, cropping systems and sampling time of manure on the phosphorus and potassium cycling of sheep manure. In this study, the dynamics of phosphorus and potassium decomposition and release of sheep manures were not influenced by the intensity of animal grazing. The fourth study evaluated the dynamics of nutrient decomposition and release of plant residues as a function of grazing intensity and cropping systems. The highest amounts of phosphorus and potassium are released thirty days after the deposition of the residues on the soil surface. The fifth study encompassed all previous studies and addressed soil phosphorus and potassium balance influenced by grazing intensity and cropping system under continuous grazing. The phosphorus balance in the soil indicated a positive balance only in the low grazing intensity with crop rotation in the summer, while the potassium balance in the soil was positive for all treatments, being a reflection of the greater cycling of this element by the residues deposited on the surface from soil.

¹Doctoral Thesis in Soil Science. Graduate Program in Soil Science, Faculty of Agronomy, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre. (158p.) June, 2018.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - Introdução Geral.....	1
CAPÍTULO II - Revisão Bibliográfica	4
Importância e impactos da adoção dos sistemas integrados de produção agropecuária nas propriedades familiares	4
Ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária	7
A forragem no contexto dos sistemas integrados	10
Métodos de pastoreio e sua relação com a ciclagem de nutrientes.....	12
O animal no contexto dos sistemas integrados.....	13
A lavoura no contexto dos sistemas integrados.....	17
O solo no contexto dos sistemas integrados	19
Modelos de decomposição e liberação de nutrientes pelos resíduos de culturas e de animais	22
CAPÍTULO III - O protocolo sistemas integrados de produção ovinos-soja/milho	26
1. Histórico e caracterização da área.....	26
2. Tratamentos e delineamento experimental	27
3. Condução da fase pastagem	30
4. Condução da fase lavoura	31
CAPÍTULO IV - Atributos químicos do solo e rendimento de grãos em Sistema Integrado de Produção de Grãos e Ovinos.....	32
1. Introdução.....	32
2. Material e métodos	34
2.1 Tratamentos avaliados.....	34
2.2 Precipitação pluviométrica	34

2.3 Parâmetros de solo.....	34
2.4 Parâmetros de planta.....	35
2.5 Análise estatística dos dados.....	35
3. Resultados.....	37
3.1 Precipitação pluviométrica.....	37
3.2 Indicadores de acidez do solo.....	38
3.3 Disponibilidade de nutrientes no solo.....	40
3.4 Estado nutricional e rendimento de grãos das culturas de grãos.....	42
4. Discussão.....	44
4.1 Indicadores de acidez do solo.....	44
4.2 Disponibilidade de nutrientes no solo.....	45
4.3 Rendimento de grãos.....	46
5. Conclusões.....	47
CAPÍTULO V - Desenvolvimento radicular de plantas de azevém, soja e milho em Sistema Integrado de Produção de Grãos e Ovinos.....	49
1. Introdução.....	49
2. Material e métodos.....	51
2.1 Tratamentos avaliados.....	51
2.2 Amostragens e determinações.....	51
2.3 Atributos químicos do solo.....	52
2.4 Análise estatística.....	53
3. Resultados.....	54
3.1 Precipitação pluviométrica e acumulada.....	54
3.2 Atributos químicos do solo.....	55
3.3 Biomassa das raízes.....	57
4. Discussão.....	59
5. Conclusões.....	62
CAPÍTULO VI - Desenvolvimento de azevém em intensidade de pastejo afetando a composição e decomposição de esterco de ovinos em Sistema Integrado de Grãos.....	63
1. Introdução.....	63
2. Material e métodos.....	65
2.1 Amostragens e determinações.....	65
2.2 Análise estatística.....	66

2.3 Liberação de fósforo e potássio dos esterco dos ovinos ao longo do tempo	67
3. Resultados	69
3.1 Precipitação pluviométrica	69
3.2 Teores e quantidade de fósforo e potássio no esterco	70
3.3 Decomposição do esterco.....	72
3.4 Liberação de fósforo e potássio do esterco	74
4. Discussão	79
5. Conclusões	82

CAPÍTULO VII - Liberação de fósforo e potássio de resíduos da parte aérea de azevém, soja e milho em Sistema Integrado de Produção de Grãos e Ovinos83

1. Introdução	83
2. Material e métodos	85
2.1 Tratamentos avaliados.....	85
2.2 Amostragens e determinações	85
2.3 Modelos para a decomposição dos resíduos e liberação dos nutrientes	86
3. Resultados e discussão	87
3.1 Precipitação pluviométrica e acumulada.....	87
3.2 Teores de nutrientes nos resíduos vegetais	89
3.3 Decomposição dos resíduos vegetais	89
3.4 Ciclagem de fósforo	93
3.5 Ciclagem de potássio.....	98
4. Conclusões	101

CAPÍTULO VIII - Balanço de fósforo e potássio no solo em Sistema Integrado de Produção de Grãos e Ovinos102

1. Introdução	102
2. Material e métodos	104
2.1 Tratamentos avaliados.....	104
2.2 Avaliações efetuadas	105
2.3 Cálculo do balanço de nutrientes no solo	110
3. Resultados e Discussão	110
3.1 Produção de biomassa e acúmulo de fósforo e potássio nos resíduos	110
3.2 Balanço de fósforo no solo.....	114

3.3 Balanço de potássio no solo	117
4. Conclusões	119
CAPÍTULO IX - Conclusões e Considerações Finais	120
Referências Bibliográficas	121
Apêndice	137
Resumo Biográfico.....	137

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo na camada superficial (0-10 cm) antes da implementação na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS (março de 2003)	27
Tabela 2. Descrição dos métodos de pastoreio, intensidades de pastejo e área em cada uma das parcelas experimentais. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	28
Tabela 3. Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas plantas de soja e milho manejadas com métodos de pastoreio contínuo e rotativo e intensidade de pastejo moderada e baixa em integração com ovinos, no ano agrícola 2015/16	43
Tabela 4. Rendimento de grãos de soja e milho em função dos métodos de pastoreio e intensidades de pastejo e sistemas de cultivo em sistema de integração com ovinos nas safras agrícolas 2014/15 e 2015/16	43
Tabela 5. Produção de matéria seca de raízes de azevém em função de diferentes intensidades de pastejo e sistema de cultivo no período hibernar do ano de 2014 em sistema integrado com ovinos.....	57
Tabela 6. Produção de matéria seca de raízes de soja em função de diferentes intensidades de pastejo e sistema de cultivo na safra 2014/15 em sistema integrado com ovinos.....	58
Tabela 7. Produção de biomassa de raízes de soja no sistema de cultivo monocultura e milho no sistema de cultivo rotação na safra 2015/16 em função da intensidade de pastejo e camada de solo em sistema integrado com ovinos.....	58
Tabela 8. Teores de fósforo e potássio no esterco em diferentes épocas de decomposição e anos de avaliação em sistema integrado de produção de grãos e ovinos.....	71
Tabela 9. Caracterização química do esterco em diferentes épocas de decomposição e anos de avaliação em sistema integrado de produção de grãos e ovinos.....	71
Tabela 10. Parâmetros do modelo exponencial duplo com as taxas de decomposição do esterco dos ovinos, influenciados pelas épocas de decomposição e anos de avaliação em sistema integrado de produção de	

grãos e ovinos.....	74
Tabela 11. Parâmetros do modelo exponencial duplo com as taxas de liberação do fósforo do esterco em diferentes épocas de decomposição e anos de avaliação em sistema integrado de produção de grãos e ovinos.....	76
Tabela 12. Parâmetros do modelo exponencial simples com as taxas de liberação do potássio do esterco em diferentes épocas de decomposição e anos de avaliação 2015 (a) e 2016 (b) em sistema integrado de produção de grãos e ovinos.....	78
Tabela 13. Teores de fósforo e potássio dos resíduos vegetais do componente pastagem e lavoura colocados nos sacos de decomposição em sistema integrado de produção de grãos e ovinos de corte.....	89
Tabela 14. Tempo de meia vida ($t^{1/2}$) necessário para decomposição de 50% dos resíduos em sistema integrado com ovinos	90
Tabela 15. Parâmetros do modelo exponencial duplo ajustados aos valores de fósforo remanescente nos resíduos de azevém em sistema integrado de produção de grãos e ovinos.....	93
Tabela 16. Parâmetros de modelo exponencial simples ajustado aos valores de fósforo dos resíduos de soja e milho em sistema integrado de produção de grãos e ovinos.....	95
Tabela 17. Parâmetros de modelo exponencial simples ajustado aos valores de potássio dos resíduos de azevém em sistema integrado de produção de grãos e ovinos de corte.....	98
Tabela 18. Parâmetros de modelo exponencial simples ajustados aos valores de potássio dos resíduos de culturas de grãos em sistema integrado de produção de grãos e ovinos de corte.....	99
Tabela 19. Modelos de liberação de fósforo (P) e potássio (K) dos resíduos nos compartimentos pastagem, animal e lavoura em sistema integrado com ovinos	107
Tabela 20. Balanço de fósforo nos tratamentos manejados com diferentes intensidades de pastejo em sistemas integrado com ovinos	115
Tabela 21. Balanço de potássio nos tratamentos manejados com diferentes intensidades de pastejo e sistemas de cultivo em sistema integrado com ovinos	118

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição do número de estabelecimentos, área, pessoal ocupado e valor da produção da agropecuária da agricultura familiar e não familiar no Rio Grande do Sul, 2006. (adaptado de Feix & Leusin (2015).....	5
Figura 2. Rendimento de grãos (a) e área de cultivo de milho e soja (b) no estado do Rio Grande do Sul ao longo do tempo. (EMATER/RS (2016).....	6
Figura 3. Modelo conceitual da ciclagem de nutrientes em sistema integrado de produção agropecuária com ovinos.....	9
Figura 4. Padrões de crescimento de espécies forrageiras de estação fria e quente. OBS: Linha contínua representa o azevém anual. (Adaptado de Nelson & Moser (1994).....	11
Figura 5. Perfil da distribuição das raízes de azevém anual (<i>Lolium multiflorum</i> Lam) conforme Gregory (2006).....	12
Figura 6. Ilustração das consequências da baixa e alta taxa de lotação sobre o particionamento de energia ($\text{kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) entre a produção vegetal e utilização de forragem pelos ovinos em pastejo contínuo, conforme Briske et al., (2008).....	16
Figura 7. Variação da arquitetura radicular do milho e da soja no perfil do solo.....	18
Figura 8. Variação nas taxas de perda de massa de diferentes classes de compostos de carbono em resíduos vegetais na superfície do solo. (Adaptado de Smith & Smith (2011).....	21
Figura 9. Representação das funções matemáticas quanto a decomposição de resíduos na superfície do solo ao longo do tempo. (Adaptado de Berg & McLaugherty (2008).....	24
Figura 10. Croqui da área experimental e disposição das unidades experimentais (parcelas). No verão as unidades experimentais são subdivididas em monocultura (soja/soja) e rotação (soja/milho). EEA/UFRGS. Eldorado do Sul, RS.....	29

Figura 11. Precipitação diária e acumulada na área experimental durante o crescimento das culturas de soja e milho nas safras agrícolas 2014/15 (a) e 2015/16 (b). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	37
Figura 12. Valores de pH do solo (a), saturação por bases (b) e saturação por alumínio (c) em função do desdobramento de métodos de pastoreio e intensidades de pastejo dentro de cada profundidade de solo em sistema integrado de produção soja-milho e ovinos. * Significativo: $p < 0,05$; ns=não significativo. MB: muito baixo; M: médio; A: alto de acordo com a CQFS-RS/SC (2016).....	39
Figura 13. CTC efetiva (a) e potencial (b) no perfil do solo em função dos métodos de pastoreio, intensidades de pastejo em sistema integrado de produção soja-milho e ovinos. * Significativo: $p < 0,05$; ns=não significativo. B: baixo; M: médio de acordo com a CQFS-RS/SC (2016).	40
Figura 14. Cálcio (a) e magnésio (b) trocável e potássio (c,d) e fósforo (e) disponível no perfil do solo em função dos métodos de pastoreio, intensidades de pastejo em sistema integrado de produção soja-milho e ovinos. * Significativo: $p < 0,05$; ns=não significativo. B: baixo; M: médio; A: alto e MA: muito alto de acordo com a CQFS-RS/SC (2016).	41
Figura 15. Esquema de amostragem de solo e raízes do azevém, da soja e do milho por meio do método monólito.	52
Figura 16. Precipitação pluviométrica diária e acumulada ao longo do ciclo do pastejo no período hibernal (a) do ano de 2014, na safra agrícola 2014/15 (b) e na safra agrícola 2015/16 (c) em sistema integrado de produção de grãos com ovinos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.	54
Figura 17. Valores de pH (a), alumínio trocável (b), fósforo disponível (c), potássio disponível (d) e cálcio trocável (e) no perfil do solo em função os métodos e intensidades de pastejo em sistema integrado de produção de grãos e ovinos. Letras minúsculas distinguem-se em profundidades na média dos tratamentos (método e intensidade), a barra indica DMS comparando intensidade em cada profundidade; ns: não significativo, * significativo pelo teste de <i>Tukey</i> ($p < 0,05$).	56
Figura 18. Distribuição bidimensional da matéria seca das raízes ($Mg\ ha^{-1}$) para as culturas azevém (a, b, c, d), soja (e, f, g, h, i, j) e milho (l, m) em função das intensidades de pastejo (moderada e baixa) e sistema de cultivo (monocultura e rotação) no perfil do solo. ⁽¹⁾ Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação.	59
Figura 19. Esquema do início e término do ciclo de pastejo, amostragem dos esterco e alocação dos sacos de decomposição (<i>litter bags</i>) nas unidades experimentais em diferentes anos do sistema ovinos em pastejo no período hibernal em sistema integrado com ovinos.	66

Figura 20. Precipitação pluviométrica acumulada (mm) para cada época de avaliação da decomposição e liberação de nutrientes do esterco dos ovinos nos anos de 2015 (a) e 2016 (b) em sistema integrado de produção de grãos e ovinos .	70
Figura 21. Matéria seca remanescente dos resíduos de esterco ovino em diferentes épocas de decomposição e anos de avaliação 2015 (a) e 2016 (b) em sistema integração de produção de grãos e ovinos.	73
Figura 22. Liberação de fósforo do esterco em diferentes épocas de decomposição e anos de avaliação 2015 (a) e 2016 (b) em sistema integrado de produção de grãos e ovinos.	75
Figura 23. Liberação de potássio do esterco em diferentes épocas de decomposição e anos de avaliação 2015 (a) e 2016 (b) em sistema integrado de produção de grãos e ovinos.	77
Figura 24. Fração de fósforo (a) e potássio (b) ciclada e remanescente após período de avaliação nos diferentes anos em sistema integrado de produção de grãos e ovinos.	78
Figura 25. Precipitação pluviométrica diária e acumulada após a deposição dos sacos de decomposição na fase pastagem (a,b) e lavoura (c,d) em sistema integrado de grãos e ovinos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.	88
Figura 26. Quantidade remanescente de matéria seca dos resíduos da fase pastagem (azevém) e lavoura (caule, folha e vagem de soja e planta inteira do milho) ao longo do tempo em sistema integrado com ovinos. Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação.	91
Figura 27. Quantidade de fósforo liberado dos resíduos do pasto e dos cultivos de grãos em diferentes períodos após a distribuição dos sacos de decomposição em sistema integrado de grãos e ovinos de corte. Mod/Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai/Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod/Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai/Rot, intensidade baixa com rotação.	97
Figura 28. Quantidade de potássio liberado dos resíduos do pasto e dos cultivos de grãos em diferentes períodos após a distribuição dos sacos de decomposição em sistema integrado de produção de grãos e ovinos de corte. Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação.	100
Figura 29. Esquema dos manejos realizados antes da primeira e segunda amostragem de solo em sistema de produção de grãos e ovinos de corte.	105

Figura 30. Biomassa, fósforo e potássio disponibilizado pelos resíduos das plantas e animais ao longo do tempo em sistema de produção de grãos e ovinos de corte. ⁽¹⁾ Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação. 113

Figura 31. Teores de fósforo (a, c) e potássio (b,d) disponível no perfil do solo no início (novembro de 2014) e final (novembro de 2016) em sistema de grãos e ovinos. B: baixo; M: médio; A: alto e MA: muito alto conforme CQFS-RS/SC (2016). ⁽¹⁾ Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação. 116

RELAÇÃO DE APÊNDICES

Apêndice 1. Rendimentos de grãos observado durante a execução do protocolo.....	138
--	-----

CAPÍTULO I - Introdução Geral

A produção de alimentos (*commodities* agrícolas) vem se destacando na economia brasileira nas últimas décadas, visto que grande parte desses produtos são destinados à exportação. Diante desse cenário, o agronegócio brasileiro está sendo reconhecido no mundo como atividade moderna, próspera, rentável, competitiva e de magnitude que evidencia o país como um celeiro alimentar para o futuro. Tal arranjo produtivo só se tornou possível devido às excelentes cotações dos produtos agrícolas no mercado internacional, principalmente para a soja.

No Rio Grande do Sul (RS), o domínio dessa oleaginosa nos estabelecimentos rurais passou a influenciar fortemente a economia do Estado. O resultado disso, é o predomínio da soja em 85% das propriedades familiares e 15% corresponde a propriedades não familiares. A contribuição das propriedades familiares em termos de quantidade produzida e área colhida, representa aproximadamente 40% do total do RS. Já o tamanho médio dos estabelecimentos rurais é de 14 ha na agricultura familiar e 134 ha nas propriedades não familiares (Zanon et al., 2010). Apesar dos avanços nos últimos anos em área e em produtividade, o modelo produtivista especializado utilizado vem sofrendo forte influência da intensidade e frequência das chuvas no período de desenvolvimento dessa cultura, que ocorre entre novembro e março (Matzenauer et al., 2002). O impacto, são oscilações de produtividade e frustrações, que no período de 1978 a 2015, foi estimado em 35% das perdas de soja, em razão de estiagens no Estado, o que evidencia o elevado risco dessa cultura (EMATER/RS, 2016). Este cenário é ainda agravado pelo baixo interesse dos produtores rurais em cultivar grãos hibernais, como o trigo, que também apresenta alto risco de frustração de safra, além do baixo retorno econômico

historicamente apresentado, sobretudo no RS (Pereira et al., 2007). O resultado desse modelo produtivista é uma agricultura de alto risco operacional, baseada na monocultura, baixa diversificação, alto aporte de insumos e pouco comprometida com os impactos ambientais. Surge, então, a necessidade de se encontrar sistemas de produção de alimentos que viabilizem o desenvolvimento econômico, sem comprometer a sustentabilidade das propriedades rurais.

Assim, na região sul do Brasil, os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) que correspondem a interações planejadas em diferentes escalas espaço-temporais abrangendo a exploração de cultivos agrícolas e produção animal na mesma área vêm despertando o interesse entre produtores rurais, técnicos e pesquisadores (Moraes et al. 2014). Nesse sistema, o emprego da ovinocultura de corte e lã pode ser uma alternativa para aumentar a eficiência de utilização da terra, bem como obter uma renda adicional no período da entressafra (inverno) em regiões nas quais predomina a agricultura familiar. Atualmente, o RS é o principal produtor de ovinos do país, possuindo 3,9 milhões de cabeças em 46 mil propriedades cadastradas, o que representa 23% do rebanho nacional (Silva et al., 2013).

Diante desse contexto, os SIPA podem atuar na redução de risco do negócio, pela diversificação das atividades agropecuárias nas pequenas propriedades rurais (Martha Junior et al., 2011). Além dessa diversificação da atividade com a inserção do animal no período hibernar, outro fator primordial para a maior sustentabilidade desse sistema é a diversificação de culturas de grãos no verão. Baseado nisso, o arranjo das espécies, no tempo e no espaço, com a alternância de culturas de diferentes famílias é uma questão chave no desenvolvimento de sistemas de produção agrícolas mais sustentáveis. Logo, a diversidade da comunidade vegetal é o ponto essencial para estimular o sistema solo nos seus vários níveis hierárquicos, pela influência direta que as plantas exercem sobre os componentes do solo e suas complexas interações (Vezzani & Mielniczuk, 2011). Nesse ambiente de solo diversificado biológica, física e quimicamente, a ciclagem biogeoquímica dos nutrientes é, segundo esses autores, favorecida, aumentando o aproveitamento dos mesmos no sistema e diminuindo a perda.

Nesta perspectiva, o solo pode ser considerado como o compartimento centralizador dos processos, é aquele que captura o sentido (+

ou -) das modificações no sistema (Carvalho, et al., 2010). Enquanto os cultivos se sucedem, tanto quanto a presença dos animais, o solo (“memória”) é o único elemento a permanecer convergindo as alterações do sistema ao longo prazo. Assim, a disponibilização de nutrientes para as plantas nesses sistemas de produção está diretamente ligada à sua disponibilidade no solo e à velocidade de liberação dos seus resíduos (vegetais e animais) que se encontram sobre o solo (Ferreira et al., 2011). Além disso, a presença do animal no sistema modifica as taxas e os fluxos, atuando como catalisador dos processos sistêmicos, reciclando o material orgânico e determinando a dinâmica dos nutrientes entre os compartimentos do sistema (Anghinoni et al., 2013). Atualmente há um considerável interesse em entender os fatores que controlam a ciclagem de nutrientes em um SIPA, uma vez que a partir deste entendimento é possível otimizar a sua disponibilização para suprir a demanda da cultura sucessora.

Diante do exposto, propõe-se avaliar a dinâmica de nutrientes, a decomposição dos resíduos e a ciclagem de nutrientes em sistema integrado com ovinos de corte manejados em diferentes intensidades e métodos de pastoreio no inverno em sucessão e rotação de culturas de soja e milho no verão num sistema consolidado.

CAPÍTULO II - Revisão Bibliográfica

Importância e impactos da adoção dos Sistemas Integrados de Produção Agropecuária nas propriedades familiares

A agricultura familiar¹ vem ocupando um espaço de maior relevância nos últimos anos no estado do Rio Grande do Sul (RS), conforme demonstra a Figura 1. Constata-se que a maioria (86%) dos estabelecimentos são de produtores familiares que ocupam apenas 30% na área total do Estado (IBGE, 2006). Contudo, contrário do que é comumente divulgado, parte da agricultura familiar maneja sistemas produtivos modernos de soja e milho, pois utilizam intensivamente os insumos químicos e sementes geneticamente modificadas a custos elevados de manutenção de equipamentos e instalações (Marmilicz, 2013). Esse modelo produtivista especializado tem proporcionado resultados negativos nas culturas de verão no Sul do Brasil (EMATER/RS, 2016). No período de 1978 a 2015 ocorreram 13 frustrações de safras agrícolas em consequência da estiagem para as culturas da soja e milho (Figura 2a). Tal cenário, demonstra a importância de se buscar atividades produtivas sustentáveis para esses estabelecimentos que precisam obter mais rentabilidade em menores espaços de área.

Portanto, a evolução dessa agricultura necessariamente passa pela retomada da adoção de sistemas multifuncionais, tais como os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), que são planejados para explorar

¹ De acordo com a Lei Federal nº 11.326, a agricultura familiar é observada nas unidades produtivas que reúnem as seguintes características: a área do estabelecimento ou empreendimento rural não excede quatro módulos fiscais, a mão de obra utilizada nas atividades econômicas desenvolvidas é predominantemente da própria família, a renda familiar é predominantemente originada das atividades vinculadas ao próprio estabelecimento e o estabelecimento ou empreendimento é dirigido pela família.

sinergismos e propriedades emergentes de interações nos compartimentos solo-planta-animal-atmosfera (Carvalho & Moraes, 2011). A diversificação das atividades nas propriedades agrícolas é fundamental para uma agricultura eficiente, produtiva e estável (Cassol, 2003). Para isto, são necessários a busca e o aprimoramento de sistemas que ofereçam alternativas de renda para produtores de grãos, no período da entressafra, e que diminuam sua dependência das culturas de verão (Carassai et al., 2011).

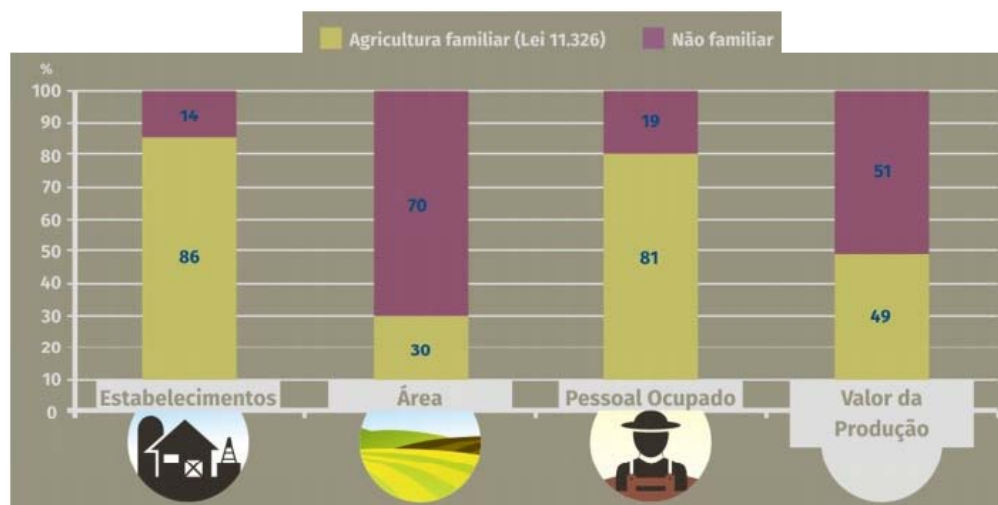


Figura 1. Distribuição do número de estabelecimentos, área, pessoal ocupado e valor da produção da agropecuária da agricultura familiar e não familiar no Rio Grande do Sul, 2006 (adaptado de Feix & Leusin (2015)).

Neste cenário, a ovinocultura tem um potencial latente para alicerçar o desenvolvimento sustentável nas pequenas propriedades rurais, por ser uma atividade que, se bem estruturada, pode ser desenvolvida tanto em grandes propriedades como em propriedades familiares pela baixa necessidade de capital inicial e pela grande capacidade dessa espécie animal em se adaptar a diversos agroecossistemas (Pérez et al., 2008; Macari et al., 2011). O estado do RS é o maior produtor do país, tendo 23 % da população de ovinos (IBGE, 2006), tratando-se de uma atividade que vem em crescente retomada de demanda e lucratividade (Ávila et al., 2013). Essa expansão da ovinocultura se deve à descoberta de que essa criação, ao ser comparada com as demais espécies, garante maior rentabilidade ao produtor, especialmente no que se refere ao custo de produção (SEBRAE, 2003).

Além da diversificação da atividade com a inserção do animal no período hibernal, outro fator primordial para a maior sustentabilidade do sistema

de produção nas pequenas propriedades rurais é a diversificação de culturas de verão. O milho é uma cultura presente em 60 % das propriedades familiares do RS e grande parte dos produtores a utilizam para a alimentação dos animais (pasto verde, silagem e grãos), além dos grãos representarem uma fonte de renda ao agricultor. Essa cultura é típica de pequenas propriedades rurais no RS, visto que 91 % dessas propriedades possuem menos de 50 hectares (FEPAGRO, 2011). Assim, o cultivo do milho se constitui numa excelente opção num esquema de rotação em pequenas propriedades rurais, pois, a alternância de culturas de diferentes famílias botânicas a serem contempladas no planejamento do sistema de rotação de culturas deve atender, além dos objetivos técnicos preconizados, a maximização das oportunidades de comercialização dos produtos (Fiorin, 2007). Contudo, a viabilidade do milho é frequentemente questionada, por ser considerada uma cultura de alto risco (Fiorin, 2007). Este fato tem ocasionado nos últimos anos, uma redução de área cultivada em relação à soja (Figura 2b). Esta retração de área cultivada, se deve à sua menor liquidez e rentabilidade em relação à soja.

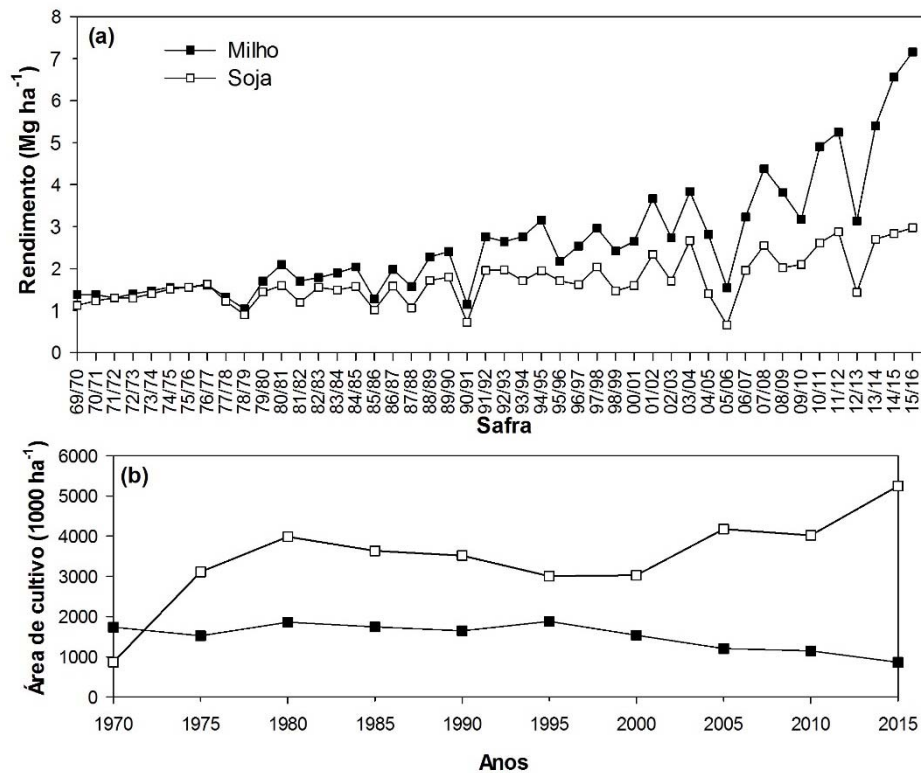


Figura 2. Rendimento de grãos (a) e área de cultivo de milho e soja (b) no estado do Rio Grande do Sul ao longo do tempo. (EMATER/RS (2016)).

Considerando os aspectos abordados, fica visível a capacidade dos SIPA em promover potenciais benefícios agronômicos, socioeconômicos e ambientais na agricultura. Pelo prisma agronômico, permitem concluir que os ovinos podem trazer benefícios para o controle de plantas daninhas (Walker et al., 1992; Hatfield et al., 2007a), bem como a redução de insetos pragas (Hatfield et al., 2007b) e reaproveitamento dos nutrientes dos resíduos por sua ciclagem de nutrientes (Ryan et al., 2008). Segundo Hatfield et al. (2007c), os ovinos podem ser incorporados em SIPA sem nenhum impacto negativo sobre atributos físicos e químicos do solo, além da possibilidade de, em longo prazo, aumentar o estoque de nitrogênio e da matéria orgânica do solo.

Do ponto de vista econômico, os SIPA podem atuar na redução de risco do negócio, pela diversificação das atividades agropecuárias na propriedade rural (Martha Júnior et al., 2011). Além desse efeito, a rotação de culturas pode contribuir positivamente para a redução de risco, pela menor variabilidade da produtividade entre anos e pelo aumento na produtividade ou redução dos custos unitários de produção (Helmers et al., 2001). Além dos aspectos positivos da adoção do SIPA, a migração de sistemas especializados para sistemas mistos, mais complexos, demanda maior capacidade gerencial, equipes especializadas e mais investimento e infraestrutura (Vilela et al., 2011).

Ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária

A ciclagem dos nutrientes é apresentada como processo fundamental para caracterizar os SIPA. Ela constitui o movimento (fluxo) dos nutrientes entre os diversos compartimentos (atmosfera-planta-animal-solo) do sistema, em uma série de processos nos respectivos ciclos biogeoquímicos (Anghinoni et al., 2011).

O movimento dos nutrientes em um ecossistema pode ser abordado envolvendo três ciclos que interagem entre si que, em conjunto, compreendem o fenômeno da ciclagem de nutrientes: o *ciclo geoquímico*, o *ciclo biogeoquímico* e o *ciclo bioquímico* (Kimmins, 2004). No *ciclo geoquímico* ou aberto contabilizam-se as entradas e saídas de nutrientes entre ecossistemas. As entradas são devidas aos nutrientes oriundos da adição atmosférica, das

precipitações, do intemperismo das rochas e também do uso de fertilizantes. As saídas, por outro lado, são representadas pelas perdas por erosão superficial, lixiviação, volatilização e pela remoção de nutrientes pela colheita de grãos e pela exportação de carne e lã. O *ciclo biogeoquímico* enfoca as relações de troca de nutrientes estabelecidas entre os organismos e o meio dentro do ecossistema. A transferência de nutrientes envolvendo a biota e o meio físico inicia-se por sua absorção do solo pelos organismos autotróficos e termina com o seu retorno via resíduos animais e vegetais (Cunha et al., 2015). O *ciclo bioquímico* por sua vez, abrange a redistribuição de elementos químicos dentro dos organismos. A ciclagem bioquímica consiste em processos de transferência que ocorrem internamente em plantas e são importantes como forma de aumentar a eficiência de uso de nutrientes. Alguns nutrientes como o nitrogênio (N) e o fósforo (P) são translocados de tecidos mais velhos para tecidos mais jovens, ainda em desenvolvimento, constituindo-se em uma estratégia para adaptação de plantas em ambientes mais pobres em nutrientes (Cunha et al., 2015).

Os primeiros estudos envolvendo ciclagem de nutrientes foram realizados em ecossistemas florestais buscando compreender como esses sistemas se mantêm em substratos, às vezes, pobres na oferta de nutrientes (Nye, 1961; Ovington, 1962; Golley et al., 1975). Nesse sentido, esses estudos construíram a base do entendimento do processo de ciclagem de nutrientes em agrossistemas, de forma que o modelo pode ser aplicado nos mais diferentes tipos de sistemas de produção. Contudo, em um SIPA, a dinâmica da ciclagem de nutrientes assume aspectos diferentes daqueles que ocorrem em sistemas florestais, pela razão básica de que a entrada do animal no sistema modifica as taxas e os fluxos, atuando como catalisador dos processos (Anghinoni et al., 2013). Para o entendimento do ciclo dos nutrientes em um SIPA, em plantio direto, é imprescindível compreender como os nutrientes dentro desse sistema podem circular entre os vários compartimentos, ou seja, do solo para a planta, para o animal, para a atmosfera e, novamente, voltar para o solo (Figura 3).

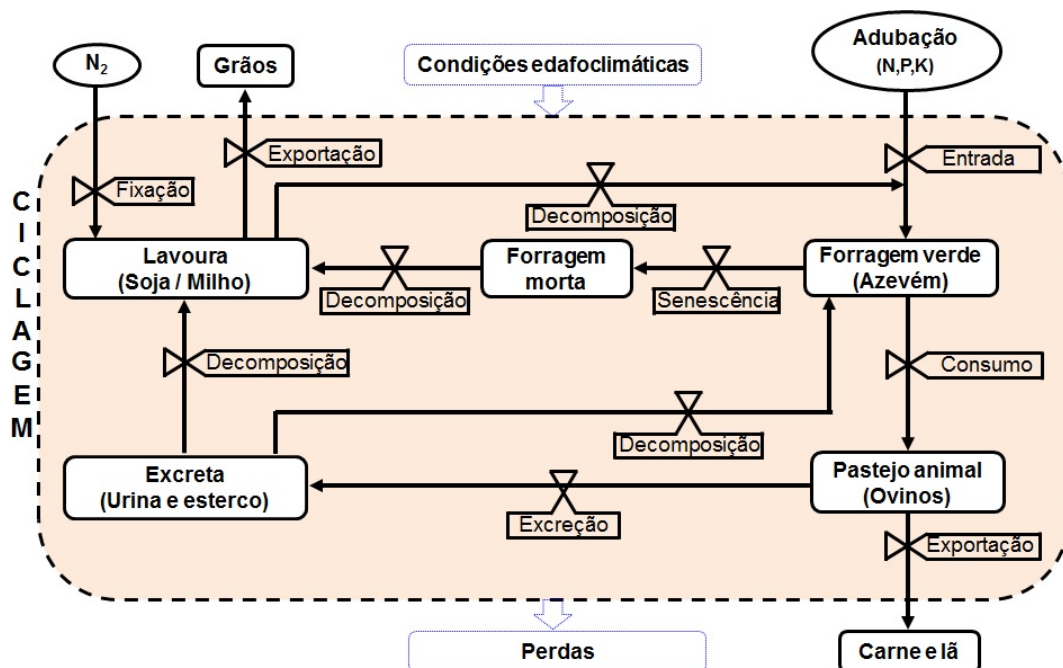


Figura 3. Modelo conceitual da ciclagem de nutrientes em sistema integrado de produção agropecuária com ovinos.

Essa sequência de transferências, através de uma série de compartimentos, representa a forma mais simples de reciclagem de nutrientes (Borkert et al., 2003). Na prática, embora existam diversos sistemas naturais controlados pelo homem, há muito mais compartimentos e transferências envolvidos na ciclagem que as indicadas num sistema simplificado (Spain & Salinas, 1985). Na reciclagem de nutrientes, muitos ciclos são policíclicos, o que significa que um elemento pode circular mediante vários processos, dentro de um compartimento (solo) antes de ser transferido ao próximo compartimento (planta). O tempo para que um nutriente complete um ciclo varia de minutos, em transferências que envolvem microrganismos: meses, para absorção e crescimento das plantas em cultivos anuais, a anos, para o consumo e crescimento de animais, e até a milhares e milhões de anos, para as transferências que envolvem ambiente físico, atmosfera, terra, mar e formação de rochas (Newbould, 1978).

A forragem no contexto dos sistemas integrados

Na Região Sul do Brasil as forrageiras de clima temperado são de grande relevância para os SIPA, tanto no que tange a cobertura de solo como no suprimento para os rebanhos durante os meses de inverno. Dentre as gramíneas, o azevém anual (*Lolium multiflorum Lam*) é considerado como a mais importante forrageira para o contexto agropecuário do Sul do Brasil.

O azevém é da família Poaceae e apresenta metabolismo fotossintético de ciclo C3 (Floss, 1988). É uma gramínea de alta qualidade forrageira com elevados teores de proteína e se caracteriza por hábito cespitoso, com sistema radicular fasciculado. Seu porte chega até 1,20 m, e alcança, em média, 0,75 m de estatura (Fontaneli et al., 2012). Em SIPA, a opção pelo azevém como forrageira de inverno é bastante difundida, pois o pastejo pode se estender até meados de novembro, dependendo do cultivar. Além disso, o azevém têm a capacidade de garantir seu retorno no ano seguinte, via ressemeadura espontânea, desde que manejado adequadamente, com redução de gastos para aquisição de sementes (Lunardi, 2005). Outro aspecto a ser destacado do azevém é o início do estabelecimento nas entrelinhas das culturas de verão (soja e milho) via ressemeadura natural antes mesmo da colheita dessas culturas (Silva et al., 2011). Essa característica possibilita um maior aproveitamento dos nutrientes dos resíduos em decomposição, principalmente as folhas da soja que senescem após a maturação fisiológica. Esse sistema de produção se assemelha ao *sistema planta-colhe-planta*, que constitui no diferencial na busca da melhoria da qualidade do solo e sustentabilidade do sistema de produção.

Como mencionado anteriormente, o azevém desaparece no verão, pois conclui seu ciclo vegetativo na ocorrência de dias longos e temperaturas altas (Figura 4). Mesmo assim, o tempo de pastejo dessa gramínea é considerado longo, podendo variar de 60 a 180 dias (Fontaneli et al., 2012). Em relação às condições de solo, essa forrageira tem se mostrado pouco exigente, perpetuando em uma ampla gama de textura de solos, desde argilosos a arenosos e apresenta expressivo crescimento em solos com pH variando de 5,5 a 7,5 (Roman, 2006).

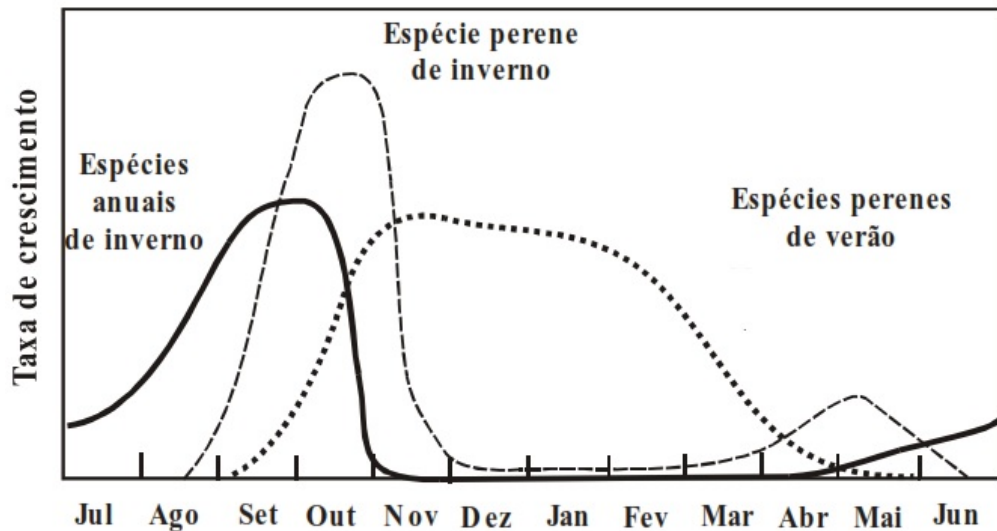


Figura 4. Padrões de crescimento de espécies forrageiras de estação fria e quente. OBS: Linha contínua representa o azevém anual. (Adaptado de Nelson & Moser (1994).

O sistema radicular tem sido utilizado como ponto de entendimento e explicação para a produtividade das pastagens levando em consideração suas características morfológicas como distribuição em diferentes camadas do solo, seu peso, volume, comprimento específico e área superficial (Corsi et al., 2001). As raízes não são responsáveis apenas pela absorção de água e nutrientes que irão garantir o aporte nutricional necessário para o desenvolvimento da parte aérea (Eissenstat & Yanai, 1997), mas também são fundamentais para o acúmulo de reservas de energia fotoassimilada pelas folhas (Haven et al., 1996). Assim, o desenvolvimento do sistema radicular está relacionado com o ambiente em que a planta está inserida, onde fatores como: o ciclo de desenvolvimento da cultura que determina maior taxa de crescimento durante a fase vegetativa (Floss, 2011), a disponibilidade hídrica (Frank, 2007), a disponibilidade de nutrientes (Cecato et al., 2001) e a intensidade com que as folhas são removidas (Morvan-Bertrand et al., 1999) podem resultar em benefícios ou prejuízos ao desenvolvimento das raízes.

Deve-se ressaltar também que plantas com sistema radicular fasciculado (Figura 5) se mostram hábeis em explorar grande volume de solo, especialmente nas camadas superficiais, mesmo em casos em que a fertilidade do solo não atinge patamares desejáveis, o que proporciona a essas espécies vantagem no aproveitamento de adubações a longo prazo em relação às leguminosas (Cerreta et al., 2007). Embora as concentrações dos diversos nutrientes sejam

mais baixas nas raízes do que na parte aérea, em um ecossistema agrícola a principal contribuição das raízes é o armazenamento de carbono abaixo do solo (Gregory, 2006). Isto se deve à menor taxa de decomposição do carbono radicular quando comparado ao da parte aérea (Balesdent & Balabane, 1996). Rasse et al. (2005), analisando os resultados de vários trabalhos, estimaram que o carbono originado das raízes permanece no solo 2,4 vezes mais do que o carbono derivado da parte aérea por sua maior estabilidade.

A maioria dos estudos sobre pastagens presta atenção na resposta acima do solo. No entanto, como foi relatado, o pastejo afeta os processos abaixo do solo mais do que os processos acima do solo. Diante deste contexto, a remoção da parte aérea, por meio do pastejo, dificulta a mensuração do sistema radicular, visto que, o constante surgimento de novas raízes e morte de raízes velhas impedem a obtenção de valores absolutos (Wildung et al., 1975; Seastedt, 1988).

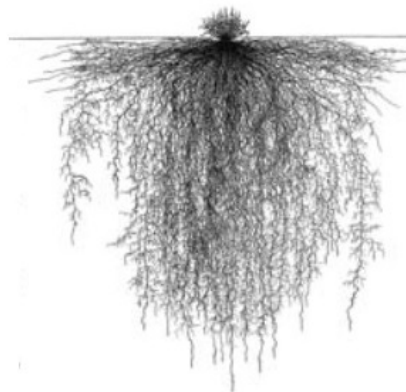


Figura 5. Perfil da distribuição das raízes de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam) conforme Gregory (2006).

Métodos de pastoreio e sua relação com a ciclagem de nutrientes

Diversos são os métodos de pastoreio que podem ser empregados, sendo os métodos de pastoreio contínuo e o rotativo os mais utilizados. O pastoreio contínuo é caracterizado pela permanência dos animais na pastagem durante todo o ciclo, propiciando maior capacidade de seleção de estruturas de pastos de melhor qualidade e não apresenta restrição de deslocamento dentro

da área de pastejo. Já a pastoreio rotativo é caracterizado pela permanência alternada dos animais em áreas restritas do pasto por curtos períodos de ocupação, seguido por um período de descanso (Pedreira, 2013). Neste pastoreio, há uma elevada lotação instantânea nas subdivisões das parcelas, onde os animais, realizam, desfolhas severas com poucas sobras de resíduos pós-pastejo e com restrição da seletividade do pasto (Pedreira, 2013). Uma vantagem do pastoreio rotativo é que ele evita o acúmulo excessivo de material senescente e o desenvolvimento de áreas de rejeição com alto conteúdo de material morto (Nabinger, 1997). Logo, a escolha do método de pastoreio implica no padrão de distribuição no qual os nutrientes são retornados para o solo.

Diante disso, no pastoreio rotativo há uma redução na tendência natural dos animais em se agruparem próximos a bebedouros e sombras e, conseqüentemente, há uma melhor distribuição das excretas na área pastoreada da parcela. Em decorrência disto, pode ocorrer um melhor aproveitamento dos nutrientes pelas forrageiras com conseqüente aumento da eficiência da ciclagem (Crespo & Gonzalez, 1983). Por outro lado, no pastoreio contínuo, a distribuição das fezes na área ocupada pelos animais não é uniforme, ocorrendo uma concentração em áreas onde os animais permanecem por mais tempo, como próximo aos bebedouros, cercas, porteiras e cochos de sal. Pode-se, assim, afirmar que a deposição de elevadas concentrações de nutrientes nesses locais, por esse método de pastoreio, ocasiona quase sempre disponibilidade acima da capacidade de absorção das plantas, proporcionando elevadas perdas de nutrientes principalmente por lixiviação e volatilização (Haynes & Willians, 1993).

Quanto ao desempenho animal, Briske et al. (2008) avaliaram uma série de estudos e concluíram que 57 % dos experimentos não demonstram diferenças no desempenho dos animais entre os métodos de pastoreio contínuo e rotativo com similar taxa de lotação e 36 % reportam maior produção por animal para a lotação contínua.

O animal no contexto dos sistemas integrados

A escolha do componente animal nos SIPA é definida em função da realidade do produtor, o qual pode utilizar animais de pequeno, médio e grande porte (galinhas, ovinos, caprinos, bovinos de corte e/ou leite, búfalos). De

maneira geral, no Sul do Brasil, há o predomínio da utilização de ovinos e bovinos nos SIPA, tendo os ruminantes um papel importante na sustentabilidade dos sistemas agrícolas nessa região. O rumem serve como “tonel” (8 a 10 litros nos ovinos), contendo a enzima microbiana celulase, a única que é capaz de digerir o composto mais abundante da planta, a celulose (Oltjen & Beckett, 1996). Assim, os animais em pastejo aceleram a taxa de mineralização dos nutrientes (passagem da forma orgânica para a mineral), devido a diminuição do tamanho das partículas vegetais através da mastigação e ruminação e, em consequência disso, a ciclagem de nutrientes é acelerada (Russelle, 1997).

Desta forma, o animal vai participar direta e indiretamente na ciclagem de nutrientes dos agroecossistemas de pastagem. De forma direta, a presença de animais proporciona um aumento na taxa que os nutrientes são reciclados, porque os animais utilizam, para o ganho de peso, apenas uma pequena proporção de cada um dos nutrientes que consomem, e aqueles que não são utilizados, são devolvidos ao solo na forma de esterco e urina (Whitehead, 2000). A excreta dos animais retorna para o solo durante o pastoreio, enriquecendo de nutrientes, melhorando a qualidade do solo e aumentando o rendimento das culturas (Franzluebbers & Stuedemann, 2008; Tracy & Zhang, 2008; Maughan et al., 2009). De forma indireta, pela ingestão da forragem, os animais estimulam o crescimento das plantas pastejadas e, assim, as levam a absorver mais nutrientes do solo (Cantarutti et al., 2001).

De maneira geral, os ovinos urinam de 15 a 20 vezes por dia, equivalente a um volume total de 1,7 a 3,6 litros, com uma área de atuação de 0,06 a 0,15 m² (Haynes & Williams, 1993). Segundo Niu et al. (2009), as concentrações de P e K no solo são maiores nas áreas pastejadas com ovinos do que as não pastejadas, devido aos excrementos de animais. Conforme esses autores, a maior parte do Ca e do P são excretados nas fezes (> 95 %), o K é principalmente excretado pela urina (70 a 90 %), enquanto que N é particionado mais uniformemente entre fezes (20 a 55 %) e na urina (45 a 80 %). Além disso, o peso de uma única defecação do ovino pode variar entre 6 e 57 g de matéria seca (Whitehead, 2000). Para Mathews & Sollenberger (1996), os animais depositam suas fezes em maior proporção nas áreas onde passam a noite ou onde ruminam durante o dia, enquanto a urina é excretada mais nas áreas onde pastejam.

Quanto às formas das fezes dos ovinos, elas podem estar na forma de bloco de esterco (área de superfície baixa) ou bolinhas (área de superfície elevada), dependendo do teor de água e o teor de carboidratos estruturais que contém na dieta (Rowarthia et al., 1985; Haynes & Williams, 1993). A distribuição de fezes e urina pelos animais durante o pastoreio na superfície do solo é irregular, mas pode ser mais uniforme com ovelhas do que o gado (Abaye et al., 1997). A decomposição de fezes depende dos seus constituintes químicos, que é influenciada pela qualidade da forragem consumida (Shand & Coutts, 2006). Além disso, a taxa de decomposição das fezes dos ovinos não depende só da vegetação consumida pelos ovinos, mas também do tipo de pasto em que elas são submetidas (Williams & Warren, 2004).

As fezes dos ovinos podem secar no campo, resultando na formação de superfícies hidrofóbicas, possivelmente pelo rearranjo estrutural das macromoléculas, reduzindo os efeitos da precipitação (Shand & Coutts, 2006). A decomposição do esterco ocorre mais rapidamente em condições de umidade e, é acelerada, pela presença de fauna do solo, como minhocas e besouros. O efeito da fauna do solo em enterrar o esterco e fragmentá-lo se reflete em um maior reaproveitamento dos nutrientes pela pastagem (Whitehead, 2000). Precipitação após a deposição de esterco também aumenta a sua taxa de decomposição. Em geral, as taxas de fragmentação e decomposição são maiores para esterco de ovelha do que para esterco de bovinos, como demonstrado na Nova Zelândia, em que o esterco de ovelha na primavera permaneceu visível na superfície do pasto por apenas algumas semanas, enquanto que esterco de bovino permaneceu por cerca de 12 meses (Whitehead, 2000).

Há um consenso geral de que uma vez formada a forragem no SIPA, apenas dois processos podem ocorrer numa situação de pastejo: consumo ou senescência. Nos SIPA, a senescência da forragem e as excreções são as duas principais formas de retorno para o solo dos nutrientes absorvidos pelas plantas forrageiras (Thomas & Asakawa, 1993). Sob esta condição, a principal variável definidora do sucesso ou insucesso de sistemas integrados é a taxa de lotação empregada (Figura 6), por seus efeitos diretos e indiretos sobre a quantidade de forragem e de nutrientes que ciclam no sistema (Carvalho et al., 2005).

Diante disso, em SIPA manejados com baixa lotação animal, a ciclagem de nutrientes pelos resíduos da forrageira (mantilho) assume uma maior importância. Já em sistemas de manejo mais intensos, há um menor acúmulo de mantilho e, proporcionalmente, a importância do retorno de nutrientes pelas fezes e urina aumentam (Thomas & Asakawa, 1993). Parsons et al. (1983) demonstraram essa relação em uma pastagem de azevém perene utilizada com ovinos (Figura 6). Duas intensidades de pastejo foram testadas: baixa pressão de pastejo (24 ovinos ha⁻¹) e alta pressão de pastejo (47 ovinos ha⁻¹) mantendo um índice de área foliar (IAF) de 3 e 1, respectivamente. Em quantidades elevadas de forragem (300 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de carbono fixados), uma proporção relativamente pequena dessa produção (23 %) é colhida pelos animais, sendo que a maioria (77 %) das folhas senescem e se decompõem sem serem consumidas. Por outro lado, o consumo de forragem pelos ovinos foi maior no pastejo mais intenso e, conseqüentemente, as perdas por senescência foram menores (50 %). Deve-se ressaltar que a lotação mais pesada é mais efetiva em aproveitar a forragem: contudo, no presente exemplo não existe uma lotação intermediária (“bom pastejo”). Além disto, alta ingestão de forragem por hectare não significa alta produção animal (eficiência de utilização), pois o consumo individual pode ser demasiadamente baixo. Este é um grande dilema do manejo de pastagens, pois aumentar a intensidade de pastejo, visando reduzir perdas por senescência, penaliza o índice de área foliar e o crescimento da pastagem (Carvalho et al., 2002).

Outro aspecto negativo da adoção de uma alta intensidade de pastejo (maior carga animal) é a redução da cobertura vegetal e o aumento do tempo de pastejo e do deslocamento dos animais na busca de forragem (Carvalho et al., 2005). Esta maximização do pisoteio animal, potencializa a compactação do solo, podendo ser agravada quando o solo está com umidade acima do seu limite de friabilidade (Anghinoni et al., 2013).

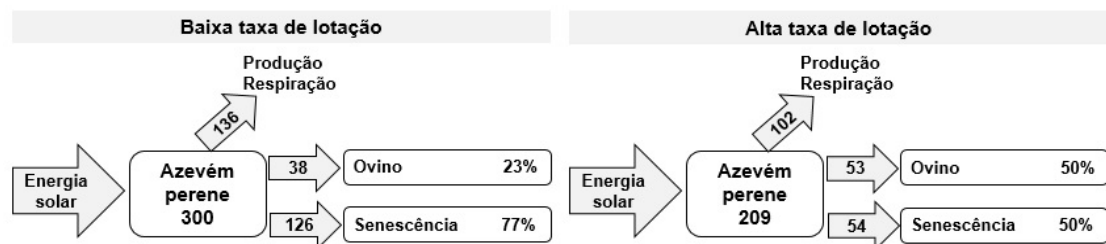


Figura 6. Ilustração das conseqüências da baixa e alta taxa de lotação sobre o particionamento de energia (kg C ha⁻¹ dia⁻¹) entre produção vegetal e utilização de forragem pelos ovinos em pastejo contínuo, conforme Briske et al. (2008).

A lavoura no contexto dos sistemas integrados

Inicialmente, é importante considerar que a fase lavoura não tem papel de destaque em um SIPA, mas sim, o sistema integrado em sua totalidade, sem privilegiar um ou outro componente (lavoura ou pecuária). Assim, o importante é a produtividade global do somatório de rendimentos de todos os componentes envolvidos (Anghinoni et al., 2013). Diante disso, as ações dos SIPA no ambiente subtropical brasileiro têm se desenvolvido, segundo Moraes et al. (2002), a partir de duas realidades distintas: em *região tipicamente agrícola* e em *região tipicamente pecuária*. No RS, tem-se privilegiado a tipicamente agrícola, onde há existência de milhões de hectares que ficam em pousio no inverno ou, mais frequentemente, que permanecem com cobertura vegetal, visando à produção de palha para as lavouras de verão (Carvalho et al., 2015).

Nesta abordagem, a lavoura no contexto dos SIPA com ovinos é assim apresentada: a primeira, em um sistema que envolve cultivo agrícola em monocultura e com animais (“pouca diversidade”) e a segunda em um cultivo agrícola em rotação e com animais (“maior diversidade”), ambas em semeadura direta. No sistema que apresenta “pouca diversidade” (monocultivo de soja), a inclusão de espécie leguminosa pode significar redução do fertilizante nitrogenado para a fase pastagem, uma vez que a leguminosa pode proporcionar aumentos significativos do nitrogênio disponível no solo (Martha Júnior et al., 2010). Além disso, quando a soja é cultivada após pastagem pastejada, os efeitos benéficos tendem a ser mais pronunciados, pois, geralmente, a pastagem se desenvolve por um maior espaço de tempo, emitindo maior volume de raízes (Salton & Tomazi, 2014). Isto proporcionará um maior comprimento de raízes de soja, maior volume explorado de solo e, conseqüentemente, uma maior disposição de nutrientes e maior oferta de água, fator fundamental para enfrentar os veranicos no Sul do Brasil.

Por outro lado, no sistema com maior diversidade (rotação soja/milho) no aspecto rotação de culturas permite a utilização de espécies vegetais caracterizadas por sistemas radiculares capazes de atingir diferentes profundidades (Figura 7), o que proporciona o aproveitamento de nutrientes armazenados em diferentes camadas no perfil do solo (Franchini et al., 2011). Assim, a rotação de culturas possibilita a combinação e/ou alternância de plantas com diferentes exigências nutricionais e habilidades na absorção de nutrientes. Desta forma, nutrientes que não são absorvidos por uma determinada planta, seja por sua localização em camadas abaixo da zona de ação do sistema radicular, seja pela baixa eficiência de absorção, podem ser aproveitados por outras espécies vegetais e, a partir da decomposição da palhada, tornarem-se disponíveis (Borkert et al., 2003). Ademais, o milho é uma planta com alta eficiência fotossintética (C4), produzindo quantidades de matéria seca de parte aérea e raiz maiores do que a soja (Venzke Filho et al., 2004).



Figura 7. Variação da arquitetura radicular do milho e da soja no perfil do solo.

Quanto à quantidade de palhada necessária para o cultivo das lavouras após o pastejo de inverno, tem-se observado que é mais importante a quantidade de biomassa produzida pela pastagem ao longo de seu período vegetativo do que a verificada no final do ciclo (Balbino et al., 2011). Na região do Planalto do RS, em um protocolo de longa duração com bovinos, quantidades de 1,5 a 5,6 Mg de matéria seca de biomassa aérea por hectare, no momento

da dessecação, não modificam o padrão da resposta na produtividade de soja (Kunrath et al., 2015a).

No tocante ao rendimento de grãos, há resultados de pesquisa que comprovam que, quando os SIPA são conduzidos seguindo seus fundamentos, a produção é igual ou superior a sistemas de produção que não tem a inserção do animal. Fontaneli et al. (2000), conduzindo experimento em SIPA durante seis anos, com cultivares convencionais de soja, no Planalto do RS, não observaram diferença no rendimento de grãos de soja após pastagem de aveia preta e soja após pastagem de aveia preta + ervilhaca. Assmann et al. (2003) observaram que o pastejo de aveia branca e azevém no inverno não afetou o desempenho do milho semeado em sucessão, comparativamente às áreas não pastejadas em um sistema de plantio direto. Lunardi et al. (2008) verificaram que a soja cultivada após pastagem de inverno apresentou rendimento de grãos superior à soja cultivada após cobertura do solo, sem pastejo. Sartor (2012) observou o mesmo rendimento de grãos de milho, em torno de 10 Mg ha⁻¹, obtido pela adição de 225 kg ha⁻¹ de N, quer sido aplicada na fase pastagem com ovinos ou no estabelecimento da cultura de verão. Moraes et al. (2014) revisaram 23 trabalhos no subtropical brasileiro, que mostraram que o rendimento de grãos (soja, milho, feijão e trigo) de áreas de rotação com cobertura pastejada foi superior a áreas de cobertura não pastejadas. Kunrath et al. (2015), estudando sistemas de produção com pastagens de aveia preta e azevém, no inverno, e cultivo de soja, no verão, em protocolo de longa duração, verificaram que as intensidades de pastejo não influenciaram no rendimento de grãos de soja na maioria das safras.

O solo no contexto dos sistemas integrados

O solo é um *habitat* extremamente peculiar com relação a outros habitats terrestres, em vista de sua natureza heterogênea complexa e dinâmica. Além disso, o solo é o receptáculo final dos resíduos de origem vegetal e animal. Desta forma, é considerado o principal compartimento a acolher os vários processos sinérgicos do SIPA, enquanto os diferentes componentes vegetais incorporam nutrientes e energia, e os animais funcionam como catalizadores ao introduzirem variabilidade e novas vias de fluxo de nutrientes e água, sendo o compartimento centralizador (memória) dos processos (Anghinoni et al., 2013).

Como já mencionado, o animal em pastejo desempenha de modo eficiente a mineralização dos nutrientes no rúmen, contudo, é no solo que essa função se coloca em posição de destaque entre os demais componentes, devido à atuação dos organismos do solo. A função de destaque da fauna do solo na transformação dos resíduos vegetais e animais é devido à redução do tamanho dos resíduos (vegetais e animais), à separação dos componentes dos resíduos, à mistura dos componentes orgânicos e inorgânicos, à formação e manutenção dos poros do solo e à regulação e dispersão da microflora no solo (Silva & Mendonça, 2007). Essa capacidade de transformação dos resíduos se deve à diversidade de organismos presentes no solo, que podem ser classificados quanto ao seu tamanho em *microfauna* (4 μ m e 100 μ m), *mesofauna* (100 e 2 mm), *macrofauna* (2 e 20 mm) e *megafauna* (>20 mm) (Correia & Andrade, 2008). Apesar das incontáveis formas e tamanhos dos organismos que habitam o solo, sua atividade decompositora é dominada pelos organismos microscópicos (fungos, bactérias e microfauna), considerados consumidores primários (Moreira & Siqueira, 2006). Por isso, são considerados os principais componentes da biota do solo responsáveis pela decomposição. A decomposição é a quebra do material orgânico particulado, geralmente na forma de polímeros em materiais solúveis que são absorvidos pelas células microbianas. A decomposição dos resíduos culturais, normalmente, apresenta uma fase inicial rápida (Figura 8), correspondente à decomposição dos compostos mais lábeis, seguida de uma fase mais lenta em que são decompostos os constituintes mais recalcitrantes (Moreira & Siqueira, 2006).

A ação desses mecanismos, em sistemas agrícolas, ao longo do tempo cria um gradiente de decomposição, em que os resíduos recém incorporados na superfície do solo apresentam pouca transformação, enquanto os mais antigos se caracterizam por um alto grau de modificação estrutural e química (Correia & Andrade, 2008). Portanto, vários compostos orgânicos sintetizados pelos vegetais durante a fotossíntese são de natureza química distinta e apresentam diferentes velocidades de decomposição. Assim, compostos orgânicos solúveis em água, como os aminoácidos livres, ácidos orgânicos e açúcares, são prontamente disponíveis à decomposição microbiana pela maioria dos microrganismos do solo (Wolf & Wagner, 2005). Por outro lado, a celulose e a hemicelulose são carboidratos com maior complexidade estrutural,

insolúveis em água e precisam ser convertidos em unidades de tamanho menor, via sistemas enzimáticos extracelulares especializados, para serem utilizados pela microbiota (Wolf & Wagner, 2005). Por fim, a lignina é o mais recalcitrante (resistente à decomposição) de todos os compostos químicos produzidos a partir da fotossíntese vegetal. A lignina, por ser uma macromolécula, só pode entrar na célula microbiana após a ação enzimática que a decompõe e produz compostos aromáticos simples capazes de serem absorvidos (Moreira & Siqueira, 2006). Contudo, outros fatores influenciam a taxa de decomposição dos resíduos, como o contato solo/resíduo, o regime hídrico, a adição de N inorgânico, a temperatura do solo, a relação C/N e a concentração de N no tecido vegetal (Acosta et al., 2014). Diante disso, qualquer intervenção na dinâmica desse processo pode modificar a disponibilidade de nutrientes oriundos da decomposição dos resíduos (vegetais e animais).

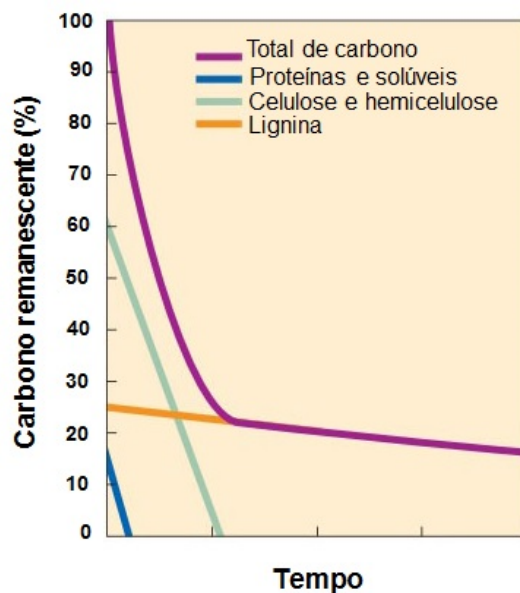


Figura 8. Variação nas taxas de perda de massa de diferentes classes de compostos de carbono em resíduos vegetais na superfície do solo. (adaptado de Smith & Smith (2011)).

Os nutrientes liberados nesses processos poderão ser imobilizados pelos organismos e utilizados na síntese de novos compostos orgânicos, ou mineralizados e liberados para a solução do solo e, assim, absorvidos pelas plantas (Silva & Mendonça, 2007). A velocidade de liberação é diferente para cada nutriente; enquanto o potássio dos restos vegetais é liberado rapidamente e quase totalmente retornado ao solo em forma disponível ainda durante a fase

inicial da cultura subsequente (Giacomini et al., 2003), o cálcio, o magnésio, o fósforo e o nitrogênio demoram mais tempo para serem disponibilizados. Esse efeito se dá em função da forma com que o potássio se apresenta no interior do tecido vegetal, ou seja, na forma iônica não associada aos componentes estruturais das plantas (Marschner, 1995). Assim, diferentemente do que ocorre com os demais nutrientes, a liberação de potássio dos resíduos vegetais não depende da decomposição pelos microrganismos do solo. Logo, a transferência de potássio dos resíduos vegetais para o solo depende fundamentalmente da quantidade de chuva após a morte dos tecidos (Benites et al., 2010). Em síntese, considerando os inúmeros fatores que interferem na fertilidade do solo em um SIPA, a análise química do solo, muitas vezes, é um procedimento questionado quando o solo é submetido a esse manejo conservacionista (Anghinoni, 2007). Isto, por que há um grande aporte de nutrientes resultante da decomposição dos resíduos vegetais e animais na superfície do solo. Na prática, o grande aporte de potássio resultante da ciclagem é normalmente negligenciado tanto pelos técnicos como produtores rurais (Borkert et al., 2003).

Diante desse contexto, a adoção do *bom pastejo* no SIPA no período hibernar, associado à não mobilização do solo e à rotação de culturas de grãos no verão (sistema plantio direto), contribuirá, de forma significativa ao longo do tempo para um aumento nos fluxos de nutrientes no solo. Isto prova que o uso intenso do solo tanto para a atividade agrícola como pecuária não necessariamente redundam em sua degradação, como tem sido apregoado (Goedert & Oliveira, 2007). Mas, ao contrário, a adoção do SIPA contribui no aumento na eficiência da produção de alimentos por unidade de nutriente circulante, característica típica de sistemas que promovem a intensificação sustentável (Carvalho, et al., 2015).

Modelos de decomposição e liberação de nutrientes pelos resíduos de culturas e de animais

A decomposição de resíduos influencia fortemente o ciclo dos nutrientes nos agroecossistemas. Portanto, estimar uma correta taxa de decomposição é crucial para compreender os processos biogeoquímicos. A decomposição de resíduos em ecossistemas agrícolas é comumente estudada

usando o método dos *sacos de decomposição (litter bags)*, que consiste no confinamento de resíduos dentro de sacos telados de malha inerte com tamanho de malha variável (Wider & Lang, 1982; Aita & Giacomini, 2003). Normalmente, a perda de massa é determinada a partir de uma quantidade inicial conhecida de resíduo, geralmente incubada na superfície do solo. Inicialmente, um grande número de sacos de decomposição é colocado no campo e, em cada data de amostragem subsequente, um conjunto escolhido aleatoriamente desses sacos é coletado e analisado para a avaliação de perda de massa e alteração na composição química do resíduo. Segundo Vanlauwe et al. (1997), esta técnica apresenta como vantagens a sua simplicidade, boa repetibilidade e a não descaracterização dos resíduos.

O método dos sacos de decomposição é muitas vezes atribuído a Bocock & Gilbert (1957) ou a Bocock et al. (1960) entretanto, o princípio de confinar quantidades conhecidas de resíduos, a fim de acompanhar a sua decomposição tinha sido utilizado muito antes (Falconer et al., 1933). Atualmente, esse método é o mais comumente utilizado para quantificar a decomposição de resíduos em agroecossistemas agrícolas. Contudo, ele apresenta alguns “ruídos”, como o confinamento dos resíduos em sacos pode alterar o microclima, o contato solo-resíduo e, dependendo da malha utilizada, pode excluir algumas classes da fauna decompositora (Vanlauwe et al. 1997). Embora esta técnica subestime a decomposição real, presume-se que o resultado dos estudos em sacos de decomposição irá refletir tendências características dos resíduos em decomposição não confinados e, como tal, permite comparações entre as espécies, locais e manipulações experimentais (Wider & Lang, 1982).

Existem várias funções matemáticas (Figura 9) que podem ser utilizadas para descrever o processo de perda de massa dos resíduos (Kutsch et al., 2010). Alguns estudos têm mostrado que essa perda pode ser ajustada a modelos lineares (Bertol et al., 2004; Crusciol et al., 2005; Crusciol et al., 2008), quadráticos (Pal & Broadbent, 1974) ou exponenciais (Wider & Lang, 1982; Aita & Giacomini, 2003). O modelo linear considera que a taxa de decomposição absoluta é constante ao longo da decomposição, enquanto a velocidade de decomposição aumenta com o tempo relativo, suposições que são difíceis de justificar biologicamente (Wider & Lang, 1982). Assim como o modelo linear, o

modelo quadrático também apresenta comportamento claramente irrealista no que respeita à biologia da decomposição dos resíduos. Dos modelos citados, os mais realistas em termos de comportamento, tanto matemático como biológico, são os modelos exponenciais. Em geral, os resíduos em decomposição perdem massa quando se deterioram e os modelos exponenciais negativos muitas vezes são usados para descrever esse padrão (Wider & Lang, 1982).

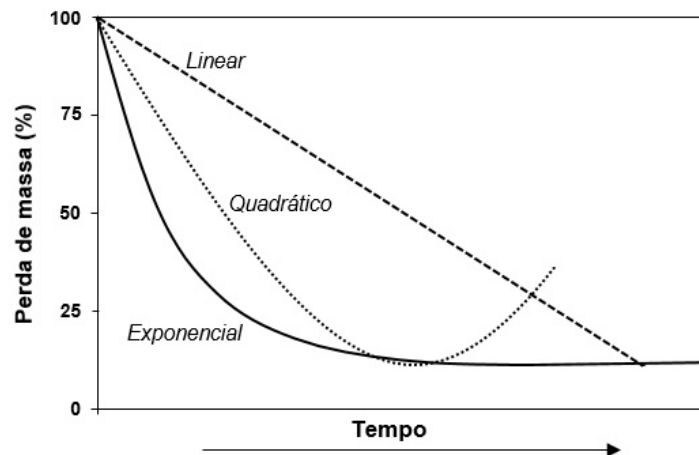


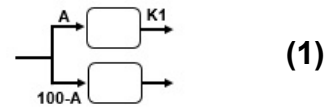
Figura 9. Representação das funções matemáticas quanto a decomposição de resíduos na superfície do solo ao longo do tempo (adaptado de Berg & McClaugherty, 2008).

O uso dos modelos exponenciais é bastante difundido nos trabalhos de pesquisa, onde são utilizados para estimar as taxas (constantes) de decomposição e de liberação dos nutrientes dos resíduos (vegetais e animais). Dentre os modelos exponenciais, pode-se destacar o modelo assintótico (modelo não linear) e o modelo exponencial duplo. Em ambos os modelos, se considera que a dinâmica de decomposição dos resíduos é determinada pela natureza de seus constituintes, assim denominados de compartimento lábil (A) e compartimento recalcitrante ($100-A$). No modelo exponencial assintótico (Eq. 1), a transformação dos resíduos é realizada apenas no compartimento lábil (A), diminuindo exponencialmente com o tempo, a uma taxa constante (k_1). O compartimento recalcitrante não sofre transformação no período considerado (Wieder & Lang, 1982).

Por outro lado, no modelo exponencial duplo (Eq. 2), os resíduos e os nutrientes dos dois compartimentos diminuem exponencialmente em taxas constantes, com a primeira fração transformada em taxas mais elevadas (k_1) que a segunda (k_2), que é de mais difícil decomposição. O compartimento lábil (A)

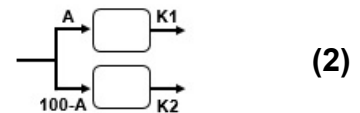
corresponde à parte mais facilmente decomponível da fitomassa (Aita & Giacomini, 2003) e os resíduos com maior magnitude desse compartimento apresentam maior taxa de decomposição. Já o compartimento recalcitrante (100-A) é formado por compostos orgânicos de mais difícil decomposição, como, por exemplo, lignina e polifenóis, e condicionam uma menor taxa de decomposição. Deve-se destacar que o modelo exponencial duplo não considera nenhuma possibilidade de transformação do material lábil para o recalcitrante, como pode ocorrer na síntese de biomassa microbiana durante a decomposição (Wieder & Lang, 1982).

$$\text{MSR} (\%) = A \cdot \exp(-k_1 \cdot t) + (100-A)$$



(1)

$$\text{MSR} (\%) = A \cdot \exp(-k_1 \cdot t) + (100-A) \cdot \exp(-k_2 \cdot t)$$



(2)

em que: MSR: porcentagem de matéria seca remanescente; k_1 : constante de decomposição do compartimento mais facilmente decomponível (A); k_2 : constante de decomposição do compartimento mais recalcitrante (100-A); t : tempo, em dias.

CAPÍTULO III - O protocolo Sistemas Integrados de Produção ovinos-soja/milho

1. Histórico e caracterização da área

Os dados apresentados nesta tese foram obtidos em protocolo de longa duração em Sistemas Integrados de Produção Ovinos-soja/milho, estabelecido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), no município de Eldorado do Sul (coordenadas geográficas 30°05'22" S e 51°39'08" W, com 46 m de altitude), situado na Depressão Central do Rio Grande do Sul. O clima da região é subtropical úmido (Cfa), conforme a classificação climática de Köppen e, o solo está classificado como um Plintossolo Argilúvico Distrófico típico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Streck et al., 2008).

A área precedente à instalação do atual experimento vinha sendo utilizada em experimentos com pastagem (Moraes, 1991; Pontes, 2001; Silveira, 2001; Castro, 2002; Freitas, 2003). No inverno de 2003, iniciou-se a implantação do presente experimento sobre outro que avaliou o efeito de doses de nitrogênio (25, 100, 175 e 325 kg de N ha⁻¹) em pastoreio contínuo com ovinos em azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.). Assim, a fim de eliminar os efeitos das diferentes doses de nitrogênio, os fatores métodos de pastoreio e intensidades de pastejo deste trabalho foram bloqueados (Lunardi, 2005; Barbosa, 2006). Na sua implantação foi realizada uma amostragem do solo, na camada de 0 a 10 cm, cujos resultados constam na Tabela 1. No período que antecedeu a semeadura do azevém foi realizada a aplicação superficial de 1,0 Mg ha⁻¹ de calcário (16/04/2003) em toda a área experimental (CQFS-RS/SC, 1995). Ao final do primeiro ciclo de pastejo, foi realizada a implantação da cultura da soja

[*Glycine max* (L.) Merrill] em área total (safra agrícola 2003/04). Posteriormente, na safra agrícola 2005/06 realizou-se uma subdivisão dos tratamentos (intensidade e método) sendo metade da área cultivada em monocultura (soja/soja) e outra metade cultivada em rotação (soja/milho - *Zea mays* L.).

Tabela 1. Atributos químicos do solo na camada superficial (0-10 cm) antes da implementação na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS (março de 2003)

Blocos	pH (H ₂ O)	Argila ----- % -----	MO -----	Cátions trocáveis			H+Al -----	P -- mg dm ⁻³ --	K --
				Ca -----	Mg -----	Al -----			
Bloco I	5,3	21	2,7	2,1	1,2	0,3	3,0	13	149
Bloco II	5,4	17	2,9	2,4	1,2	0,2	2,7	15	138
Bloco III	5,2	21	3,0	2,0	1,2	0,4	3,3	13	125
Bloco IV	5,2	17	2,9	2,0	1,2	0,4	3,3	13	128
Média	5,3	19	2,9	2,1	1,2	0,3	3,1	14	135

pH em água (relação 1:1); argila (método da pipeta); MO: matéria orgânica; cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; H+Al: determinado indiretamente com solução SMP; fósforo (P) e potássio (K) extraídos com solução Mehlich 1, conforme Lunardi (2005).

2. Tratamentos e delineamento experimental

Para a presente tese, foi utilizado o período de 2014 a 2016 de coleta de dados, constituindo de dois ciclos completos das fases pastagem e culturas comerciais. O experimento vem sendo conduzido desde 2005 seguindo um delineamento de blocos casualizados, em um esquema fatorial (2 x 2 x 2 x 4), correspondendo a dois métodos de pastoreio (contínuo e rotativo), duas intensidades de pastejo (moderada e baixa) e dois sistemas de cultivo (monocultura - soja/soja e rotação - soja/milho), distribuídos nos quatro blocos. A área total do experimento é de aproximadamente 4,6 hectares, correspondendo a 16 unidades experimentais (parcelas) cuja área individual varia de 2.280 a 4.027 m² (Tabela 2). Além dessas, uma unidade experimental (2.159 m²) foi isolada do pastejo (área de referência), representando o sistema de plantio direto com vegetação usada apenas para cobertura vegetal (Figura 10).

Tabela 2. Descrição dos métodos de pastoreio, intensidades de pastejo e área em cada uma das parcelas experimentais. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS

Método de pastoreio	Intensidade de pastejo	Parcela	Bloco	Área (m²)
Contínuo	5,0 (Baixa)	15	1	3.183
		12	2	2.710
		2	3	2.719
		16	4	4.027
Contínuo	2,5 (Moderada)	5	1	2.473
		4	2	2.774
		1	3	2.700
		8	4	2.734
Rotativo	5,0 (Baixa)	14	1	2.280
		7	2	2.685
		11	3	2.582
		13	4	2.566
Rotativo	2,5 (Moderada)	9	1	2.651
		6	2	2.451
		10	3	2.671
		3	4	2.732
Sem pastejo		-	1	2.159
TOTAL				46.097

Na fase pastagem, os métodos de pastoreio avaliados foram o contínuo e o rotativo. No pastoreio contínuo, os animais permanecem nas unidades experimentais durante todo o ciclo de pastejo, sem restrição de área pastejada. No pastoreio rotativo, as unidades experimentais são divididas em diversas unidades menores (faixas), sendo que os animais circulam nas diferentes subdivisões em um ritmo dependente da definição do ciclo de pastejo empregado (tempo de ocupação + tempo de descanso). Assim, para a definição do ciclo de pastejo empregado, foi utilizado o critério de tempo de duração de vida da folha (DVF) para o azevém anual (Pontes et al., 2003). Conforme esses autores, o tempo de duração de vida da folha é de 500 graus-dia por folha (soma térmica), em agosto, e 410 graus-dia, de setembro a novembro. Esses valores são divididos pelas médias de temperatura de agosto a novembro, tendo-se utilizado as médias climatológicas do período 1970 a 2000, registradas na EEA/UFRGS (Bergamaschi et al., 2013). Em decorrência do fator tempo de duração de vida da folha, o ciclo do pastoreio rotativo é variável ao longo do experimento, resultando em quatro ciclos de pastejo. Assim, como o período de ocupação da pastagem pelos cordeiros é prefixado em três dias, são necessárias diferentes subdivisões de cercas elétricas ao longo do ciclo. Logo, o tamanho

dessas subdivisões é determinado pela divisão do comprimento da unidade experimental pelo número de dias do ciclo de pastejo. Deve-se ressaltar que o período de ajuste de carga para o pastoreio contínuo é o mesmo utilizado para o pastoreio rotativo, por ser necessário buscar ofertas de forragem próximas para os dois métodos.

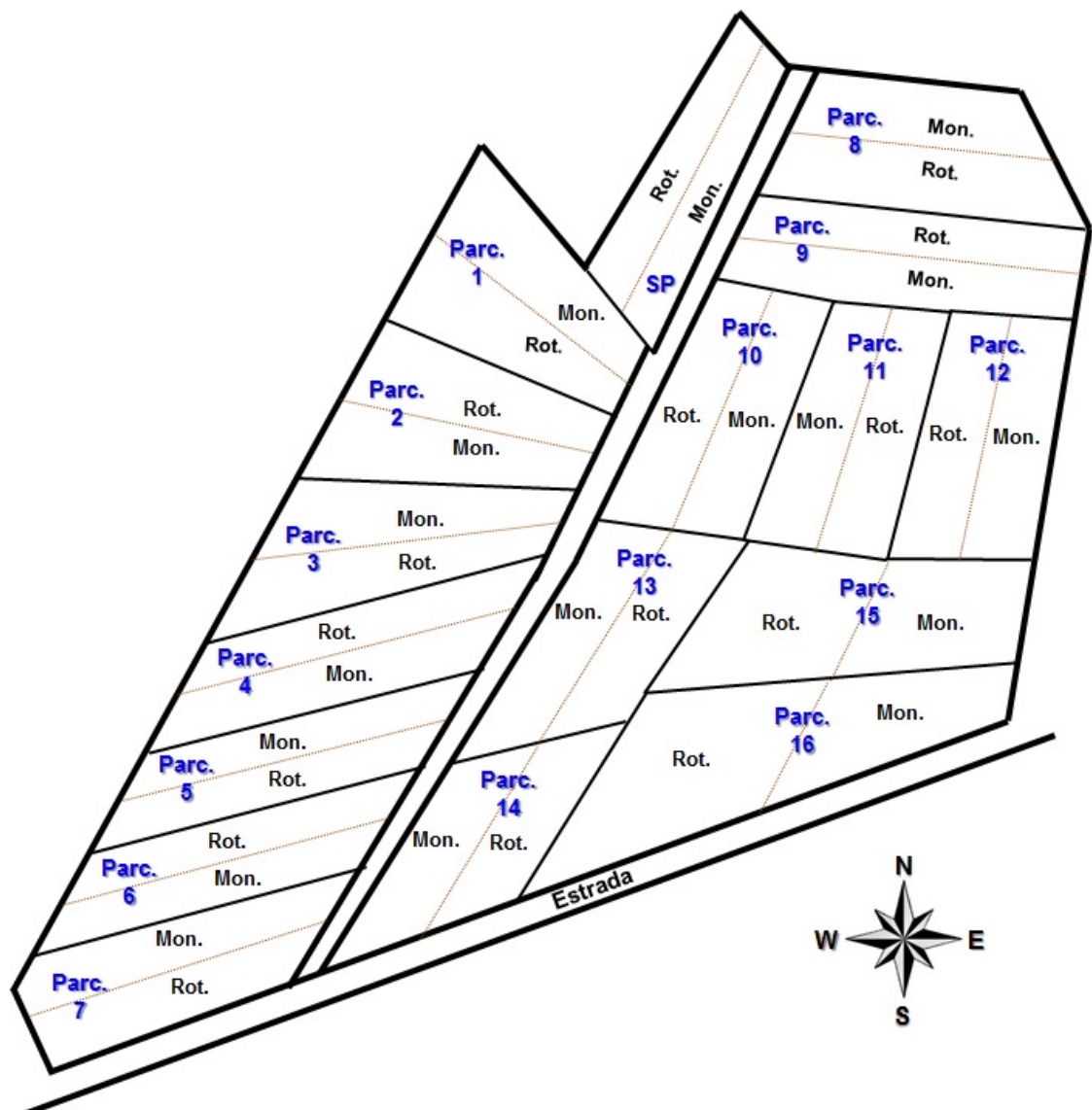


Figura 10. Croqui da área experimental e disposição das unidades experimentais (parcelas). No verão as unidades experimentais são subdivididas em monocultura (soja/soja) e rotação (soja/milho). EEA/UFRGS. Eldorado do Sul, RS.

A intensidade de pastejo foi definida com base em duas variáveis: forragem disponível e potencial de consumo dos ovinos. A primeira, segundo Gibb & Treacher (1976), considera que a forragem disponível presente ao nível do solo não deve ser menor que três vezes a ingestão diária dos ovinos,

acarretando em uma possível restrição na ingestão de forragem pelos animais. A segunda, conforme a National Research Council (1985), considera o potencial de consumo de forragem de cordeiros de 4 % do peso vivo, com base na matéria seca. Assim, considerando esses resultados, pode-se afirmar que uma oferta de forragem ideal é de 12 % do peso vivo (PV), ou seja, 12 kg de matéria seca para 100 kg de peso vivo por dia. Diante disso, se definiu duas intensidades de pastejo: a intensidade de pastejo moderada que representa uma oferta de forragem de 10 % do PV (ou 2,5 vezes o potencial de consumo dos ovinos) e a intensidade de pastejo baixa que representa uma oferta de forragem de 20 % do PV (5,0 vezes o potencial de consumo dos ovinos).

Após o final do ciclo de pastejo tem sido realizada a semeadura das culturas estivais. Assim, no verão, as unidades experimentais são subdivididas e conduzidas em dois sistemas de produção: monocultura da soja e rotação anual de soja/milho. Durante o período experimental a soja foi cultivada no sistema de monocultura por 11 vezes (2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013) e no sistema de rotação por 6 vezes (2003, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012) e o milho por 5 vezes (2005, 2007, 2009, 2011, 2013) em sistema de rotação. O rendimento de grão de soja e milho estão apresentados no Apêndice 1.

3. Condução da fase pastagem

O estabelecimento do azevém anual tem sido por ressemeadura natural desde o ano de 2005. Contudo, o estabelecimento do azevém nos anos 2015 e 2016 não foram satisfatórios, necessitando realizar uma complementação. Assim, no outono/inverno dos anos de 2014 e 2015, a pastagem de azevém foi estabelecida via semeadura mecânica a lanço, com densidade de 25 kg de semente ha⁻¹. A fertilização do protocolo nos últimos anos tem sido manejada, especificamente durante o estabelecimento do azevém, nas doses de 20 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O, de acordo com o recomendado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (CQFS-RS/SC, 2004). Também foram utilizados 150 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia durante o ciclo de pastejo dos animais em dois momentos: a primeira

adubação realizada no estágio de perfilhamento (75 kg N ha^{-1}) e a segunda no estágio de pré-florescimento do azevém (75 kg N ha^{-1}).

Quanto aos animais, tem sido utilizado cordeiros jovens, castrados com idade entre nove e doze meses da raça Corriedale e Texel e peso médio inicial de $25 \text{ kg} \pm 2,5$. Foram utilizados ovinos machos castrados, sendo três animais-teste por unidade experimental. O método de pastejo adotado foi o de lotação contínua com taxa de lotação variável, adotando a técnica *put-and-take* (Mott & Lucas, 1952), que preconiza o uso de um número variável de animais reguladores de mesma categoria, mantidos em área anexa com pastagem estabelecida de azevém. A pastagem de azevém foi submetida ao pastejo por um período de 78 e 108 dias nos invernos de 2014 e 2015, respectivamente.

4. Condução da fase lavoura

Após o término do ciclo de pastejo, inicia-se a fase lavoura. Nas safras 2014/15 e 2015/16, posteriormente à retirada dos animais, procedeu-se a dessecação do azevém, com uma dose de 2 L ha^{-1} de glifosato. A semeadura da soja foi realizada em 01/12/2014 e 07/11/2015, sendo as sementes tratadas com fungicida e inseticida recomendados e infectadas com estirpes específicas de *Bradyrhizobium japonicum*, em meio líquido. Utilizou-se a cultivar de soja Tec 5936 IPRO, com ciclo médio de 150 dias e hábito de crescimento indeterminado. A densidade de semeadura foi de $15 \text{ sementes m}^{-2}$, com uma população aproximada de 267 mil plantas ha^{-1} . Em 08/11/2015, foi semeado o híbrido de milho AG 8780 PRO3, ciclo precoce, numa densidade de 60.000 plantas ha^{-1} e com período de cultivo de aproximadamente 150 dias. O espaçamento entre linhas adotado em ambas as culturas foi de 0,45 m, tendo-se utilizado semeadora para plantio direto. Para ambas as culturas de verão a adubação química é realizada apenas realizada adubação no estabelecimento da pastagem. Todos os tratos culturais foram realizados com base na recomendação para as culturas da soja e do milho (RPSRS, 2012; FEPAGRO, 2011). Na safra 2014/15, a colheita da soja foi realizada em 17/04/2015 e, na safra 2015/16, a colheita da soja e do milho ocorreram em 01/04/2016.

CAPÍTULO IV - Atributos químicos do solo e rendimento de grãos em Sistema Integrado de Produção de Grãos e Ovinos

1. Introdução

Para conservar o solo produtivo por longo período, é necessário desenvolver sistemas agrícolas que permitam manter ou melhorar os atributos químicos do solo. Apesar do reconhecimento de que há melhorias nas características químicas do solo nos sistemas mais diversificados, como os sistemas que integram a produção agrícola e pecuária (Flores et al., 2008), tem-se observado, uma predominância de plantas de cobertura do solo no inverno e o monocultivo da soja no verão nas lavouras do Sul do Brasil. Nas últimas décadas, essa prática agrícola resultou em maior uso de insumos para uma dada meta de produção, diminuindo a rentabilidade da cultura e colocando em risco a sustentabilidade do sistema de produção (Fiorin, 2007).

Por outro lado, a adoção dos sistemas integrados sob os pilares da agricultura conservacionista (sistema plantio direto) proporciona melhorias na fertilidade do solo, em razão da maior entrada de carbono e diversidade de resíduos vegetais devolvidos aos solos em comparação ao monocultivo da soja (Moore et al., 2000). Assim, a rotação de culturas possibilita a combinação e/ou alternância de plantas com diferentes exigências nutricionais e habilidades na absorção de nutrientes. Desta forma, nutrientes que não são absorvidos por uma determinada planta, seja por sua localização em camadas abaixo da zona de ação do sistema radicular, seja pela baixa eficiência de absorção, podem ser aproveitados por outras espécies vegetais e, a partir da decomposição do resíduo, tornarem-se disponíveis (Borkert et al., 2003).

Além da ausência de revolvimento do solo e a adoção da rotação de culturas, a inserção do componente animal no período hibernal representa o

avanço inovador nos sistemas integrados. Um dos principais papéis dos animais nesses sistemas é a redistribuição, no espaço e no tempo, dos nutrientes através do consumo da forragem e, posteriormente, deposição das excretas na área pastejada (Martens & Entz, 2011). Além disso, os animais excretam uma grande parte dos nutrientes que eles ingerem (Shand & Coutts, 2006). A maior parte do fósforo (≥ 95 %), do cálcio (≥ 96 %) e do magnésio (≥ 90 %) são excretados nas fezes e o potássio é excretado principalmente pela urina (≥ 70 %) (Whitehead, 2000). Apesar da ciclagem das excretas representar uma grande fonte de nutrientes para o sistema, os animais não as distribuem uniformemente sobre a área de pastejo (Ledgard, 2001). Essa distribuição irregular das excretas resulta na menor concentração dos nutrientes em algumas áreas e o seu acúmulo onde os animais permanecem por mais tempo, como próximo aos bebedouros, porteiras e cochos de sal (Martens & Entz, 2011). Em decorrência disto, a escolha do método de pastoreio implica no padrão de distribuição no qual os nutrientes são retornados para o solo. O pastoreio rotacionado em faixa é uma estratégia eficiente na redistribuição dos nutrientes na pastagem, devido à distribuição relativamente uniforme das excretas no solo (Chen et al., 2001).

Em sistemas integrados, a definição da intensidade de pastejo é a principal condicionante do impacto do animal no sistema, muito mais do que as demais ações de manejo no período hibernar (Carvalho et al., 2007). A magnitude dessa intensidade resulta em diferentes quantidades de massa de forragem e nutrientes reciclados via excretas. A intensidade de pastejo moderada tem sido apontada como mais sustentável nos sistemas integrados, pois privilegia tanto a colheita de forragem de alta qualidade pelo animal, quanto assegura uma maior produção total de forragem ao longo do ciclo de pastejo (Kunrath et al., 2015). Nessa situação, há um incremento no acúmulo de carbono no solo e maior ciclagem de nutrientes no sistema (Anghinoni et al., 2013).

O entendimento da interação entre as práticas agrícola e pecuária por um longo período é fundamental para estabelecer as modificações nos atributos químicos do solo decorrentes da mudança do manejo e os reflexos dessas interações no rendimento de grãos das culturas comerciais. Assim, espera-se que diferentes métodos de pastoreio e intensidades de pastejo modifiquem a distribuição das excretas, alterando, desta forma, as características químicas do solo. Além disso, sistemas integrados com maior diversidade de plantas (rotação

soja/milho) são capazes de incrementar a fertilidade química em relação aos de menor diversidade (monocultura soja/soja), independentemente do método de pastoreio e intensidade de pastejo adotado no período hibernar.

Em função disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos químicos do solo e o rendimento de grãos em sistemas integrados de produção de grãos e ovinos de corte, influenciados por diferentes métodos de pastoreio, intensidade de pastejo e sistema de cultivo (monocultura e rotação) após onze anos de seu estabelecimento.

2. Material e métodos

2.1 Tratamentos avaliados

As informações referentes ao experimento foram descritas no Capítulo III. Para este estudo, as análises de solo e o rendimento das culturas foram realizados em todos os tratamentos: métodos de pastoreio (contínuo e rotacionado), intensidades de pastejo (moderada e baixa) e sistemas de cultivo (monocultura com soja e rotação soja/milho), nas safras 2014/15 e 2015/16.

2.2 Precipitação pluviométrica

Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos da Estação Meteorológica Automática do Departamento de Plantas Forrageiras e Meteorologia, da EEA/UFRGS, situada próxima da área experimental.

2.3 Parâmetros de solo

Para a avaliação dos parâmetros químicos do solo, coletaram-se com pá de corte (camada 0 a 20 cm) e trado holandês (camada 20 a 40 cm) três subamostras dentro de cada subparcela (sistema de cultivo) após o final do ciclo de pastejo (novembro de 2014), visando à obtenção de uma amostra composta

representativa. As camadas amostradas foram de 0 a 2,5; 2,5 a 5; 5 a 7,5; 7,5 a 10; 10 a 12,5; 12,5 a 15; 15 a 17,5; 17,5 a 20; 20 a 25; 25 a 30; 30 a 35 e 35 a 40 cm. Nessas amostras, foram determinados o pH-H₂O, os teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis (KCl 1,0 mol L⁻¹) e os teores de K e P disponível (Mehlich-1) (Tedesco et al., 1995). Com esses dados, foram calculadas a saturação por bases (V) e por Al³⁺ (m), a CTC efetiva e potencial conforme consta em CQFS-RS/SC (2004).

2.4 Parâmetros de planta

No pleno florescimento das plantas de soja e milho, na safra 2015/16, foram realizadas as coletas de folhas de 30 plantas por subparcela, conforme CQFS-RS/SC (2004), para a diagnose foliar. As amostras foram posteriormente secas e moídas e, em seguida, os teores de P, K, Ca e Mg foram determinados conforme Tedesco et al., (1995).

Para a avaliação do rendimento de grãos de soja, nas safras 2014/15 e 2015/16, foram coletados 10 m lineares em cada subparcela, o que correspondeu ao corte de cinco locais aleatórios de 2 m lineares. Para a cultura do milho, na safra 2015/16, foram coletados 24 m lineares em cada subparcela, o que correspondeu ao corte de quatro locais aleatórios de 6 m lineares.

2.5 Análise estatística

Os dados foram inicialmente avaliados quanto à necessidade de transformações e eliminações de *outliers*. Após essa análise, os dados foram submetidos à análise de variância, considerando nível de 5% de significância. Quando detectadas diferenças entre as médias, estas foram comparadas pelo Teste de *Tukey* ($p < 0,05$), utilizando o software estatístico SAS® (v.9.0).

a) Atributos químicos do solo

O modelo estatístico utilizado para a análise dos atributos químicos do solo foi:

$$Y_{ijklm} = \mu + B_i + M_j + I_k + M_j I_k + \text{erro a (ijk)} + S_l + M_j S_l + I_k S_l + M_j I_k S_l + \text{erro b (ijkl)} + C_m + \text{erro c (i,m)} + M_j C_m + I_k C_m + S_l C_m + M_j I_k C_m + M_j S_l C_m + I_k S_l C_m + M_j I_k S_l C_m + \text{erro d (ijklm)}$$

onde: μ = média geral do experimento; B= blocos (i=1,2,3,4); M= método de pastoreio (j=1,2); I= intensidade de pastejo (k=1,2); S= sistema de cultivo (l=1,2); C= camada (m=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12) e Erro= erro experimental, considerando-se a restrição para a camada de solo.

b) Teor foliar e rendimento de grãos

Os dados obtidos de rendimento de grãos e o conteúdo de fósforo, potássio, cálcio e magnésio foliar das culturas de verão (soja e milho) foram submetidos à análise de variância separadamente em cada safra agrícola (2014/15 e 2015/16). O modelo estatístico utilizado foi:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + M_j + I_k + M_j I_k + \text{erro a (ijk)}$$

onde: μ = média geral do experimento; B= blocos (i=1,2,3,4); M= método de pastoreio (j=1,2); I= intensidade de pastejo (k=1,2) e Erro a= erro experimental.

3. Resultados

3.1 Precipitação pluviométrica

A precipitação pluviométrica diária e a precipitação pluviométrica acumulada ao longo do cultivo das safras agrícolas 2014/15 e 2015/16 estão apresentadas na Figura 11. Na safra agrícola 2014/15, a precipitação pluviométrica acumulada foi de 448,7 mm durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da soja. Nesta safra, o déficit hídrico coincidiu com o período de enchimento de grão da soja (Figura 11a). Na safra agrícola 2015/16, a precipitação pluviométrica acumulada foi de 698,5 mm durante o desenvolvimento de ambas as culturas e o déficit hídrico ocorreu no período vegetativo e início do florescimento (Figura 11b).

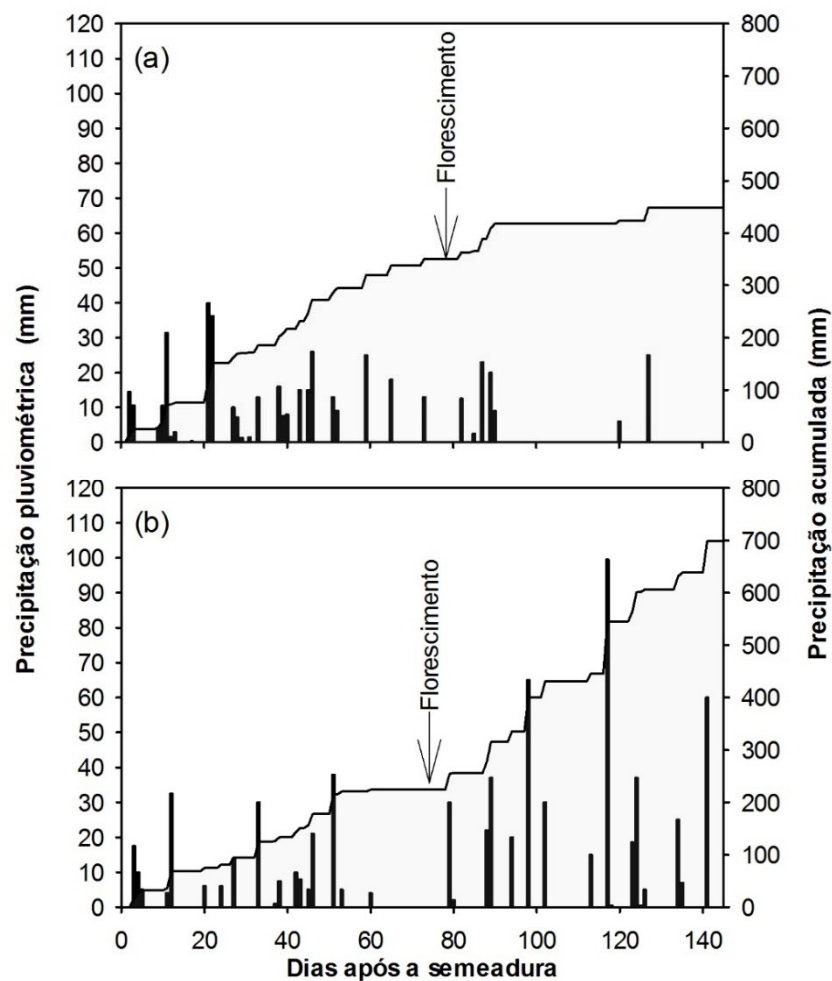


Figura 11. Precipitação diária e acumulada na área experimental durante o crescimento das culturas de soja e milho nas safras agrícolas 2014/15 (a) e 2015/16 (b). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

3.2 Indicadores de acidez do solo

Os resultados indicam interação tripla significativa ($p < 0,05$) para as variáveis pH do solo e a saturação por bases e por alumínio (Figura 12). Esses indicadores foram influenciados pelos métodos de pastoreio vs intensidades de pastejo vs camada de solo. O desdobramento foi realizado em função do manejo da pastagem no período hibernar (método de pastoreio e intensidade de pastejo) dentro da camada de solo. O manejo da pastagem (método e intensidade), resultou em valores de pH do solo diferenciados na camada 0 a 2,5 cm de solo (Figura 12a). Nas demais camadas, não foram observadas diferenças ($p > 0,05$) para o manejo do pasto.

Por outro lado, tanto a saturação por bases como por alumínio não são influenciadas pela interação do manejo da pastagem (método e intensidade) dentro da camada de solo (Figura 12 b,c). Apesar destes indicadores não sofreram influência do manejo da pastagem nas camadas de solo, constatou-se, uma tendência de maior saturação por base no pastoreio rotacionado com intensidade baixa na profundidade de solo abaixo de 20 cm (Figura 12b) e menor valor de saturação por alumínio na profundidade de solo abaixo de 15 cm (Figura 12c). Os resultados indicam que somente na camada superficial (0 a 2,5cm), a saturação por Al apresentou nível *Médio* (10- 20%), enquanto nas demais camadas, os valores são classificados como *Alto* (>20%), conforme CQFS-RS/SC (2016), independentemente do método de pastoreio e intensidade de pastejo (Figura 12c). Verifica-se, pelos dados analisados, uma situação de menor acidez na camada superficial do solo, independentemente do manejo da pastagem.

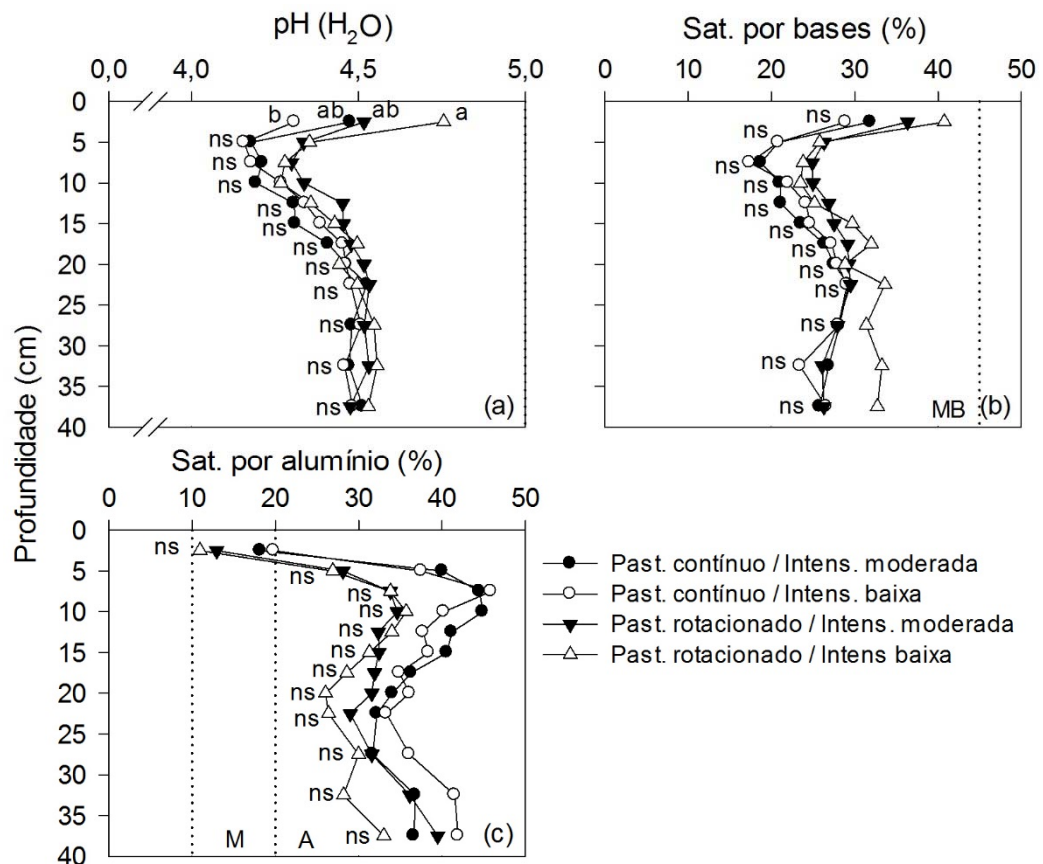


Figura 12. Valores de pH do solo (a), saturação por bases (b) e saturação por alumínio (c) em função do desdobramento de métodos de pastoreio e intensidades de pastejo dentro de cada profundidade de solo em sistema integrado de produção soja-milho e ovinos. *Significativo: $p < 0,05$; ns=não significativo. MB: muito baixo; M: médio; A: alto de acordo com a CQFS-RS/SC (2016).

Quanto aos valores da CTC efetiva do solo, houve interação dupla entre métodos de pastoreio vs camada do solo (Figura 13a), em que, no pastoreio rotacionado, ela foi maior em relação ao pastoreio contínuo apenas na camada 0 a 2,5 cm de solo. Com relação à CTC potencial, houve interação dupla entre intensidade de pastejo vs camada do solo, e não foram observadas diferenças entre as intensidades de pastejo moderada e baixa, independentemente da camada de solo avaliada (Figura 13b).

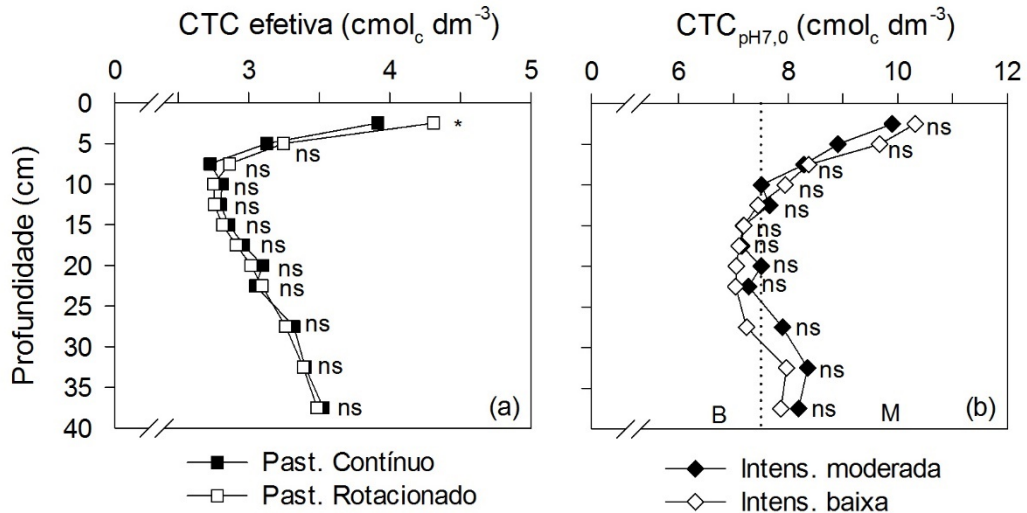


Figura 13. CTC efetiva (a) e potencial (b) no perfil do solo em função dos métodos de pastoreio, intensidades de pastejo em sistema integrado de produção soja-milho e ovinos. * Significativo: $p < 0,05$; ns=não significativo. B: baixo; M: médio de acordo com a CQFS-RS/SC (2016).

3.3 Disponibilidade de nutrientes no solo

Os teores trocáveis de cálcio e magnésio e disponíveis de potássio e fósforo estão apresentados na Figura 14. O Ca trocável foi influenciado ($p < 0,05$) por três diferentes fontes de variação (métodos de pastoreio, intensidades de pastejo, profundidade do solo) (Figura 14a). O desdobramento dessa interação foi realizado em função do manejo do pasto (método e intensidade) dentro da camada de solo. Apesar dos teores de Ca trocável não diferir ($p > 0,05$) entre os diferentes manejos do pasto dentro da camada de solo, verificou-se uma similaridade entre os manejos ao longo do perfil do solo. Os teores desse nutriente, no perfil do solo, se enquadram predominantemente na classe *Baixo* pelos critérios estabelecidos pela CQFS-RS/SC (2016), para todos os manejos adotados.

Quanto ao teor do Mg trocável, houve interação ($p < 0,05$) entre os métodos de pastoreio e as camadas do solo (Figura 14b), com maiores valores na camada superficial (0 a 2,5 cm), no pastoreio rotacionado. Nas demais camadas avaliadas, o teor desse nutriente não diferiu ($p > 0,05$) quanto ao método de pastoreio adotado. Os valores desse nutriente, nos diferentes sistemas de manejo são enquadrados na classe *Alto* ($> 1,0 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$), conforme as recomendações da CQFS-RS/SC (2016).

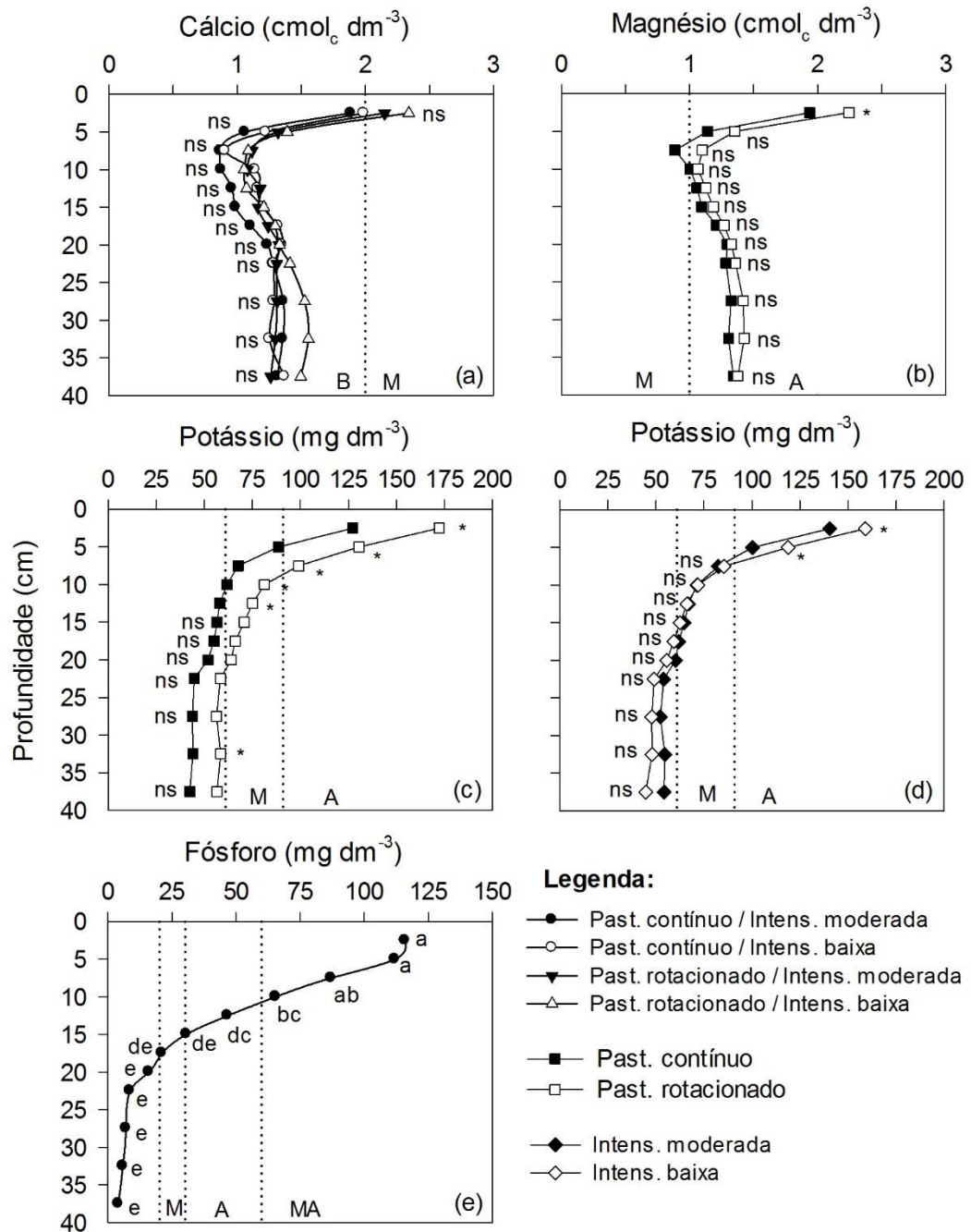


Figura 14. Cálcio (a) e magnésio (b) trocável e potássio (c,d) e fósforo (e) disponível no perfil do solo em função dos métodos de pastoreio, intensidades de pastejo em sistema integrado de produção soja-milho e ovinos. * Significativo: $p < 0,05$; ns=não significativo. B: baixo; M: médio; A: alto e MA: muito alto de acordo com a CQFS-RS/SC (2016).

O teor de K disponível no solo foi influenciado pelas interações entre métodos vs profundidades e intensidades vs profundidades (Figura 14 c, d). Observou-se superioridade ($p < 0,05$) nos teores de K disponível no método de pastoreio rotacionado até a profundidade de 12,5 cm (Figura 14c). Na menor carga animal, os teores de K disponível foram maiores até a profundidade de 5

cm em comparação à maior carga animal (Figura 14d). Nas demais camadas, o teor desse nutriente não apresentou diferença ($p>0,05$) para a intensidade de pastejo. De maneira geral, os valores obtidos de K^+ disponível do solo estão nas classes *Médio* e *Alto* (CQFS-RS/SC, 2016), até a camada de 27,5 cm no pastoreio rotacionado e até 12,5 cm no pastoreio contínuo, não havendo limitação para o desenvolvimento das plantas.

Os teores de P disponível não foram influenciados pelo manejo do pasto no período hibernar, entretanto, verificou-se a formação de gradiente ao longo do perfil do solo (Figura 14e). Os teores desse nutriente na camada 0 a 10 cm (0 a 2,5; 2,5 a 5; 5 a 7,5; 7,5 a 10 cm) situam-se na classe *Muito Alto* e *Alto* na camada 0 a 15 cm (teor crítico = $20,0 \text{ mg dm}^{-3}$), conforme CQFS-RS/SC (2016).

3.4. Estado nutricional e rendimento de grãos das culturas de grãos

De uma maneira geral, os teores foliares de P, K, Ca e Mg das culturas de soja e milho não foram influenciados ($p>0,05$) tanto pelos métodos como intensidade de pastejo ou sua interação (Tabela 3).

Exceções, entretanto, ocorreram para os teores de P, K e Mg na soja em monocultura, cujos teores foram, respectivamente, maior, menor e maior no pastoreio contínuo em relação ao rotacionado. Entretanto, de acordo com CQFS-RS/SC (2014), os valores obtidos no presente estudo estão dentro da faixa de suficiência em ambas as culturas, exceto para o potássio no cultivo da soja em monocultura, que foi abaixo dessa faixa.

Tabela 3. Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas plantas de soja e milho manejadas com métodos de pastoreio contínuo e rotativo e intensidade de pastejo moderada e baixa em integração com ovinos, no ano agrícola 2015/16

Manejo do pasto	Soja em monocultura				Milho em rotação			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
	----- g kg ⁻¹ -----							
Método de pastoreio								
Contínuo	3,9 a	11,4 b	6,5 a	3,0 a	2,2 a	20,5 a	3,3 a	2,0 a
Rotacionado	3,1 b	13,4 a	6,5 a	2,9 b	2,6 a	21,8 a	3,4 a	1,9 a
Intensidade de pastejo								
Moderada	3,8 a	11,9 a	6,6 a	3,0 a	2,5 a	21,4 a	3,4 a	2,1 a
Baixa	3,2 a	13,0 a	6,5 a	2,9 a	2,3 a	20,9 a	3,3 a	1,9 a
CV (%)	19	10	21	4	12	7	10	17

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste *Tukey* a 5% de probabilidade.

Os métodos de pastoreio e as intensidades de pastejo afetaram ($p < 0,05$) o rendimento de grãos de soja e milho (Tabela 4). Na safra agrícola 2014/15, a adoção do método de pastoreio rotativo no período hibernar proporcionou um incremento de 37 e 28 % no rendimento de grãos de soja quando comparado com o pastoreio contínuo nos sistemas de cultivo monocultura e rotação, respectivamente (Tabela 4). Por outro lado, na safra agrícola 2015/16, não foi observada influência dos métodos de pastoreio em ambos os sistemas de cultivo. Nessa safra, o rendimento de grãos de milho apresentou um incremento de 29 % com a adoção da intensidade baixa no período hibernar em comparação à intensidade moderada no sistema de cultivo em rotação.

Tabela 4. Rendimento de grãos de soja e milho em função dos métodos de pastoreio e intensidades de pastejo e sistemas de cultivo em sistema de integração com ovinos nas safras agrícolas 2014/15 e 2015/16

Manejo do pasto	2014/15		2015/16	
	Soja em monocultura	Soja em rotação	Soja em monocultura	Milho em rotação
Método de pastoreio	----- Mg ha ⁻¹ -----			
Contínuo	2,26 b	2,54 b	2,26 a	6,91 a
Rotacionado	3,61 a	3,51 a	2,20 a	6,27 a
Intensidade de pastejo				
Moderada	2,73 a	2,94 a	2,35 a	5,50 b
Baixa	3,14 a	3,10 a	2,12 a	7,69 a
CV (%)	16	10	20	20

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste *Tukey* a 5% de probabilidade.

4. Discussão

4.1 Indicadores de acidez do solo

Os resultados evidenciam que os atributos químicos para expressar a fertilidade do solo nos sistemas em sistema integrados de produção de grãos/ovinos em sistema plantio direto por longo prazo, parecem não ser suficientes para expressar o ambiente edáfico realmente percebido pelas plantas. Os indicadores de acidez do solo (pH e saturação por bases e por alumínio), indicam condições muito restritivas tanto para o cultivo da pastagem como de soja e milho, havendo necessidade da realização da calagem para manter a química da solução do solo em condições favoráveis ao crescimento das plantas. Os baixos valores de pH do solo, de saturação por bases e os altos níveis de saturação por Al verificados na área experimental podem ser explicados pela reacidificação natural em ambiente favorável de clima (precipitação pluviométrica e temperatura), aplicação anual de fertilizantes nitrogenados (ureia) na pastagem, exportação de bases pelos grãos na colheita e pela reação da nitrificação da urina dos animais.

O maior pH, na camada de 0 a 2,5 cm do solo (Figura 2a), em 0,5 unidade no pastoreio rotacionado em relação ao pastoreio contínuo na intensidade de pastejo baixa pode estar relacionado com a maior massa de forragem produzida. Apesar da mesma intensidade de pastejo, no pastoreio rotacionado em faixa ocorre uma maior redução instantânea da massa de forragem em comparação ao pastoreio contínuo. É provável que essa redução tenha favorecido o perfilhamento das plantas de azevém e, conseqüentemente a maior produção de biomassa. Conforme observado por Moojen (2017), onde as áreas com pastoreio rotacionado produziram mais massa de forragem (3,36 Mg MS ha⁻¹) que áreas manejadas em pastoreio contínuo (3,09 Mg MS ha⁻¹) na intensidade baixa. Essa maior produção de massa de forragem refletiu no aumento (4,10 Mg ha⁻¹) do carbono orgânico particulado em relação ao pastoreio contínuo (3,70 Mg ha⁻¹), na camada de 0 a 10 cm de solo (De Toni, 2017).

4.2 Disponibilidade de nutrientes no solo

Os sistemas de cultivo que integram a rotação (soja/milho) e a monocultura (soja/soja) no verão não influenciaram os atributos químicos relacionados à fertilidade do solo. Esperava-se que a adição distinta de biomassa aérea e radicular das culturas componentes (sequência de cultivos) resultasse no aumento de carbono orgânico e, conseqüentemente, na maior adsorção de nutrientes. De acordo com De Toni (2017), que avaliou a mesma área experimental no mesmo período, o estoque de carbono orgânico total na rotação de culturas soja e milho ($19,2 \text{ Mg C ha}^{-1}$) apresentou somente uma tendência de valor maior em comparação à monocultura da soja ($17,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$), na camada 0 a 10 cm de solo, independentemente do método de pastoreio e intensidade de pastejo.

De modo geral, a disponibilidade de P, K e Mg é alta, enquanto que a do Ca é baixa em todo o perfil do solo (Figura 14). O cálcio e o magnésio são comumente adicionados nas áreas agrícolas através da aplicação de calcário dolomítico. É provável que a deficiência de Ca esteja relacionada com a exportação dos grãos pelas culturas. Além da dose calcário ter sido baixa ($1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) ela foi aplicada há muito tempo (12 anos), e nenhum fertilizante contendo cálcio foi adicionado nesse período.

A escolha do método de pastoreio implicou em padrões distintos para os teores de Mg e K (Figura 14 b,c,d). Apesar das quantidades adicionadas pela adubação terem sido as mesmas, os teores de Mg trocável e K disponível foram mais altos na camada superficial do solo no pastoreio rotacionado, onde há uma menor tendência dos animais em se agruparem e, conseqüentemente, há uma distribuição mais homogênea das excretas (Pedreira, 2013). Apesar da área afetada pelas dejeções ser individualmente pequena, os ovinos as distribuem de maneira menos concentrada que os bovinos. Em termos práticos, os resultados reportados indicam que uma melhor uniformidade da distribuição das excretas no pastoreio rotacionado tende a reduzir a necessidade de uso de fertilizantes para atender as necessidades nutricionais das plantas.

Os resultados sugerem a necessidade de reavaliar a dose de $60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ano}^{-1}$ aplicada no protocolo experimental. O alto teor de P ($>100 \text{ mg dm}^{-3}$)

nas camadas superficiais do solo pode ser atribuído à aplicação de altas doses de adubos fosfatados (em torno de 840 kg de P_2O_5 ha^{-1} nos últimos 11 anos), não revolvimento do solo e da deposição dos resíduos da pastagem e das culturas de grãos (Figura 14e). Vários estudos verificaram um acúmulo dos nutrientes onde os animais permanecem por mais tempo, como próximo aos bebedouros, porteiras e cochos de sal (Sanderson et al., 2010; Silva et al., 2014). Nos resultados obtidos, no entanto, mostram uma uniformidade no acúmulo de fósforo nas parcelas pastejadas. Contudo, com base nos altos teores de P e o percentual de argila do solo (<20 %), os resultados evidenciam elevado risco de transferência de P para as águas superficiais.

4.3 Rendimento de grãos

Embora o protocolo experimental apresente baixo pH, alta saturação por alumínio, baixa saturação por bases, os rendimentos de grãos de soja e milho atingiram patamares superiores aos 2,0 Mg ha^{-1} e 6,0 Mg ha^{-1} , respectivamente (Tabela 4). Somado a isso, apresentaram os teores dos macronutrientes (P, K, Ca e Mg) nas folhas analisadas de soja e milho se enquadram na faixa de suficiência (Tabela 3). Esse comportamento, ocorre principalmente em sistemas conservacionistas que apresentam o aumento gradual do teor de matéria orgânica com o tempo de cultivo (Anghinoni, 2007). Nesses sistemas, há complexação das espécies de Al consideradas tóxicas através da ação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (cítrico, oxálico, málico, entre outros), que são resultantes da decomposição dos resíduos vegetais (Franchini et al., 1999; Miyazawa et al., 2000).

As intensidades de pastejo empregadas no período hibernar não afetaram o rendimento de grãos de soja sob sistema de manejo monocultura (soja/soja) e rotação (soja/milho) na safra agrícola 2014/15 (Tabela 4). Na mesma área experimental, Macari et al. (2011) também não verificaram influência das intensidades de pastejo sobre o rendimento das culturas em sucessão. Possivelmente, a manutenção da altura média da pastagem acima de 15 cm ao longo dos ciclos de pastejo (Moojen, 2017) pode estar ajudando a

proteger o solo da ação do pisoteio animal. Isto, porque na safra agrícola 2015/16, o rendimento de grãos de milho foi menor na intensidade de pastejo baixa em comparação à intensidade moderada (Tabela 4). Esse resultado deve ser analisado com cautela, visto que há uma forte indicação da ação de outros fatores. Dentre eles, pode-se citar a topografia do protocolo experimental e associações entre solos (Plintossolos e Argissolos). Considerando o histórico da área e a repetibilidade dos dados publicados (Lunardi et al., 2008; Carassai et al., 2011; Macari et al., 2011) a presença dos animais não afeta o rendimento de grãos em sucessão.

Quando aos métodos de pastoreio, foram observados comportamentos distintos no rendimento de grãos das culturas entre as safras agrícolas 2014/15 e 2015/16. Na primeira safra agrícola, os métodos de pastoreio empregados no período hibernar afetaram o rendimento de grãos de soja em sucessão em ambos os manejos das culturas (monocultura e rotação) (Tabela 4). Tal resultado evidencia a importância de avaliações de longo prazo, uma vez que, discordam dos encontrados por Lunardi et al. (2008) e Macari et al. (2011), que não verificaram essa influência. Por outro lado, na segunda safra agrícola, o rendimento de grão de soja e milho não foram afetados pelo método de pastoreio realizado no período hibernar que antecede a implantação da lavoura. Em relação a resposta observada, é possível perceber que o fator determinante para a variação da produtividade das culturas de grãos foi a precipitação pluviométrica ocorrida durante o estágio reprodutivo (meses de janeiro e fevereiro).

5. Conclusões

O manejo do pasto através dos métodos de pastoreio rotacionado no período hibernar acarreta em aumento nos teores de magnésio trocável e potássio disponível na camada superficial do solo.

O método de pastoreio rotacionado e a intensidade de pastejo baixa resultam em maior pH do solo apenas na camada 0 a 2,5 cm de solo.

O teor de fósforo disponível no solo não é alterado pelo método de pastoreio, intensidade de pastejo e sistema de cultivo.

O longo tempo de adoção do sistema integrado de produção de grãos com maior diversidade de plantas (rotação soja/milho) e ovinos não influencia nos atributos químicos do solo e no rendimento de grãos.

CAPÍTULO V - Desenvolvimento radicular de plantas de azevém, soja e milho em Sistema Integrado de Produção de Grãos e Ovinos¹

1. Introdução

Os sistemas de produção agrícola atuais apresentam lacunas de conhecimento sobre o crescimento do sistema radicular das plantas. Muitas dessas lacunas ocorrem devido à dificuldade de estudar o sistema radicular das plantas se desenvolvendo no campo (Gregory, 2006). Embora a pesquisa tenha avançado, são poucos os relatos na literatura sobre o desenvolvimento dos sistemas radiculares em sistemas alimentares alternativos e mais complexos, que envolvem a exploração de cultivos agrícolas e produção animal na mesma área em diferentes escalas espaço temporais (Moraes et al., 2014).

Contudo, é crescente o interesse na adoção dos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) nas diversas regiões do mundo, em razão do sinergismo entre as atividades de produção, resultando em melhorias nos atributos químicos (Martins et al., 2014), físicos (Bonetti et al., 2017) e biológicos (Chávez et al., 2011) do solo e resultando em maior ciclagem de nutrientes (Assmann et al., 2017) e aumento da produtividade de grãos (Tracy & Zhang, 2008; Moraes et al., 2014).

Embora a adoção do SIPA represente um avanço na estabilidade e sustentabilidade dos agroecossistemas, a presença dos animais pode resultar na diminuição (Thornton & Millard, 1996; Dawson et al., 2003), não afetar (Bonetti et al., 2015) ou no aumento (Milchunas & Lauenroth, 1993; Conte, 2007; Souza

¹ Artigo submetido à *Communications in Soil Science and Plant Analysis* em janeiro de 2019.

et al., 2008) da biomassa das raízes das plantas forrageiras. Portanto, a remoção da parte aérea das forrageiras anuais afeta proporcionalmente o desenvolvimento de suas raízes (Dawson et al., 2000), principalmente pela redução da área foliar, que diminui a fotossíntese e a transpiração da planta. Sendo assim, a desfolha severa da área fotossintética das plantas forrageiras por parte dos animais afeta negativamente o sistema radicular ao reduzir a energia disponível para suportar a biomassa radicular existente e a produção de novas raízes (Briske et al., 2008). Por outro lado, a desfolha adequada estimula a rebrota das folhas da espécie forrageira, resultando em contínua renovação das áreas fotossinteticamente ativas e das raízes e consequente contínuo crescimento e absorção de nutrientes (Hodgson, 1990). Assim, a desfolha moderada permite uma otimização da massa de forragem tanto para uma colheita da forragem por animais para alto desempenho animal como a interceptação de luz adequada para o desenvolvimento da planta (Moraes et al., 2014). Além da desfolha, as condições químicas (pH, concentração de elementos tóxicos e nutrientes), e físico-hídricas (textura, compactação, densidade, porosidade, umidade, aeração e temperatura) também podem influenciar na fisiologia das raízes (Zonta et al., 2006).

Os efeitos do pastejo também podem influenciar, de forma marcante, o crescimento das raízes das plantas subsequentes, como a soja e o milho (primavera/verão), cultivadas em *Sistema Plantio Direto*¹. Após a dessecação e consequente morte da planta forrageira, as raízes iniciam o processo de decomposição, deixando canais e galerias no interior do solo, constituindo um ambiente extremamente favorável ao crescimento das raízes (Salton & Tomazi, 2014). Assim, no SIPA, a maior penetração das raízes das culturas de grãos e, consequentemente, a maior capacidade na absorção de água e nutrientes do solo pode ser, em grande parte, influenciada pelo manejo adotado durante a fase pastagem.

Neste contexto, ainda existem lacunas de conhecimento no Sul do país, sobre os efeitos das intensidades de pastejo no desenvolvimento radicular das pastagens de outono/inverno e os seus reflexos no sistema radicular das culturas de primavera/verão cultivadas na sequência. O objetivo deste trabalho

¹sem revolvimento do solo, culturas de cobertura ou em pastejo e rotação de culturas por longo prazo.

foi avaliar as condições de fertilidade do solo e a produção de biomassa de raízes de azevém, em diferentes intensidades de pastejo por ovinos, e de soja e milho cultivados em sucessão, em protocolo experimental de longo prazo.

2. Material e métodos

2.1. Tratamentos avaliados

As informações referentes ao protocolo experimental foram descritas no Capítulo II (MATERIAL E MÉTODOS). Para este estudo, o solo e as raízes de azevém, soja e milho foram coletados nos seguintes tratamentos: intensidade de pastejo (moderada e baixa) e sistemas de cultivo (monocultura com soja e rotação soja/milho), manejados em pastoreio contínuo durante o período hibernar.

2.2. Amostragens e determinações

As amostragens das raízes de azevém, soja e milho foram realizadas em três momentos: na fase pastagem, em 22/09/2014 (avaliação do azevém), na fase lavoura, em 06/03/2015 (avaliação da soja) e 20/01/2016 (avaliação de soja e milho). As coletas das raízes da soja e milho foram realizadas no florescimento (R1) da soja e pendoamento (VT) do milho, em trincheiras perpendiculares à linha de cultivo. As amostras de solo contendo as raízes foram obtidas por meio do método monólito. Uma trincheira dentro de cada subparcela com as dimensões de 50 x 50 x 50 cm (comprimento x largura x profundidade) foi aberta para permitir a retirada dos monólitos. Inicialmente a parede da trincheira foi aplainada com ângulo de 90° em relação ao solo, e posteriormente, com o auxílio de uma régua e espátula se demarcou o comprimento, a largura e a profundidade dos monólitos (Figura 15). As dimensões dos monólitos foram:

10x10x10, 15x7x10 e 15x10x10 cm (comprimento x largura x profundidade) até 40 cm de profundidade para o azevém, a soja e o milho, respectivamente.

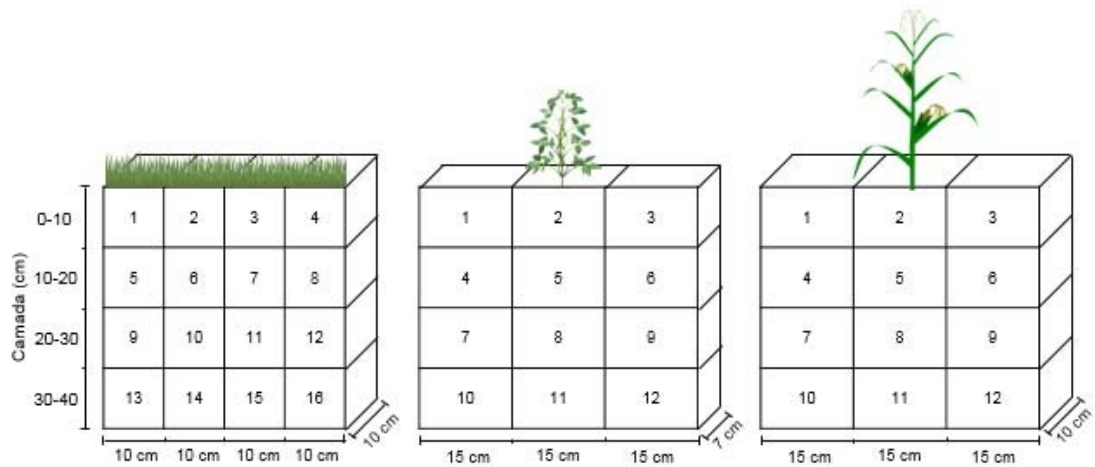


Figura 15. Esquema de amostragem de solo e raízes do azevém, da soja e do milho por meio do método monólito.

Após a retirada dos monólitos, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas a uma temperatura controlada de 5 °C, objetivando evitar a decomposição das raízes e a atividade microbológica, até o início da separação das raízes do solo. No laboratório, procedeu-se a lavagem dos monólitos com água corrente sobre peneira de malha de 0,5 mm. Após a remoção de impurezas com uma pinça, as raízes foram secas à 55 °C em estufa com ar forçado e pesadas para quantificação de biomassa seca.

2.3. Atributos químicos do solo

Para a avaliação química do solo, coletaram-se três subamostras dentro de cada subparcela ao final do ciclo do pastejo (novembro de 2014), visando à obtenção de uma amostra representativa. As camadas amostradas foram de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Nessas amostras, foram determinados o pH-H₂O, os teores de Ca²⁺ e Al³⁺ trocáveis (KCl 1,0 mol L⁻¹) e os teores de K e P disponível (Mehlich-1) (Tedesco et al., 1995).

2.4 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), por meio do procedimento de modelos mistos (proc mixed) do pacote estatístico do SAS. Na ausência dos pressupostos (homocedasticidade de variâncias e normalidade dos resíduos), os dados foram transformados pelo Método Box-Cox, com posterior aplicação do teste de médias Tukey ($p < 0,05$), conforme os seguintes modelos:

a) Biomassa das raízes de azevém (2014) e soja (safra 2014/15) e atributos químicos do solo.

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + I_j + \text{erro a (ij)} + S_k + I_j S_k + \text{erro b (ijk)} + C_l + \text{erro c (il)} + I_j C_l + S_k C_l + I_j S_k C_l + \text{erro d (ijkl)};$$

onde: μ = média geral do experimento; B = blocos ($i=1,2,3$); I = intensidade de pastejo ($j=1,2$); S = sistema de cultivo ($k=1,2$); C = Camada ($l=1,2,3,4$) e Erro = erro experimental, com restrição ao fator camada de solo.

b) Biomassa das raízes de soja e milho (safra 2015/16).

Os dados obtidos de matéria secas das raízes de soja e milho foram submetidos à análise de variância separadamente para cada cultura.

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + I_j + \text{erro a (ij)} + C_k + \text{erro b (ik)} + I_j C_k + \text{erro c (ijk)};$$

onde: μ = média geral do experimento; B = blocos ($i=1,2,3$); I = intensidade de pastejo ($j=1,2$); C = Camada ($k=1,2,3,4$) e Erro = erro experimental, com restrição ao fator camada de solo.

Para a confecção dos gráficos de contorno das raízes no perfil do solo foi realizada a interpolação “kriging” usando o software Surfer® v.14 (Golden Software).

3. Resultados

3.1 Precipitação pluviométrica

O desenvolvimento do azevém não foi influenciado com estresse hídrico anteriormente a amostragem das raízes (Figura 16a).

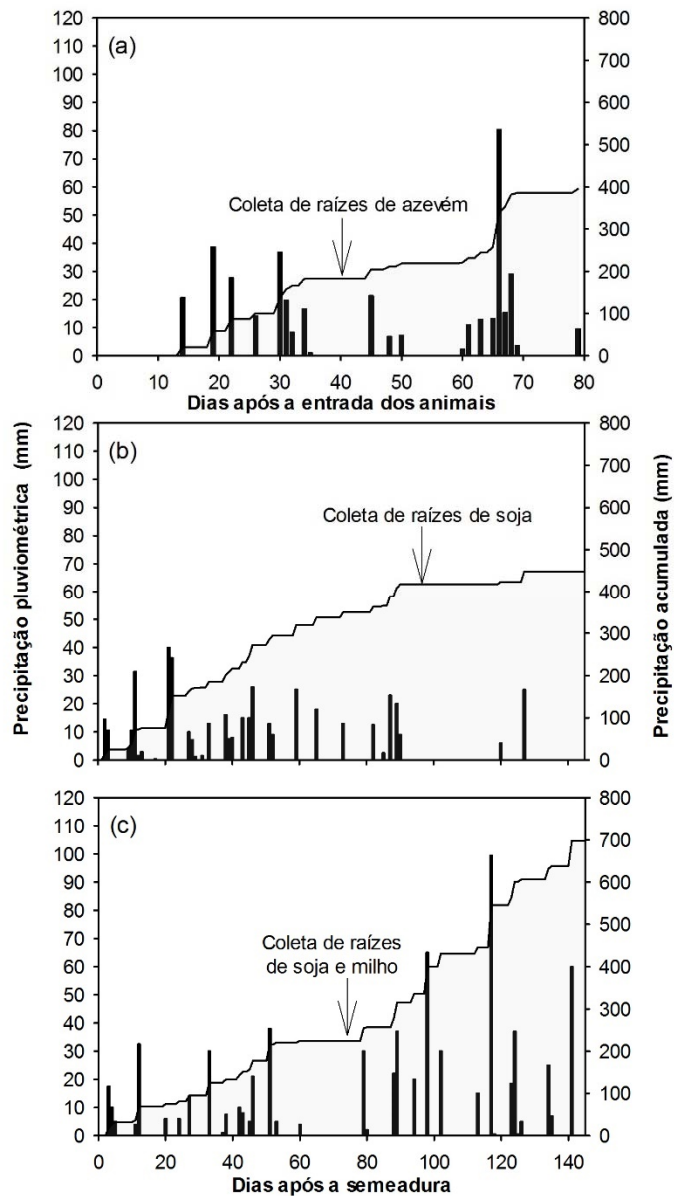


Figura 16. Precipitação pluviométrica diária e acumulada ao longo do ciclo do pastejo no período hibernal (a) do ano de 2014, na safra agrícola 2014/15 (b) e na safra agrícola 2015/16 (c) em sistema integrado de produção de grãos com ovinos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Por outro lado, em ambas as safras agrícolas (2014/15 e 2015/16) ocorreu um período de estresse hídrico (Figura 16b, c), que pode refletir no armazenamento de água no solo e na sua disponibilidade para as plantas. Durante o período de realização do experimento (semeadura até a amostragem das raízes), foram registradas 417 e 224 mm de precipitação pluviométrica acumulada, para as safras 2014/15 e 2015/16, respectivamente. Assim, na safra 2014/15 a restrição hídrica foi registrada após a amostragem das raízes de soja. Enquanto, na safra 2015/16, essa restrição ocorreu no período vegetativo tanto da soja como do milho.

3.2 Atributos químicos do solo

Os valores de pH-H₂O e de Al trocável do solo variaram com a profundidade de solo ($p < 0,05$), sem interação entre os fatores estudados (Figura 17a, b). Em todas as camadas do solo, o pH foi menor que 5,0, o que caracteriza uma acidez muito alta (CQFS-RS/SC 2016).

Os teores de P e K disponível no solo foram influenciados pela interação entre intensidades de pastejo e camada de solo (Figura 17c, d). Os valores foram maiores na intensidade moderada na camada superficial (0 a 10 cm) para P e nas camadas 0 a 10 e 10 a 20 cm para K. Na camada 0 a 10 cm, o incremento dos teores de P e K disponível nessa intensidade de pastejo foi de 43 e 23 %, respectivamente. Os teores de P e K disponível na camada de 0 a 20 cm se enquadram na classe *Muito alto* (CQFS RS/SC, 2016), cujos teores críticos para esse solo é de 20 mg de P dm⁻³ e de 60 mg K dm⁻³ de solo, respectivamente.

O teor de Ca trocável no solo não sofreu influência das intensidades de pastejo, sistema de cultivo e camadas do solo (Figura 17e), sendo enquadrado, pela CQFS RS/SC (2016) na classe Baixo ($< 2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

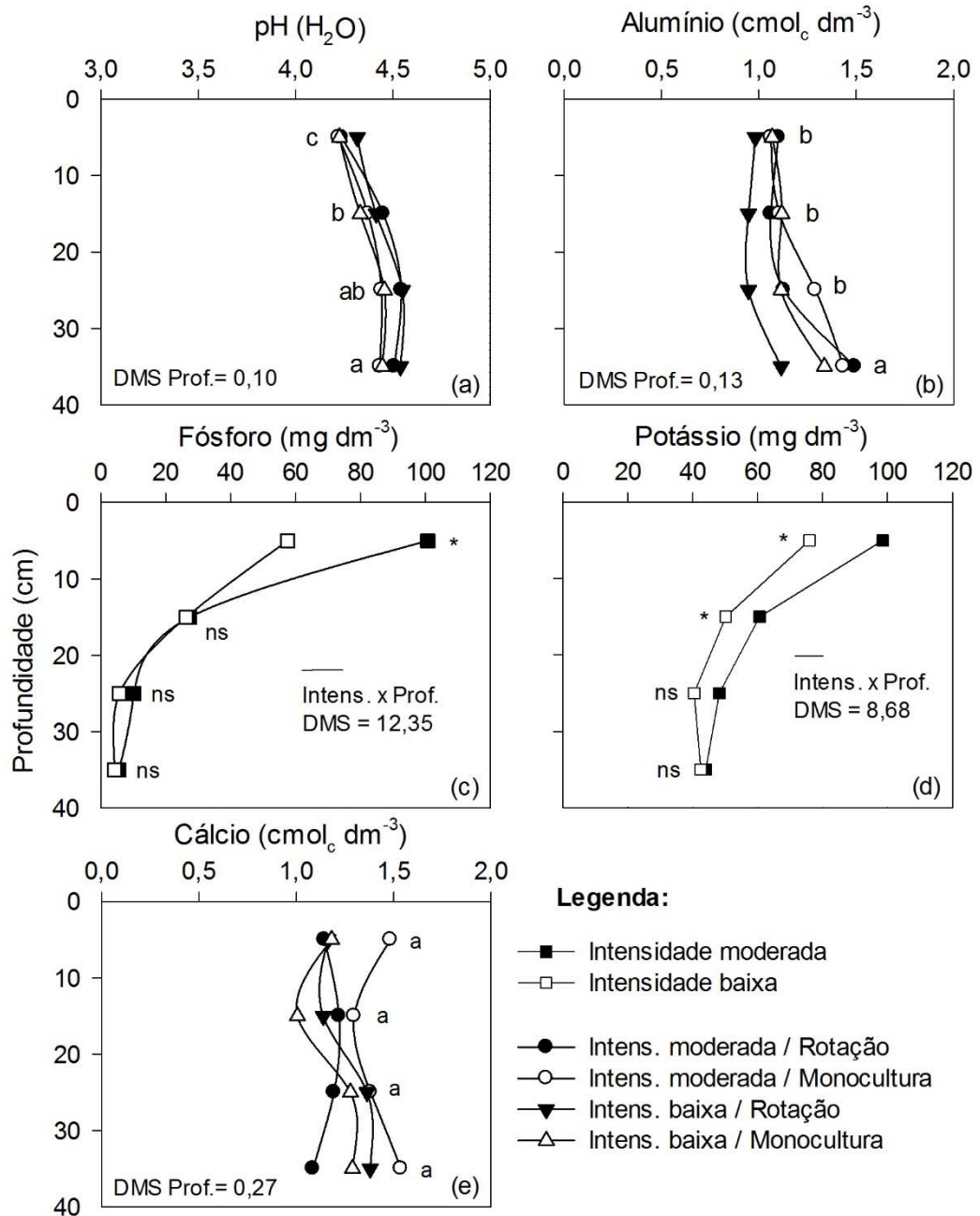


Figura 17. Valores de pH (a), alumínio trocável (b), fósforo disponível (c), potássio disponível (d) e cálcio trocável (e) no perfil do solo em função os métodos e intensidades de pastejo em sistema integrado de produção de grãos e ovinos. Letras minúsculas distinguem-se em profundidades na média dos tratamentos (método e intensidade), a barra indica DMS comparando intensidade em cada profundidade; ns: não significativo, * significativo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.3 Biomassa das raízes

a) Fase pastagem: azevém - outono-inverno/2014

A biomassa de raízes de azevém não foi alterada ($p > 0,05$) pela inserção de diferentes cargas animais e sistemas de cultivo (Tabela 5). A maior quantidade de raízes de azevém ($3,45 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi mensurada na camada de 0 a 10 cm de solo (78 %) com decréscimo abrupto em profundidade. O acúmulo médio de biomassa de raízes de azevém no perfil do solo (0 a 40 cm) é alto, porém sem diferir entre as intensidades de pastejo e sistema de cultivo.

Tabela 5. Produção de matéria seca de raízes de azevém em função de diferentes intensidades de pastejo e sistema de cultivo no período hibernal do ano de 2014 em sistema integrado com ovinos.

Camada de solo	Intensidade moderada		Intensidade baixa		Média
	Monocultura	Rotação	Monocultura	Rotação	
----- cm -----	Mg ha ⁻¹				
0-10	3,35	3,12	4,03	3,29	3,45 a
10-20	0,52	0,68	0,54	0,52	0,57 b
20-30	0,27	0,36	0,28	0,23	0,29 c
30-40	0,13	0,25	0,16	0,15	0,17 d
Média	1,07 ^{ns}	1,10	1,25	1,08	CV: 45 %
Acúmulo (0-40)	4,17	4,41	5,01	4,19	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de *Tukey*, ns = não significativo. CV: coeficiente de variação.

b) Fase lavoura: soja - safra 2014/15

As intensidades de pastejo animal no inverno e os sistemas de cultivo de verão não alteraram a produção de biomassa das raízes da soja nas camadas estudadas (Tabela 6), independentemente se cultivada em monocultura ou em rotação com o milho. Seguindo o mesmo comportamento observado no azevém, os maiores valores de biomassa radicular de soja foram verificados na camada superficial ($3,48 \text{ Mg ha}^{-1}$), que correspondem a 78 % do total, também com decréscimo abrupto em profundidade.

Tabela 6. Produção de matéria seca de raízes de soja em função de diferentes intensidades de pastejo e sistema de cultivo na safra 2014/15 em sistema integrado com ovinos

Camada de solo	Intensidade moderada		Intensidade baixa		Média
	Monocultura	Rotação	Monocultura	Rotação	
----- cm -----	Mg ha ⁻¹				
0-10	3,37	4,27	2,80	3,47	3,48 a
10-20	0,60	0,58	0,45	0,60	0,56 b
20-30	0,25	0,29	0,25	0,28	0,27 c
30-40	0,18	0,15	0,13	0,21	0,17 c
Média	1,10 ^{ns}	1,06	0,91	1,14	CV: 29 %
Acúmulo (0-40)	4,40	5,29	3,63	4,56	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de *Tukey*; ns = não significativo. CV: coeficiente de variação.

c) Fase lavoura: soja e milho - safra 2015/16

O pastejo animal em diferentes intensidades no inverno não afetou a produção de biomassa de raízes de soja e milho cultivada tanto em monocultura e como na rotação no verão (Tabela 7). Em ambos os sistema de cultivo, a biomassa das raízes de soja e de milho apresentaram maiores valores na camada de 0 a 10 cm, na média, 1,78 e 3,67 Mg ha⁻¹ respectivamente, decrescendo em profundidade. A contribuição das camadas subsuperficiais (20 a 30 e 30 a 40 cm) é pequena, de somente 17 % na soja e 13 % no milho, em relação à produção total das raízes.

Tabela 7. Produção de biomassa de raízes de soja no sistema de cultivo monocultura e milho no sistema de cultivo rotação na safra 2015/16 em função da intensidade de pastejo e camada de solo em sistema integrado com ovinos

Camada de solo	Intensidade de pastejo		Média
	Moderada	Baixa	
----- cm -----	Soja em monocultura (Mg ha ⁻¹)		
0-10	1,68	1,89	1,78 a
10-20	0,49	0,32	0,41 b
20-30	0,26	0,20	0,23 c
30-40	0,23	0,18	0,21 c
Média	0,67 ^{ns}	0,65	CV: 40 %
Acúmulo (0-40)	2,66	2,59	
----- cm -----	Milho em rotação (Mg ha ⁻¹)		
0-10	3,67	3,66	3,67 a
10-20	0,51	0,49	0,50 b
20-30	0,38	0,36	0,37 bc
30-40	0,19	0,28	0,24 c
Média	1,19 ^{ns}	1,20	CV: 29 %
Acúmulo (0-40)	4,75	4,79	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de *Tukey*; ns = não significativo. CV: coeficiente de variação.

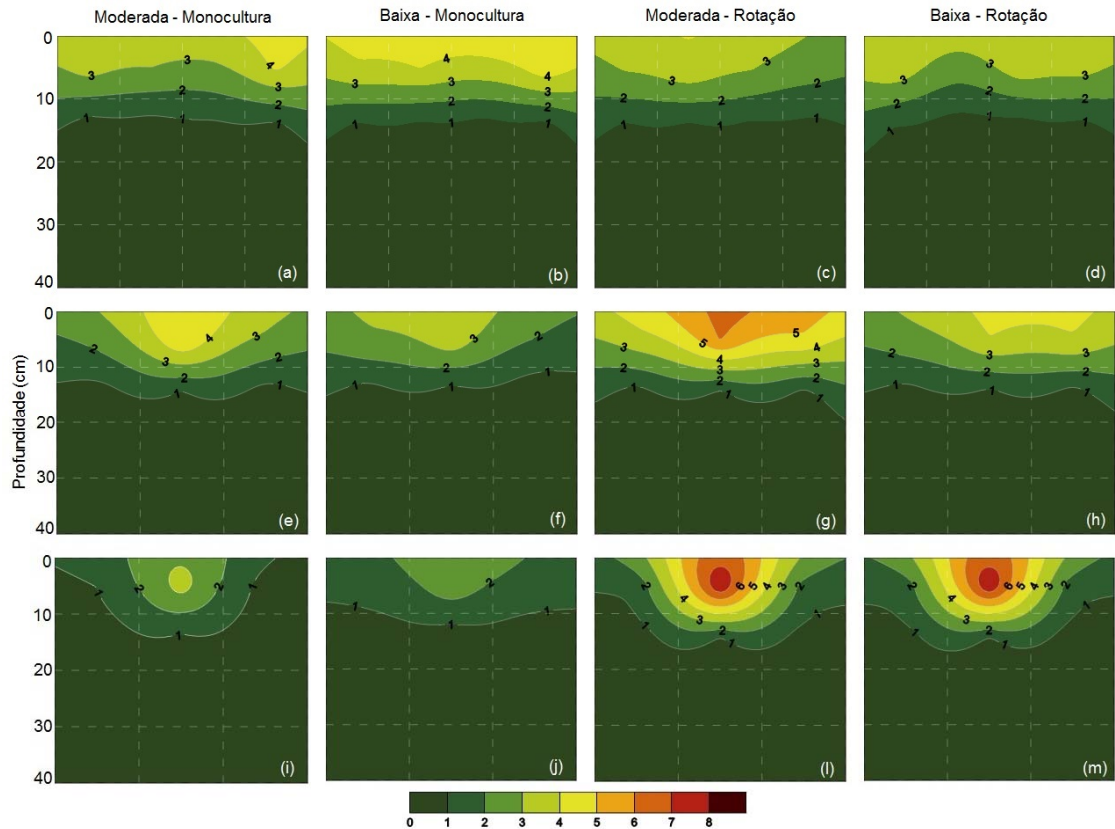


Figura 18. Distribuição bidimensional da matéria seca das raízes (Mg ha^{-1}) para as culturas azevém (a, b, c, d), soja (e, f, g, h, i, j) e milho (l, m) em função das intensidades de pastejo (moderada e baixa) e sistema de cultivo (monocultura e rotação) no perfil do solo. ⁽¹⁾ Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação.

4. Discussão

A ausência de diferença na produção de biomassa do azevém, independentemente da intensidade de pastejo e o sistema de cultivo de verão (Tabela 5), provavelmente ocorreu devido aos teores adequados de P e K, especialmente na camada superficial (Figura 17). Além disso, não foram verificados períodos de déficit hídrico durante o desenvolvimento da forrageira (Figura 16a) e as intensidade de pastejo adotadas no presente trabalho podem ter sido pouco diferenciadas. É importante salientar que a avaliação da biomassa de raízes do azevém reflete a condição existente na segunda quinzena do mês de setembro de 2014 (transição do final do inverno para a o início da primavera) período que antecede o florescimento da cultura. Os resultados deste trabalho

estão em desacordo com alguns outros estudos em SIPA, como o de Souza et al. (2008), em que a maior intensidade da desfolhação das plantas forrageiras, induz ao maior incremento do crescimento radicular. Esses resultados podem ser reflexos, em parte, da dificuldade e da complexidade nas amostragens de raízes (métodos de coleta e de separação), mas também podem sugerir que a boa umidade e ausência de compactação do solo tenham possibilitado o adequado crescimento das raízes (Figura 18 a, d).

Os valores da biomassa radicular do azevém encontrados na camada 0 a 10 cm (3,12 a 4,03 Mg ha⁻¹) podem ser considerados baixos quando comparada à avaliação realizada no primeiro ciclo de pastejo (inverno de 2003), no mesmo experimento. Neste estudo, Lunardi (2005) obteve uma produção média de biomassa de raiz de 5,67 e 6,61 Mg ha⁻¹ para as intensidades de pastejo moderada e baixa, respectivamente. Esta maior biomassa radicular pode ser atribuída ao efeito do calcário recém aplicado na área experimental e, conseqüentemente, menor efeito da acidez em relação à atual (Figura 17 a,b). Por outro lado, Souza et al. (2008) encontraram menor biomassa de raízes (consórcio de aveia preta e azevém) aos do presente trabalho, em sistema integrado soja-bovinos de corte, também de longo prazo. A biomassa radicular naquele trabalho, na camada de 0 a 10 cm foi de 1,47, 1,23 e 1,10 Mg ha⁻¹, para as alturas de pastejo de 10, 20 e 40 cm, respectivamente.

Apesar da predominância de biomassa radicular de azevém na camada 0 a 10 cm de solo, verifica-se uma contribuição expressiva (soma das camadas 1,03 Mg ha⁻¹) das camadas 10 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm de solo. Esta característica é desejável do ponto de vista agrônomo, pois aumenta a capacidade dessa forrageira de absorver água e nutrientes do perfil do solo. Além disto, possibilita às plantas suportar situações de déficit hídrico durante o ciclo do pastejo.

A falta de efeito das distintas intensidades de pastejo no período hibernal na produção de biomassa radicular das culturas de grãos (soja e milho) cultivadas em sucessão (Tabelas 6 e 7) também foi verificado na cultura do milho por Silva et al. (2000). Segundo os autores, o sistema de manejo (plantio convencional e plantio direto) afeta de forma mais pronunciada a densidade de raízes de milho do que o manejo dos animais no período hibernal. Para a cultura da soja, os resultados encontrados foram semelhantes aos de Bonetti et al.

(2015), que não verificaram influência das intensidades de pastejo no desenvolvimento dessa cultura. Em ambos os estudos, os autores salientam que o *bom pastejo* não prejudica o desenvolvimento das culturas de grãos na sequência. Tais resultados podem ser consequência dos benefícios indiretos que os SIPA proporcionam ao solo, como aumento da sua qualidade física (Bonetti et al., 2015), química (Assmann et al., 2017) e biológica (Franzluebbers & Stuedemann, 2015), que determinam uma melhor resiliência do solo à perturbação (Bonetti et al., 2017).

A produção de biomassa radicular de soja e milho (Tabelas 6 e 7) verificada neste estudo, sob uma condição de solo ácido, altos teores de fósforo e potássio disponível e em condições de déficit hídrico estão em acordo com relatos de Bonetti et al. (2015), Franchini et al. (2017) e Moraes (2017). Tal comportamento é ditado pelas condições que ocorrem na camada de 0 a 10 cm, onde concentra a maior parte das raízes (Figura 18), como pH mais alto, Al mais baixo e maior disponibilidade de P e K (Figura 17). Além disso, a alta saturação por alumínio na profundidade abaixo de 10 cm pode estar acarretando no comportamento verificado no presente trabalho (Figura 12c). Pelos resultados de Venzke Filho et al. (2004), 36 e 30 % das raízes de soja e milho, distribuem-se nos primeiros 10 cm do solo, valores bem menores do que aqui verificados, em média, 71% das raízes de soja (média de duas safras) e 77% para raízes de milho, além de 77% para as raízes de azevém.

A distribuição radicular no perfil do solo evidencia a importância do cultivo intercalado de culturas anuais com distintos sistemas radiculares (Figura 18). As raízes de milho não só penetraram mais que do que as raízes de soja no perfil do solo, como também ocuparam um maior volume de solo (Figuras 18 l, m). Isto pode justificar a maior biomassa radicular da soja (Tabela 6) quando cultivada de forma intercalada com o milho em comparação com soja em monocultura. A decomposição das raízes de milho pode estar deixando canais e galerias no interior do solo, favorecendo o crescimento das raízes da soja em sucessão.

5. Conclusões

A presença de ovinos em diferentes intensidades de pastejo não altera a produção de biomassa radicular do azevém no perfil do solo, independentemente do sistema de cultivo adotado na fase lavoura.

Não ocorrem alterações na produção de biomassa das raízes de soja e milho, independentemente das intensidades de pastejo adotadas no período hibernar.

A ausência de efeito do pastejo animal no desenvolvimento radicular é atribuída ao adequado estado de fertilidade do solo e menor acidez do solo, especialmente na camada superficial onde se encontra a maior parte das raízes.

CAPÍTULO VI - Desenvolvimento de azevém em intensidade de pastejo afetando a composição e decomposição de esterco de ovinos em Sistema Integrado de Grãos¹

1. Introdução

Os sistemas agrícolas que integram culturas de grãos e pecuária na mesma área e de forma sequencial podem proporcionar oportunidades para capturar naturalmente as interações ecológicas, tornando-os mais eficientes na ciclagem e aproveitamento de nutrientes pelos cultivos (Franzluebbers, 2017). Nesses sistemas, a deposição e a decomposição do esterco dos animais durante o ciclo de pastejo resultam em liberação contínua de nutrientes para as plantas forrageiras. Essa contribuição é relevante, pois 70 a 95% dos nutrientes ingeridos pelos animais durante o ciclo do pastejo são excretados e, posteriormente, reaproveitados (Martens & Entz, 2011).

Os trabalhos envolvendo a decomposição e liberação de nutrientes do esterco dos animais em sistemas integrados no Sul do Brasil (Kozelinski, 2009; Adami, 2009; Saraiva, 2010; Assmann et al., 2017) não consideram a mudança no estado nutricional das plantas forrageiras ao longo do estágio de desenvolvimento da pastagem. Além disso, esses trabalhos apresentam como ponto de partida, da decomposição e liberação de nutrientes do esterco no momento de implementação do cultivo subsequente (lavoura). O que, de fato, ocorre é a sua decomposição, a partir da excreção, ainda dentro do ciclo de pastejo. Neste contexto, os efeitos da inserção do animal em diferentes intensidades de pastejo também podem afetar os padrões de alocação dos nutrientes e a digestibilidade das plantas forrageiras (Semmartin et al., 2008) e,

¹artigo submetido à *Nutrient Cycling in Agroecosystems* em janeiro de 2019.

consequentemente, a composição química e taxa de decomposição do esterco (Shand & Coutts, 2006).

O impacto da intensidade de pastejo influencia diretamente na área foliar e respectiva capacidade de interceptação luminosa na planta, afetando seu crescimento (rebrotas da forragem) e outras características estruturais, como a relação folha:colmo, composição botânica e dinâmica do perfilhamento (Kunrath et al., 2015). Normalmente, os teores de nutrientes tendem a ser mais altos nos tecidos jovens do que nos tecidos velhos (Whitehead, 2000). Com o crescimento da forragem, ocorre também aumento dos teores de componentes estruturais (hemicelulose, celulose, lignina e sílica) e diminuição dos níveis de componentes solúveis (aminoácidos, proteínas, lipídios e amido) (Briske et al., 2008). Em função da maior ou menor proporção desses componentes, estruturais e solúveis, haverá degradação mais lenta e mais rápida, respectivamente (Moreira & Siqueira, 2006).

A decomposição do esterco depende não apenas da qualidade da vegetação consumida pelos animais, mas também, das características intrínsecas dos elementos minerais. Enquanto o potássio, apresenta rápida velocidade de liberação para o solo (Haynes & Williams, 1993), em virtude de não estar associado a nenhuma estrutura orgânica, o fósforo está presente em formas insolúveis (orgânicas) e solúvel (inorgânicas), apresentando comportamento distinto de liberação para o solo (Moreira & Siqueira, 2006), sendo predominantemente liberado pela ação microbiológica (Braz et al., 2002). Diante disso, espera-se que decomposição do esterco em diferentes intensidades de pastejo e estádios de desenvolvimento da pastagem modifiquem a taxa de liberação dos nutrientes e o estado nutricional da pastagem.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a decomposição e ciclagem de fósforo e potássio do esterco dos ovinos ao longo do desenvolvimento do azevém em diferentes intensidades de pastejo no período hibernar em integração com soja e milho no período estival.

2. Material e métodos

Informações sobre a caracterização do local, delineamento experimental, tratamentos e manejo da área experimental foram apresentados no Capítulo III.

2.1 Amostragens e determinações

As avaliações deste estudo constaram de duas intensidades de pastejo em pastoreio contínuo de ovinos, duas épocas de amostragem dos esterco e dois anos de avaliação. As intensidades de pastejo foram definidas por ofertas de forragem que representassem 2,5 (moderada) e 5,0 (baixa) vezes o potencial de consumo diário dos ovinos que é 4% do peso vivo. As amostragens dos esterco foram definidas com base no estágio de desenvolvimento do azevém (vegetativo e pós-florescimento) e os anos avaliados foram o período hibernar de 2015 e 2016. Os esterco dos ovinos foram provenientes da fase pastagem do sistema integrado no período inverno/primavera. Neste período, realizou-se a coleta total de esterco de três animais machos por meio de bolsas coletoras com duração de 24 horas, com aproximadamente 1,0 kg. O material coletado foi seco em estufa de circulação de ar forçado (55°C) até peso constante.

A decomposição do esterco e conseqüentemente liberação de fósforo e potássio foi avaliada em sacos de decomposição (*litter bags*), conforme Wieder & Lang (1982). Amostras de 10 gramas do esterco foram colocadas em sacos de tela de nylon com malha de 2 mm, medindo 10 x 10 cm. Posteriormente, os sacos foram distribuídos na superfície do solo em dois momentos (Figura 19): durante o ciclo do pastejo dos animais (25/09/2015 e 29/09/2016) e na semeadura das culturas de grãos (08/11/2015 e 22/11/2016). No ciclo de pastejo, os sacos de decomposição foram alocados debaixo de uma grade metálica com altura de 15 cm, de modo que os animais realizassem o pastejo do azevém sem pisoteio e danificação dos sacos de decomposição. Foram distribuídos oitenta sacos de decomposição em cada intensidade de pastejo, correspondendo a 10

datas de coletas de oito sacos. As coletas foram efetuadas ao longo do tempo na seguinte forma: três (3) semanalmente, seguidas de três (3) quinzenalmente, três (3) mensalmente e uma (1) bimensalmente. No laboratório, o esterco residual foi seco e pesado, para posterior determinação da quantidade de fósforo e potássio remanescente (Tedesco et al., 1995).

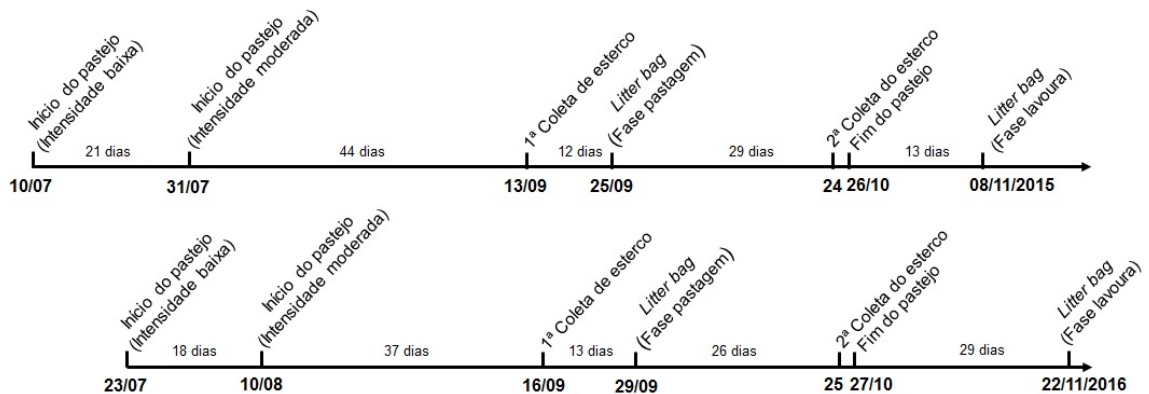


Figura 19. Esquema do início e término do ciclo de pastejo, amostragem dos estercos e alocação dos sacos de decomposição (*litter bags*) nas unidades experimentais em diferentes anos do sistema ovinos em pastejo no período hibernar em sistema integrado com ovinos.

2.2 Análise estatística

Para a avaliação do efeito da época de decomposição (fase pastagem e lavoura) do esterco dos ovinos foi considerada a média conjunta das dez datas de amostragem dos sacos de decomposição. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), a 5% de probabilidade, utilizando o software SAS versão 9.0 (SAS Institute, 2003), conforme o modelo: $Y_{ijkl} = \mu + B_i + l_j + \text{erro a (ij)} + A_k + l_j A_k + \text{erro b (ijk)} + E_l + l_j E_l + A_k E_l + l_j A_k E_l + \text{erro c (ijkl)}$; onde: μ = média geral do experimento; B = blocos (i=1,2,3,4); I = intensidade de pastejo (j=1,2); A = ano (k=1,2); E = época de amostragem (l=1,2) e Erro = erro experimental.

Adicionalmente, conforme a ANOVA ($p > 0,05$), procedeu-se a análise das taxas de decomposição e de liberação de fósforo e potássio do esterco dos ovinos pelos modelos propostos por Wieder & Lang (1982), onde:

$$K (\%) = A * \exp(-k^1 * t) + (100-A) \quad (3)$$

$$\mathbf{P \ e \ MSR \ (\%)} = A * \exp^{(-k_1 * t)} + (100-A) * \exp^{(-k_2 * t)} \quad \mathbf{(4)}$$

em que: K, P e MSR: potássio, fósforo e matéria seca remanescente do esterco; k_1 : constante de decomposição do compartimento mais facilmente decomponível (A); k_2 : constante de decomposição do compartimento mais recalcitrante (100-A); t: tempo, em dias.

A partir dos valores da constante de decomposição dos nutrientes do compartimento “A” e “100-A”, foram calculados os tempos de meia vida ($t^{1/2}$), ou seja, o tempo necessário para que 50 % da MS ou dos nutrientes daquele compartimento sejam decompostos ou liberados (Plante & Parton, 2007).

$$t^{1/2} = \frac{0,693}{k_1 \text{ ou } k_2} \quad \mathbf{(5)}$$

onde, k_1 é a taxa constante de decomposição/liberação dos nutrientes do compartimento “A” e k_2 é a taxa constante de decomposição/liberação do compartimento “100-A”.

No caso de haver diferenças pela ANOVA ($p > 0,05$), as médias da taxa de decomposição e de liberação de fósforo e potássio do esterco dos ovinos foram comparadas pelo teste de *Tukey* ($p > 0,05$).

2.3 Liberação de fósforo e potássio dos esterco dos ovinos ao longo do tempo

Com relação à liberação dos nutrientes do esterco dos animais realizou-se uma abordagem diferenciada daquela utilizada para os resíduos vegetais (Assmann et al., 2017). Nesta situação, os resíduos vegetais são depositados na superfície do solo, na sua totalidade após as práticas de manejo, tais como a dessecação e colheita. Assim, a liberação dos nutrientes nos resíduos vegetais tende a apresentar uma maior liberação inicial desses nutrientes em comparação aos resíduos dos animais (esterco).

Nas áreas pastejadas dos SIPA, os esterco dos animais são depositados diariamente ao longo do ciclo do pastejo hibernar proporcionando diferentes estágios de decomposição dos esterco na superfície do solo. No presente estudo, considerou-se essa heterogeneidade de decomposição do esterco para estimar, via modelagem, a liberação de P e K. Para isso, realizou-

se a aplicação de uma matriz de ordem decrescente dos dias de decomposição dos esterco ao longo do ciclo de pastejo. É importante salientar que o ajuste dos modelos através da matriz permite apenas a obtenção de tendências mais precisas, pois a composição química e a consistência do esterco dos animais variam com a dieta (Haynes & Williams, 1993).

As informações das constantes (A , $100-A$, k_1 e k_2), necessárias para implementação nas equações (Eq. 3 e 4), foram calculadas com o *software* SigmaPlot®. Posteriormente, as constantes obtidas foram substituídas em uma matriz de ordem decrescente (planilha de Excel), dos dias de decomposição do esterco no campo. Considerou-se o primeiro dia de pastejo como sendo o tempo máximo para decomposição e liberação dos nutrientes do esterco ($t=200$ dias). Nos demais dias de pastejo, esse tempo de decomposição é reduzido gradativamente ao longo do ciclo de pastejo.

A condição de heterogeneidade da liberação dos nutrientes do esterco ao longo do tempo foi assumida para a realização da base de cálculos. Assim, para cada novo dia de pastejo, considerou-se como sendo o primeiro dia de decomposição e liberação dos nutrientes para o solo.

$$K \text{ (kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = \{100-[A \cdot \exp(-k_1 \cdot t) + (100-A)] \cdot Q_i\} / 100 \quad (6)$$

$$P \text{ (kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = \{100-[A \cdot \exp(-k_1 \cdot t) + (100-A) \cdot \exp(-k_2 \cdot t)] \cdot Q_i\} / 100 \quad (7)$$

onde: Q_i é a quantidade inicial de P e K ($\text{Kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) dos esterco dos ovinos em cada época de decomposição e ano de avaliação, conforme descritos na Tabela 8.

Com base nas equações 6 e 7 foram obtidos os valores de liberação de P e K diariamente ($\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) dos esterco dos ovinos. Assim, para calcular a variação da quantidade liberada dos nutrientes entre os dias realizou-se a subtração conforme equação 8.

$$K \text{ ou } P \text{ (kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = \frac{\text{Total liberado no dia } X - \text{Total liberado no dia } X_n}{X_n} \quad (8)$$

onde: X representa o dia posterior da liberação dos nutrientes e X_n o dia anterior da liberação dos nutrientes.

Em seguida, realizou-se o somatório da quantidade liberada de P e K ao longo do ciclo de pastejo na matriz de ordem decrescente dos dias (máximo

200 dias), permitindo, assim, quantificar a cada dez dias a liberação cumulativa de P e K que retorna para o solo.

3. Resultados

3.1 Precipitação pluviométrica

A precipitação pluviométrica acumulada até os trinta dias após a distribuição dos sacos de decomposição na superfície do solo apresentou comportamento distinto entre as épocas de avaliação da decomposição dos esterco (Figura 20). Nesse período, verificaram-se os maiores volumes de precipitação acumulada na época pastagem: 271 e 253 mm, em comparação à época lavoura: 95 e 83 mm para ambos os anos avaliados: 2015 e 2016, respectivamente.

Quanto ao volume de precipitação pluviométrica acumulada após 200 dias da distribuição dos sacos de decomposição no campo, constatou-se um maior acúmulo de precipitação para os resíduos depositados em 2015: média de 1.110 mm, em comparação a 2016: média de 911 mm, independentemente da época de decomposição avaliada (Figura 20 a,b).

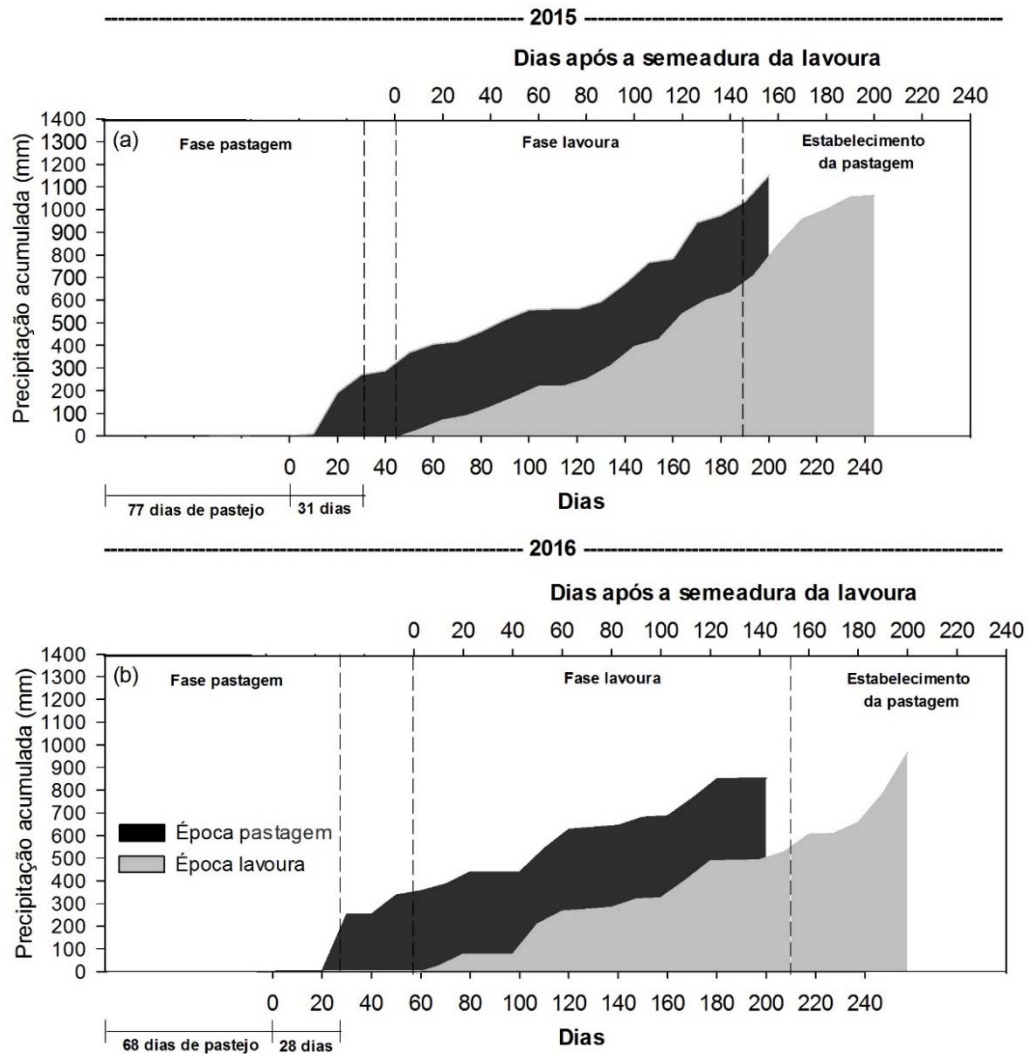


Figura 20. Precipitação pluviométrica acumulada (mm) para cada época de avaliação da decomposição e liberação de nutrientes do esterco dos ovinos nos anos de 2015 (a) e 2016 (b) em sistema integrado de produção de grãos e ovinos.

3.2 Teores e quantidade de fósforo e potássio no esterco

Os teores de P e K no esterco dos ovinos foram maiores na época pastagem em comparação à época lavoura para ambos os anos de avaliação da sua decomposição no campo (Tabela 8). Em média, os teores desses nutrientes do esterco dos ovinos da época pastagem foram 16 e 7 % superior em relação à época lavoura, respectivamente.

Tabela 8. Teores de fósforo e potássio no esterco em diferentes épocas de decomposição e anos de avaliação em sistema integrado de produção de grãos e ovinos

Épocas de decomposição	Nº médio de animais por hectare	Esterco ⁽¹⁾ excretado por animal - g dia ⁻¹ -	Total de esterco adicionado kg ha ⁻¹ dia ⁻¹	Teor no esterco		Quantidade adicionada	
				P ---- g kg ⁻¹ ----	K ---- g kg ⁻¹ ----	P -- g ha ⁻¹ dia ⁻¹ --	K -- g ha ⁻¹ dia ⁻¹ --
----- 2015 -----							
Pastagem	28	290	8,1	11,7	24,8	95,0	201,4
Lavoura	28	290	8,1	10,6	21,6	86,1	175,4
----- 2016 -----							
Pastagem	19	290	5,5	16,4	25,7	90,4	141,6
Lavoura	19	290	5,5	12,9	25,5	71,1	140,5

⁽¹⁾ Dados não publicados, cedidos por Jean Victor Savian.

A quantidade total diária de esterco dos ovinos depositado na superfície do solo está diretamente relacionada com a quantidade excretada por animal por dia e pelo número de animais por hectare (carga animal). Considerando que a quantidade excretada por animal¹ seja de aproximadamente 290 g dia⁻¹, verificou-se que o período hibernar de 2015 proporcionou o maior retorno de esterco ao solo (8,12 kg ha⁻¹ dia⁻¹) em comparação a 2016 (5,51 kg ha⁻¹ dia⁻¹). Esse comportamento, somado aos maiores teores de nutrientes nos esterco resultaram nos maiores valores de P e K reciclados diariamente em 2015 (Tabela 8).

Tabela 9. Caracterização química do esterco em diferentes épocas de decomposição e anos de avaliação em sistema integrado de produção de grãos e ovinos

Ano	Épocas de decomposição	----- g kg ⁻¹ -----		
		Celulose	Hemicelulose	Lignina
2015	Pastagem	192	139	149
	Lavoura	203	153	141
2016	Pastagem	180	134	105
	Lavoura	227	179	112

Os esterco dos ovinos decompostos na época lavoura apresentaram uma maior proporção de compostos orgânicos mais complexos e de maior hidrofobicidade quando comparada com a época pastagem (Tabela 9). De maneira geral, o acúmulo foi em média de 13 e 18 % superiores na época lavoura para os teores de celulose e hemicelulose, respectivamente. Por outro lado, o

¹ Dados não publicados, do mesmo experimento, cedidos por Jean Victor Savian.

teor de lignina não apresentou comportamento distinto entre as épocas de decomposição.

3.3 Decomposição do esterco

Os esterco dos ovinos apresentaram uma perda rápida inicial de massa (Figura 21). Aos trinta dias após a colocação dos sacos de decomposição no campo, para ambos os anos avaliados, houve maior decomposição na época pastagem (Figura 21). Essa decomposição representou, em média, 18 % na época pastagem e 13 % para a época lavoura. Por outro lado, aos 200 dias após a colocação dos sacos de decomposição no campo, ainda permanecia na superfície do solo cerca de 60 % e 57 % da matéria seca dos esterco da época pastagem e lavoura, respectivamente (Figura 21).

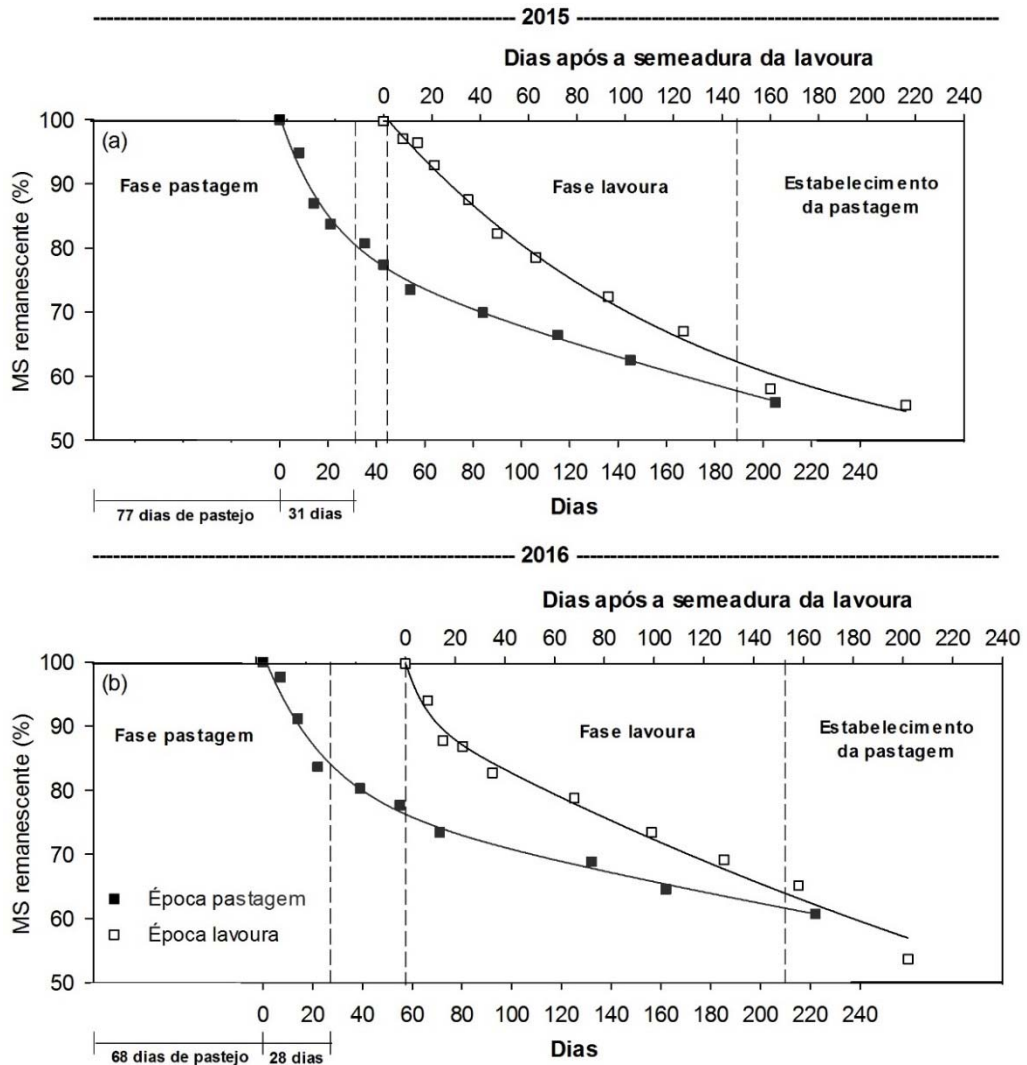


Figura 21. Matéria seca remanescente dos resíduos de esterco ovino em diferentes épocas de decomposição e anos de avaliação 2015 (a) e 2016 (b) em sistema integração de produção de grãos e ovinos.

Com relação aos modelos avaliados, verificou-se que o modelo exponencial duplo forneceu o melhor ajuste para a matéria seca remanescente (MSR) dos esterco (Tabela 10). O maior percentual da MSR do esterco foi verificado no compartimento mais recalcitrante (64 a 87 %) em relação ao compartimento mais facilmente decomponível considerando-se as épocas de decomposição e anos de avaliação (Tabela 10). Em 2015, o compartimento mais facilmente decomponível (A) não foi influenciado ($p > 0,05$) pela época de decomposição dos esterco (Tabela 10). Neste ano, a taxa de decomposição (k_1) do compartimento “A” foi mais rápida para a época pastagem ($0,0442 \text{ dias}^{-1}$) do que a da época lavoura ($0,0128 \text{ dias}^{-1}$). A maior taxa de decomposição na época pastagem resultou num tempo de meia vida de 16 dias, enquanto, na época lavoura o tempo de meia vida foi de 54 dias. Já a taxa de decomposição

(k2) do compartimento menos facilmente decomponível (100-A) apresentou tempos de meia vida muito maiores: 433 e 462 dias, para a época pastagem e lavoura, respectivamente.

Tabela 10. Parâmetros do modelo exponencial duplo com as taxas de decomposição do esterco dos ovinos, influenciados pelas épocas de decomposição e anos de avaliação em sistema integrado de produção de grãos e ovinos

Épocas de decomposição	Comp. A ⁽¹⁾ ---- % ----	k1 ⁽²⁾ ----- dias ⁻¹ -----	k2 ⁽³⁾ -----	t ^{1/2(4)}		R ²
				A	(100-A)	
----- 2015 -----						
Pastagem	22 a	0,0442 a	0,0016 a	16	433	0,99
Lavoura	36 a	0,0128 b	0,0015 a	54	462	0,99
----- 2016 -----						
Pastagem	21 a	0,0413 a	0,0012 a	17	594	0,99
Lavoura	13 b	0,0623 a	0,0018 a	11	385	0,99

Medias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem pelo teste *Tukey* ($p < 0,05$).
⁽¹⁾ Compartimento lábil; ⁽²⁾ constante de liberação do compartimento lábil; ⁽³⁾ constante de liberação do compartimento recalcitrante; ⁽⁴⁾ Tempo de meia vida.

Já em 2016, a fração mais facilmente decomponível foi influenciada ($p < 0,05$) pelas épocas de decomposição, tendo a época pastagem maior conteúdo lábil do que a época lavoura (Tabela 10). Nesse ano, as taxas de decomposição (k1 e k2) dos compartimentos não diferiram ($p > 0,05$) entre as épocas de decomposição. Além disso, para ambas as épocas de decomposição verificou-se um curto período de meia vida (17 e 11 dias) no compartimento mais prontamente disponível. Por outro lado, o tempo de meia vida da fração recalcitrante (100-A) também foi alto para ambas as épocas de decomposição seguindo o mesmo comportamento de 2015.

3.4 Liberação de fósforo e potássio do esterco

A liberação acumulada de P do esterco foi influenciada pelas épocas de decomposição (Figura 22). A maior quantidade de P liberado ocorreu durante o ciclo de pastejo dos animais, atingindo 4 e 3,2 kg P ha⁻¹ nos anos de 2015 e 2016, respectivamente. Por outro lado, durante o desenvolvimento das culturas de verão, verificou-se uma tendência de estabilização.

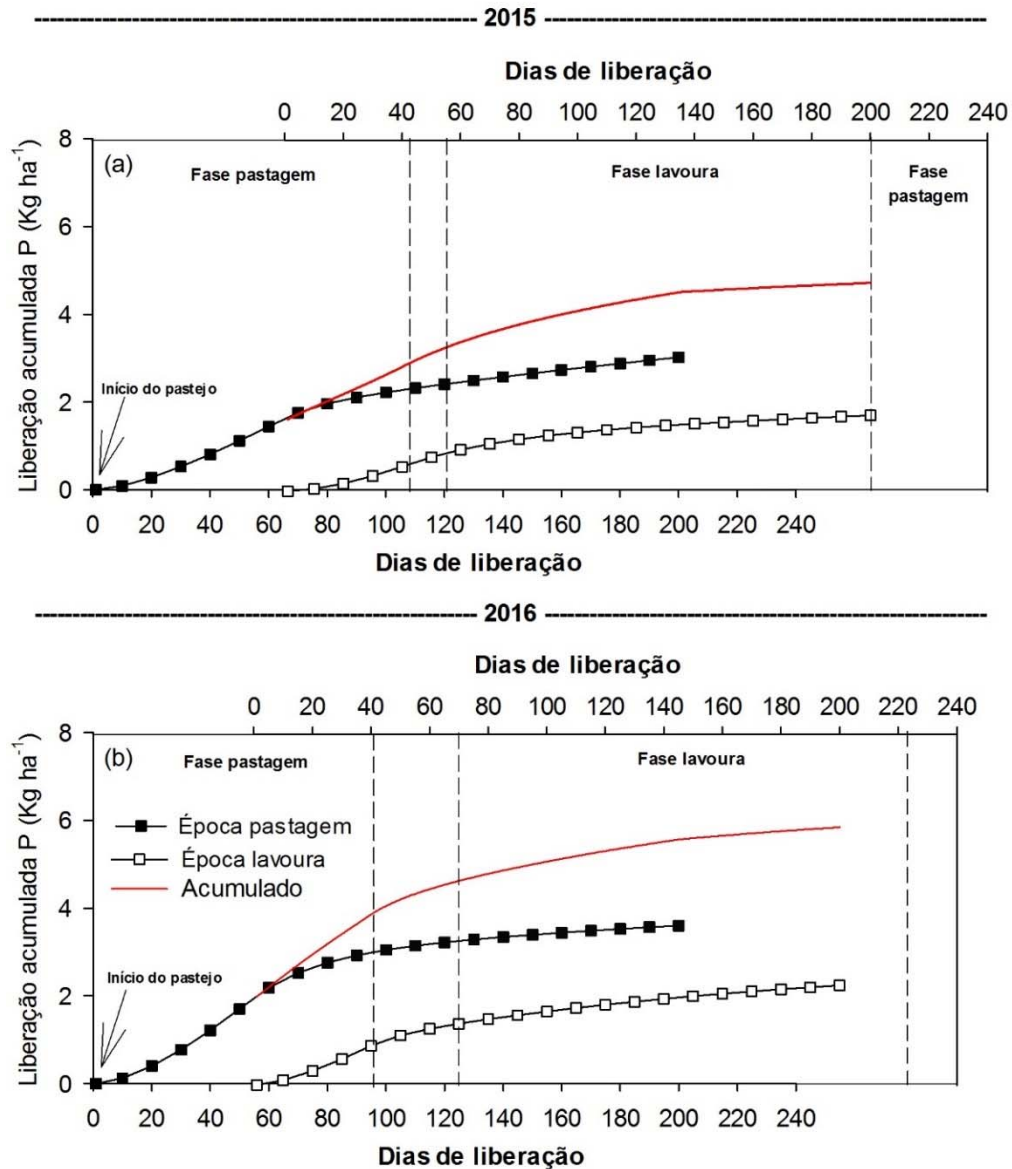


Figura 22. Liberação de fósforo do esterco em diferentes épocas de decomposição e anos de avaliação 2015 (a) e 2016 (b) em sistema integrado de produção de grãos e ovinos.

O modelo que mais se ajustou aos dados do P remanescente foi o modelo exponencial duplo (Tabela 11). Nos dois anos avaliados (2015 e 2016), se constatou alto percentual de P na fração recalcitrante (64 %) em relação a fração lábil (37 %) na média das épocas de decomposição. Entretanto, em 2016, a época pastagem apresentou uma maior proporção de P na fração mais facilmente decomponível (57 %). A constante de decomposição (k_1) do compartimento lábil não foi influenciada ($p > 0,05$) pelas épocas de decomposição em ambos os anos avaliados (Tabela 11). De maneira geral, a fração lábil do P representou uma pequena participação (37 %) do total de fósforo no esterco; porém, essa fração apresenta uma rápida liberação desse nutriente para o solo

(14 dias). Por outro lado, a fração recalcitrante possui alta participação (64 %) do total existente nos esterco; entretanto, essa fração teve uma liberação lenta do esterco para o solo (310 dias).

Tabela 11. Parâmetros do modelo exponencial duplo com as taxas de liberação do fósforo do esterco em diferentes épocas de decomposição e anos de avaliação em sistema integrado de produção de grãos e ovinos

Épocas de decomposição	Comp. A ⁽¹⁾ ---- % ----	k1 ⁽²⁾ ----- dias ⁻¹ -----	k2 ⁽³⁾ -----	t ^{1/2(4)}		R ²
				A ----- dias -----	(100-A)	
----- 2015 -----						
Pastagem	28 a	0,0738 a	0,0022 a	9	319	0,94
Lavoura	33 a	0,0298 a	0,0013 a	23	554	0,95
----- 2016 -----						
Pastagem	57 a	0,0448 a	0,0027 b	15	260	0,97
Lavoura	28 b	0,1027 a	0,0066 a	7	105	0,95

Medias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem pelo teste *Tukey* ($p < 0,05$).
⁽¹⁾ Compartimento lábil; ⁽²⁾ constante de liberação do compartimento lábil; ⁽³⁾ constante de liberação do compartimento recalcitrante; ⁽⁴⁾ Tempo de meia vida.

A dinâmica de liberação acumulada de K do esterco apresentou padrão semelhante entre os anos avaliados (Figura 23), representado por uma fase de liberação rápida nos primeiros 100 dias. Tais resultados indicam, em ambos os anos avaliados, uma maior capacidade de fornecimento de K via esterco durante o ciclo de pastejo e uma liberação gradual com uma tendência de estabilização na fase subsequente (lavoura). Contudo, o modelo estimou que em até 100 dias foram aportadas as maiores quantidades acumuladas de K no ano de 2015 (14,56 kg K ha⁻¹) em comparação ao ano de 2016 (12,23 kg de K ha⁻¹).

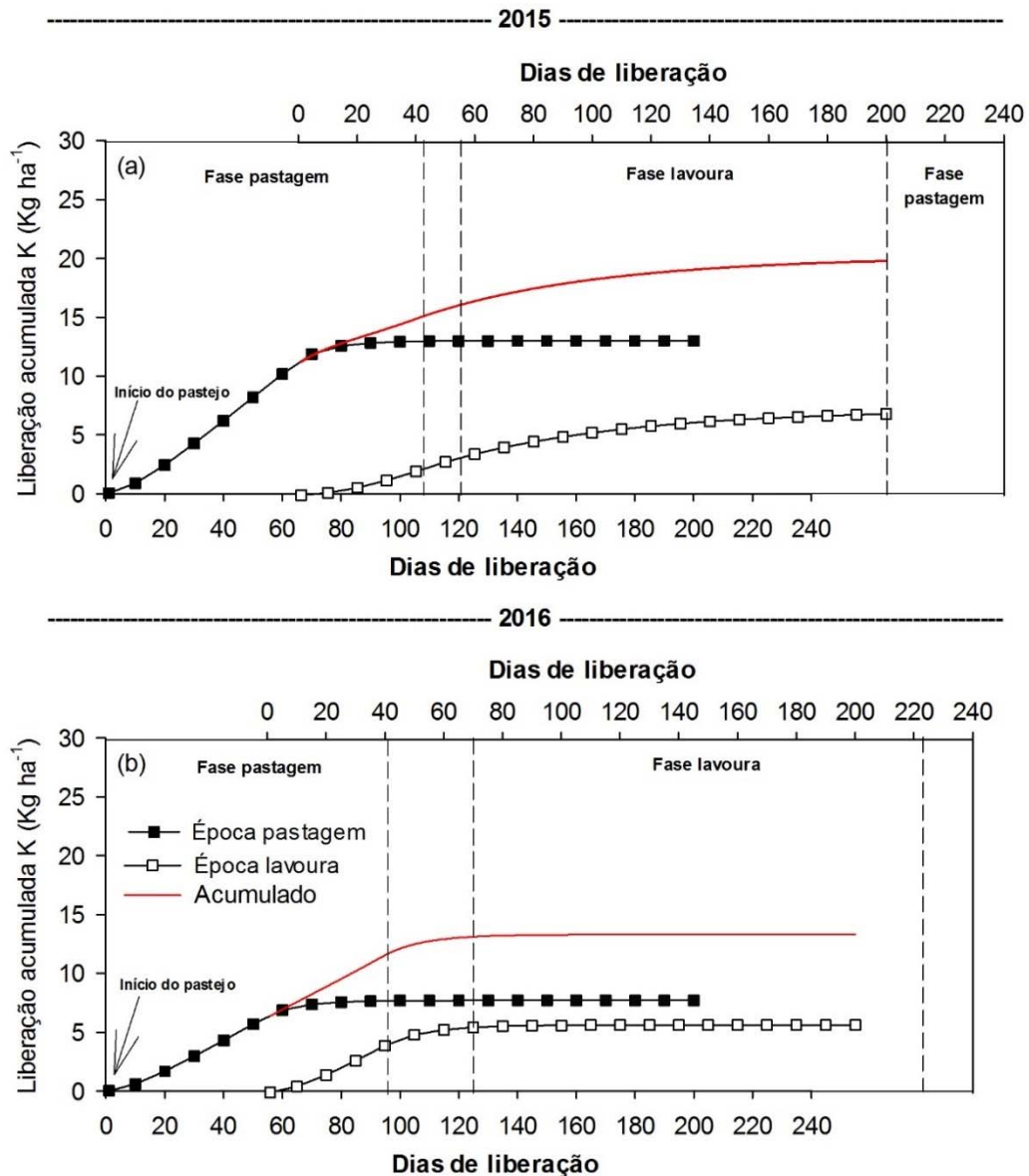


Figura 23. Liberação de potássio do esterco em diferentes épocas de decomposição e anos de avaliação 2015 (a) e 2016 (b) em sistema integrado de produção de grãos e ovinos.

A liberação do K do esterco seguiu um comportamento distinto aos observados pela MSR e P (Tabela 12). Para esse nutriente, a dinâmica da decomposição é unicamente dependente da fração lábil, pois não faz parte de constituintes estruturais dos resíduos. Diante disso, o modelo exponencial simples foi o que melhor se ajustou aos dados. O K no esterco dos ovinos apresentou altos valores no compartimento mais facilmente decomponível (média de 99%) e uma rápida taxa de liberação (média de 8 dias) desse nutriente para o solo (Tabela 12). Contudo, em 2015, na época lavoura, verificou-se um maior tempo de meia vida (43 dias). Nessa época, a constante de decomposição (k_1) foi provavelmente influenciada ($p < 0,05$) pela natureza do resíduo.

Tabela 12. Parâmetros do modelo exponencial simples com as taxas de liberação do potássio do esterco em diferentes épocas de decomposição e anos de avaliação 2015 (a) e 2016 (b) em sistema integrado de produção de grãos e ovinos.

Épocas de decomposição	Comp. A ⁽¹⁾	$k1^{(2)}$	$t^{1/2 (3)}$	R ²
	---- % ----	---- dias ⁻¹ ----	-- dias --	
----- 2015 -----				
Pastagem	99,42 a	0,0943 a	7	0,95
Lavoura	97,66 a	0,0163 b	43	0,92
----- 2016 -----				
Pastagem	100 a	0,0922 a	8	0,97
Lavoura	99,31 a	0,0740 a	9	0,97

Medias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem pelo teste *Tukey* ($p < 0,05$).

⁽¹⁾ Compartimento lábil; ⁽²⁾ constante de liberação; ⁽³⁾ Tempo de meia vida.

A percentagem de P remanescente no esterco apresentou comportamento distinto entre os anos de 2015 e 2016 (Figura 24). No ano de 2015 verificou-se um maior percentual de P remanescente em comparação ao ano de 2016. Por outro lado, o K apresentou uma rápida liberação do esterco dos ovinos em ambos os anos avaliados.

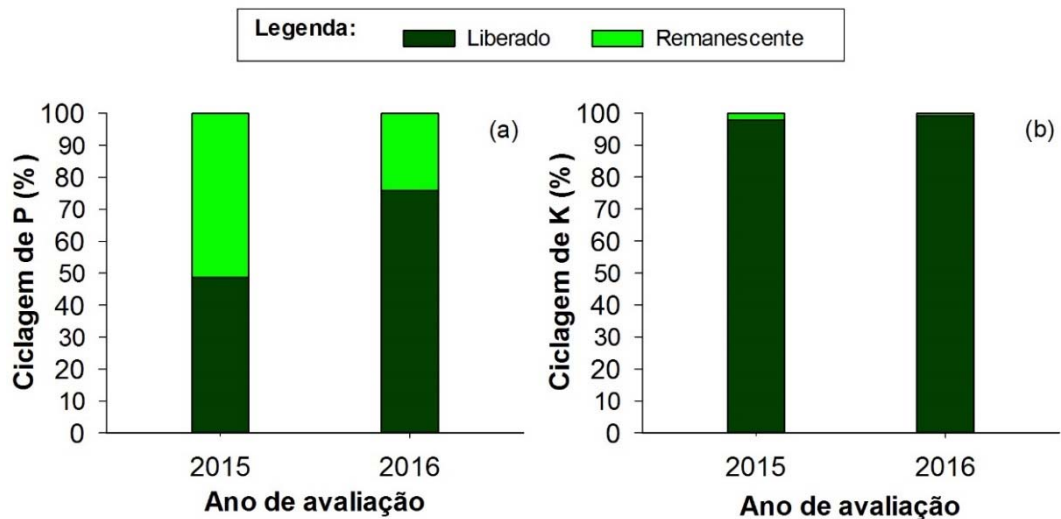


Figura 24. Fração de fósforo (a) e potássio (b) ciclada e remanescente após período de avaliação nos diferentes anos em sistema integrado de produção de grãos e ovinos.

4. Discussão

Contrariamente à nossa hipótese, as diferentes intensidades de pastejo (moderada e baixa) não afetaram ($p > 0,05$) a decomposição e a liberação de P e K do esterco dos ovinos ao longo do tempo. Assim, os resultados são apresentados com base na média das intensidades de pastejo em ambas as épocas de decomposição e anos de avaliação (2015 e 2016). Pode-se inferir que a intensidade de pastejo adotada no presente estudo não proporcionou diferenciação no desenvolvimento do azevém ao longo do ciclo de pastejo. Além disso, os ovinos apresentam uma maior capacidade de seleção de forragem em relação aos bovinos, possibilitando o acesso a folhas frescas com maior valor nutritivo (Carvalho et al., 2005).

Os valores de decomposição obtidos neste estudo indicaram que mais de 50% da massa inicial do resíduo ainda permanecia nos sacos de decomposição após o término do estudo (Figura 21). Provavelmente, o formato com que os esterco dos ovinos são excretados (“bolinha”) e a formação de uma superfície hidrofóbica quando secos podem estar influenciando na diminuição do efeito da precipitação e, conseqüentemente, na sua própria decomposição (Shand & Coutts, 2006; Freitas et al., 2012).

Apesar dessa baixa decomposição dos esterco durante o período experimental, verifica-se uma rápida decomposição nos primeiros trinta dias após a colocação dos sacos de decomposição no campo na época pastagem. Essa rápida taxa de decomposição inicial vai ao encontro de outros estudos (Assmann et al., 2017; Bahamonde et al., 2017), que associaram à lixiviação de componentes solúveis (carboidratos e aminoácidos) e rápida degradação das partes mais lábeis do esterco em decomposição. Além disso, ocorreram, nesse período, altas precipitações pluviométricas (Figura 20), o que indica que os resíduos estavam expostos a uma condição de maior umidade do solo. Somado a isso, constatou-se, também, que as plantas forrageiras sombrearam os sacos de decomposição, favorecendo essa condição de maior umidade do solo e, conseqüentemente, do esterco em decomposição. A decomposição inicial do esterco na época pastagem não teve influência do pisoteio animal, pois os sacos de decomposição eram protegidos por uma grade metálica (altura de 15 cm) que permitia a passagem do pasto e, conseqüentemente, o pastejo dos animais.

Os maiores teores de P e K encontrados nos esterco na época pastagem podem ser justificados pelas maiores quantidades desses nutrientes nas folhas ingeridos pelos animais. No presente estudo, a amostragem dos esterco dos ovinos para avaliação da decomposição na época pastagem coincidiu com o estágio vegetativo do azevém anual que apresenta uma maior proporção de tecidos jovens (folhas). Por outro lado, constatou-se, no final do ciclo de pastejo, uma menor proporção de tecidos jovens e maior proporção de colmos e inflorescências de azevém para os esterco decompostos na época lavoura. Segundo Whitehead (2000), as concentrações de fósforo e potássio tendem a ser mais altas nos tecidos jovens das plantas forrageiras do que nos tecidos velhos. Além disso, a variação dos teores de P e K nos esterco também pode ser explicada pelo consumo de forragem. Possivelmente, os menores teores de P e K decompostos na época lavoura, podem estar relacionados com a redução do consumo de forragem, que induz o animal a aumentar a eficiência da mastigação pela redução do tamanho das partículas e, como consequência, uma maior absorção de P e K das partes das plantas no trato gastrointestinal dos animais (Doreau et al., 2003).

Para proporcionar condição realista da liberação do P e K do esterco dos ovinos, considerou-se que a época pastagem teve início no primeiro dia de pastejo dos animais e término na primeira amostragem do esterco, totalizando 65 e 55 dias de deposição dos esterco dos ovinos na superfície do solo para os anos de 2015 e 2016, respectivamente (Figura 19). Da mesma forma que na época pastagem, alocou-se como início da época lavoura, a primeira amostragem dos esterco e, como término, o último dia de pastejo dos animais, totalizando 43 e 41 dias de deposição nos anos de 2015 e 2016, respectivamente. Com base nos cálculos da matriz de ordem decrescente dos dias constatou-se que a dinâmica de liberação do P e K pode ser dividida em três fases: período inicial, com alta liberação dos nutrientes, período de transição com média liberação e um período final, em que essa liberação se estabiliza (Figuras 22, 23). Tal comportamento é resultado da dinâmica de liberação dos nutrientes dos esterco e do acréscimo dos dias de pastejo na matriz de ordem decrescente de liberação de P e K.

Os resultados, nessa dinâmica de liberação, demonstram que a maior disponibilidade de P ocorreu durante o período de pastejo dos animais, sendo

de 3,4 kg de P ha⁻¹ (Figura 22b). Já nas culturas subsequentes (soja e milho), a quantidade liberada foi de apenas 1,9 kg de P ha⁻¹. Essas quantidades liberadas representam em maior proporção o compartimento lábil e, em menor percentual, o compartimento recalcitrante. Apesar do compartimento lábil determinar a ciclagem de P em curto espaço de tempo, deve-se destacar a alta quantidade no compartimento recalcitrante (Figura 24a), em que, se constatou 3,5 kg de P ha⁻¹, equivalendo a 38 % do total existente após 200 dias de decomposição.

A liberação do K do esterco seguiu um padrão semelhante ao observado do P (Figura 23). Entretanto, os valores liberados foram superiores. A liberação de K foi de 13 kg ha⁻¹ no período de pastejo e 3 kg ha⁻¹, posteriormente, no desenvolvimento das culturas comerciais (soja e milho). Essa rápida liberação se dá em função do K não estar associado a nenhum componente estrutural dos resíduos orgânicos (Haynes & Williams, 1993). Pôde-se constatar que a rápida liberação desse nutriente do esterco ocorre à semelhança dos fertilizantes potássicos. De modo geral, independentemente da época de decomposição e ano, a quantidade remanescente do K após 200 dias de decomposição foi insignificante, totalizando 0,3 kg ha⁻¹ (1 %) do total existente de K no esterco (Figura 24b).

As quantidades de P e K do esterco recicladas em um sistema integrado ovinos-soja/milho são mais relevantes durante o ciclo de pastejo dos animais, mas também relevantes posteriormente no desenvolvimento das culturas de grãos.

5. Conclusões

As intensidades de pastejo durante o período hibernar não afetam a dinâmica de decomposição e liberação de fósforo e potássio no esterco de ovinos, independentemente da época de decomposição desses esterco no campo.

A liberação de fósforo e potássio é diferenciada entre as épocas de avaliação da decomposição do esterco dos ovinos, acarretando em maior disponibilidade desses nutrientes na época pastagem em relação à época lavoura.

O tempo de meia vida do compartimento lábil de fósforo e potássio do esterco dos ovinos é semelhante para ambas as épocas de decomposição e anos avaliados. Apesar dessa similaridade, o fósforo apresenta menor percentual no compartimento lábil quando comparado o potássio. Assim, esse fator contribui para a maior quantidade de potássio quando comparado com o fósforo em ambas as épocas avaliadas.

CAPÍTULO VII - Liberação de fósforo e potássio de resíduos da parte aérea de azevém, soja e milho em Sistema Integrado de Produção de Grãos e Ovinos

1. Introdução

A adoção de novas tecnologias fundamentadas em bases conservacionistas, como os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), têm se destacado como uma estratégia eficaz na ciclagem de nutrientes em solos subtropicais (Anghinoni et al., 2013; Assmann et al., 2017). Nos últimos anos, essa tecnologia apresentou considerável aumento de área, sendo que na safra 2015/16 foram cultivados cerca de 11,5 milhões de hectares nos mais diversos biomas brasileiros (EMBRAPA, 2017).

Nos sistemas integrados, a ciclagem dos nutrientes pelos resíduos dos animais (esterco e urina) proporcionam considerável aporte de nutrientes para o solo. Isto, porque, durante a fase pastagem, via desfolha das plantas forrageiras, os animais consomem apenas uma pequena proporção dos nutrientes e, os que não são utilizados são devolvidos ao solo na forma de excretas (Whitehead, 2000). Entretanto, nesse sistema, a dinâmica dos nutrientes no solo é dependente também do aporte daqueles contidos nos resíduos vegetais, que são muitas vezes negligenciados tanto pelos técnicos como produtores rurais (Borkert et al., 2003). A natureza dos resíduos vegetais e a quantidade depositada desses resíduos na superfície do solo podem ser influenciados tanto com o manejo dos animais no período de pastejo (carga animal) como com a diversidade de culturas comerciais (monocultura e rotação). Estudos em SIPA mostraram que sob intensidade de pastejo moderado há uma maior liberação de fósforo e potássio da parte aérea da forragem no final do seu

ciclo de pastejo em comparação ao pastejo intenso (Ferreira et al., 2011; Assmann et al., 2017). Sob esta condição, por interferir na quantidade de resíduos pós pastejo e, conseqüentemente, no volume de nutrientes que será transferido para a fase lavoura, a intensidade de pastejo é considerada a principal estratégia a ser manejada durante a fase pastagem (Carvalho et al., 2006).

Além da intensidade de pastejo, a diversidade de culturas de grãos tem papel fundamental no aumento da ciclagem de fósforo e potássio pela adição de diferentes quantidades e qualidades de resíduos vegetais depositados na superfície do solo. Assim, da mesma forma que na fase pastagem, após a colheita das culturas de grãos há a deposição e liberação dos nutrientes contidos nos resíduos culturais. Nessa perspectiva, o milho é uma planta com alta eficiência fotossintética (C4), produzindo quantidades de resíduos de parte aérea e raízes muito maior do que a soja (Filho et al., 2004). Esses resíduos apresentam uma dinâmica de decomposição e liberação determinada pela natureza de seus constituintes, assim denominados: lábil e recalcitrante, isto é, de fácil e de difícil decomposição, respectivamente, determinados pelos teores de celulose, hemicelulose e lignina (Moreira & Siqueira, 2006). A decomposição dessas formas (lábil e recalcitrante) pode ser concomitante ou de forma separada sendo primeiro, a lábil e, depois, a recalcitrante (Wider & Lang, 1982; Aita & Giacomini, 2003), conforme a interação entre os fatores climáticos (precipitação e temperatura) e atividade macro e microbiológica do solo (Moreira & Siqueira, 2006). Diante desse contexto, a sustentabilidade nos sistemas integrados depende da adequação entre o manejo da carga animal e das plantas (forrageiras e culturas comerciais) que associadas contribuirão, de forma significativa, ao longo do tempo, para um aumento nos fluxos de nutrientes no solo.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a ciclagem de fósforo e potássio dos resíduos vegetais das fases pastagem e lavoura, influenciados pela intensidade de pastejo em sistema integrado de produção de grãos e ovinos de corte de longa duração.

2. Material e métodos

2.1 Tratamentos avaliados

As informações referentes ao experimento de longa duração foram descritas no Capítulo II (MATERIAL E MÉTODOS). Para este estudo, que aborda a avaliação da decomposição e liberação de P e K dos resíduos vegetais foram analisados os seguintes tratamentos: intensidade moderada de pastejo no inverno e monocultivo soja no verão (Mod/Mon); intensidade baixa de pastejo no inverno e monocultivo soja no verão (Bai/Mon), intensidade moderada de pastejo no inverno e rotação soja/milho no verão (Mod/Rot) e intensidade baixa de pastejo no inverno e rotação soja/milho no verão (Bai/Rot).

2.2 Amostragens e determinações

Neste estudo, foram realizadas diversas amostragens de resíduos vegetais durante o período de três anos (2014, 2015 e 2016) nos compartimentos pastagem e lavoura do sistema. Assim, no compartimento pastagem, após a saída dos animais em 2014 e 2015, foi realizada a amostragem da matéria seca residual do azevém com o auxílio de um gabarito (50 cm x 50 cm) em quatro locais aleatórios nas subparcelas. No compartimento lavoura, a determinação da biomassa das culturas da soja e milho (safras 2014/15 e 2015/16), foi realizada considerando o estágio fenológico das culturas. Assim, na cultura da soja, a estimativa de produção de biomassa das folhas foi realizada na fase de pleno florescimento (R2). Para isso, foram selecionados três locais aleatórios com dois metros lineares em cada subparcela. Além dessa avaliação, coletou-se de forma aleatória no estágio fenológico R7.3, folhas de soja que apresentavam coloração amarelada (senescência) para a colocação nos sacos de decomposição. Para a estimativa de produção de biomassa de caule e vagem, foram selecionados cinco locais aleatórios com dois metros lineares no estágio fenológico R9 (maturação de colheita). A estimativa de produção da biomassa de

caule+folha+bráctea+sabugo das plantas de milho foi realizada em três locais aleatórios de seis metros lineares no estágio fenológico R6. Todos os resíduos vegetais coletados foram pesados após a secagem em estufa de circulação de ar forçado a 55°C até peso constante.

Posteriormente, uma quantidade inicial conhecida dos resíduos vegetais secos (matéria seca do azevém; caule, folha senescente e vagem de soja; caule+folha+bráctea+sabugo de milho) foram colocados em sacos de tela de nylon com malha de 2 mm (sacos de decomposição), medindo 10 x 10 cm para as vagens de soja e 20 x 15 cm para os resíduos de soja (caules e folhas senescentes), milho (caules+folhas+brácteas+sabugos) e matéria seca do azevém. Os sacos de decomposição foram distribuídos no campo em dois momentos distintos: os resíduos de azevém foram distribuídos na semeadura das culturas de grãos e os resíduos culturais da soja e milho foram alocados quinze dias após a colheita das mesmas. Em ambos os momentos, os sacos de decomposição foram distribuídos na superfície do solo e, em cada data de amostragem subsequente, um conjunto escolhido aleatoriamente desses sacos foi coletado. Desta forma, realizou-se dez coletas sendo aos 7, 14, 21, 35, 49, 63, 91, 119, 147 e 203 dias após a alocação na área experimental. Após, cada data de amostragem, os resíduos vegetais foram submetidos à secagem em estufa de circulação de ar forçado a 55°C até peso constante para posterior determinação da quantidade de matéria seca remanescente e dos teores de fósforo e potássio (Tedesco et al. 1995).

2.3 Modelos para a decomposição dos resíduos e liberação dos nutrientes

A matéria seca remanescente e a liberação de P e K dos resíduos vegetais foram relativizados dentro de cada coleta e resíduo vegetal e, de forma separada para cada tratamento, a fim de se converter os dados obtidos em base percentual. Posteriormente, os valores obtidos foram ajustados conforme os modelos propostos por Wieder & Lang (1982).

$$K (\%) = A \cdot \exp^{-k1 \cdot t} + (100-A) \quad (9)$$

$$MSR \text{ e } P (\%) = A \cdot \exp^{-k1 \cdot t} + (100-A) \cdot \exp^{-k2 \cdot t} \quad (10)$$

em que: MSR: porcentagem de matéria seca remanescente; K_1 : constante de decomposição do compartimento mais facilmente decomponível (A); K_2 : constante de decomposição do compartimento mais recalcitrante (100-A) e t: tempo, em dias.

Com a inclusão das taxas (k_1 e k_2) nas equações 9 e 10, foi estimada a liberação de fósforo e fósforo dos resíduos vegetais ao longo do tempo (30, 60, 90 e 120 dias) nos diferentes tratamentos. Com os dados de liberação desses nutrientes, estimou-se a quantidade liberada ao longo do tempo (30, 60, 90 e 120 dias). A partir dos valores da constante de decomposição dos nutrientes do compartimento "A", foi calculado o tempo de meia vida ($t^{1/2}$), ou seja, o tempo necessário para que 50% do resíduo ou dos nutrientes daquele compartimento sejam decompostos ou liberados (Plante & Parton, 2007).

$$t^{1/2} = \frac{0,693}{k_1} \quad (11)$$

onde, k_1 é a taxa constante de liberação dos nutrientes do compartimento "A".

3. Resultados e discussão

3.1 Precipitação pluviométrica e acumulada

Os volumes de precipitação pluviométrica verificados na fase pastagem e lavoura do SIPA (Figuras 25 e 26) influenciaram fortemente na decomposição dos resíduos vegetais. Os sacos de decomposição com azevém, da fase pastagem de 2014, foram expostos ao volume de 812 mm de precipitação pluviométrica (Figura 25a). Já os sacos de decomposição de 2015, com o mesmo resíduo, foram expostos ao volume de 1061 mm de precipitação pluviométrica acumulada (Figura 25b).

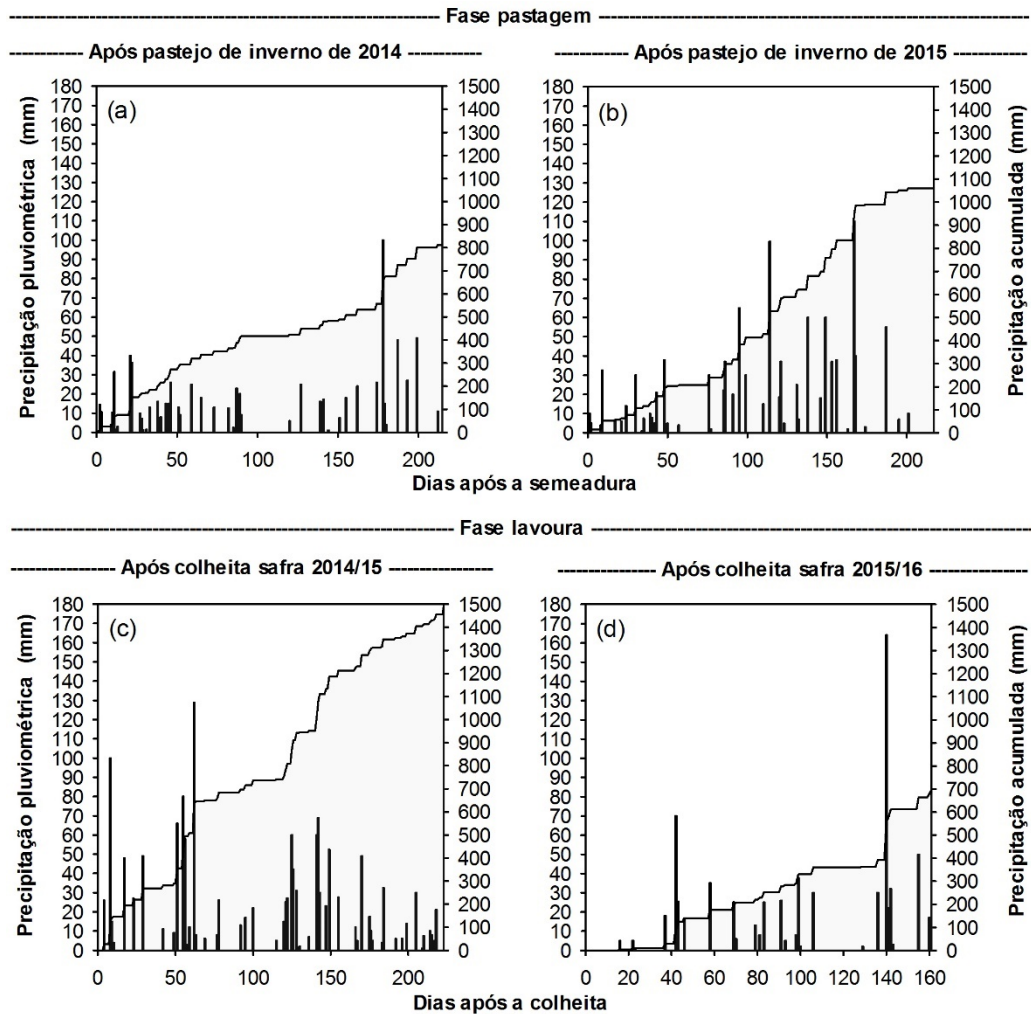


Figura 25. Precipitação pluviométrica diária e acumulada após a deposição dos sacos de decomposição na fase pastagem (a,b) e lavoura (c,d) em sistema integrado de grãos e ovinos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Quanto aos sacos de decomposição com resíduos de caule, folha e vagem de soja, da safra 2014/15, verificou-se que a precipitação pluviométrica acumulada foi de 1495 mm (Figura 25 c), valor superior ao obtido para os sacos de decomposição com resíduos culturais de soja e milho da safra 2015/16, que foi de 698 mm (Figura 25 d). De maneira geral, os volumes de precipitação pluviométrica apresentaram alta variabilidade temporal durante o período de avaliação do experimento no campo.

3.2 Teores de nutrientes nos resíduos vegetais

Os teores de fósforo e potássio nos resíduos vegetais tenderam a se diferenciar entre os anos e safras, compartimentos (espécies) e partes das plantas (soja), porém não entre as intensidades de pastejo ou sistemas de cultivo (Tabela 13).

Tabela 13. Teores de fósforo e potássio dos resíduos vegetais do componente pastagem e lavoura colocados nos sacos de decomposição em sistema integrado de produção de grãos e ovinos de corte

Compartimento / Época	Resíduo	Fósforo				Potássio			
		Mod / Mon ⁽¹⁾	Bai / Mon	Mod / Rot	Bai / Rot	Mod / Mon	Bai / Mon	Mod / Rot	Bai / Rot
----- g kg ⁻¹ -----									
Pastagem									
2014	Azevém	2,05	2,46	2,50	2,41	8,62	9,11	8,12	8,66
2015	Azevém	2,57	2,53	2,47	2,69	10,87	10,97	10,33	11,84
Lavoura									
Safrá 2014/15	Caule de soja	0,73	0,74	0,88	0,70	6,31	7,76	13,04	10,07
	Folha de soja	1,31	1,06	1,27	1,10	10,79	11,46	14,92	14,02
	Vagem de soja	0,86	0,69	0,82	0,65	17,35	18,87	26,24	24,44
Safrá 2015/16	Caule de soja	1,56	1,58	-	-	8,36	7,56	-	-
	Folha de soja	2,07	1,99	-	-	13,94	14,04	-	-
	Vagem de soja	1,62	1,92	-	-	13,82	14,61	-	-
	Planta milho	-	-	1,11	0,96	-	-	11,58	11,89

⁽¹⁾ Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação.

3.3 Decomposição dos resíduos vegetais

O modelo exponencial simples se mostrou como o mais adequado aos dados de massa remanescente dos resíduos vegetais ao longo do tempo (Figura 26). Assim, foi possível estimar, através desse modelo, o tempo de meia vida ($t^{1/2}$) da decomposição dos resíduos vegetais, ou seja, o tempo necessário para que 50 % da matéria seca seja decomposta (Tabela 14). Verifica-se, a partir dessa medida, que os resíduos de azevém do ciclo de pastejo de 2015, apresentaram decomposição mais acelerada em relação a 2014, independentemente dos manejos do pasto ou sistema de cultivo (Figura 26 a,b).

Esse comportamento pode ser resultado do maior volume de precipitação pluviométrica em 2015 (1061 mm), em comparação a 2014 (812 mm), com os tempos de meia vida de 297 dias e 127 dias, respectivamente (Tabela 14), o que se reflete na influência da maior umidade do solo no desempenho dos microrganismos do solo.

Tabela 14. Tempo de meia vida ($t^{1/2}$) necessário para decomposição de 50% dos resíduos em sistema integrado com ovinos

Resíduo	Tratamento ⁽¹⁾			
	Mod / Mon	Bai / Mon	Mod / Rot	Bai / Rot
----- dias -----				
----- Após pastejo de inverno de 2014 -----				
Azevém	495	182	330	182
----- Após pastejo de inverno de 2015 -----				
Azevém	136	119	133	122
----- Após colheita safra 2014/15 -----				
Caule de soja	330	301	365	277
Folha de soja	124	74	107	80
Vagem de soja	151	112	110	94
----- Após colheita safra 2015/16 -----				
Caule de soja	248	231	-	-
Folha de soja	114	102	-	-
Vagem de soja	136	110	-	-
Planta de milho	-	-	204	210

⁽¹⁾ Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação.

O caule de soja apresentou maior resistência à decomposição em comparação aos resíduos de folha e vagem de soja, conforme indicam seus tempos de meia vida (Tabela 14). Para o caule de soja foram verificados cerca de 50 % da matéria seca remanescente após 222 dias de alocação dos sacos de decomposição no campo (Figura 26c), enquanto para a folha e a vagem da soja a quantidade remanescente foi de aproximadamente 30 % e 40 %, respectivamente (Figura 26e), para o mesmo período avaliado.

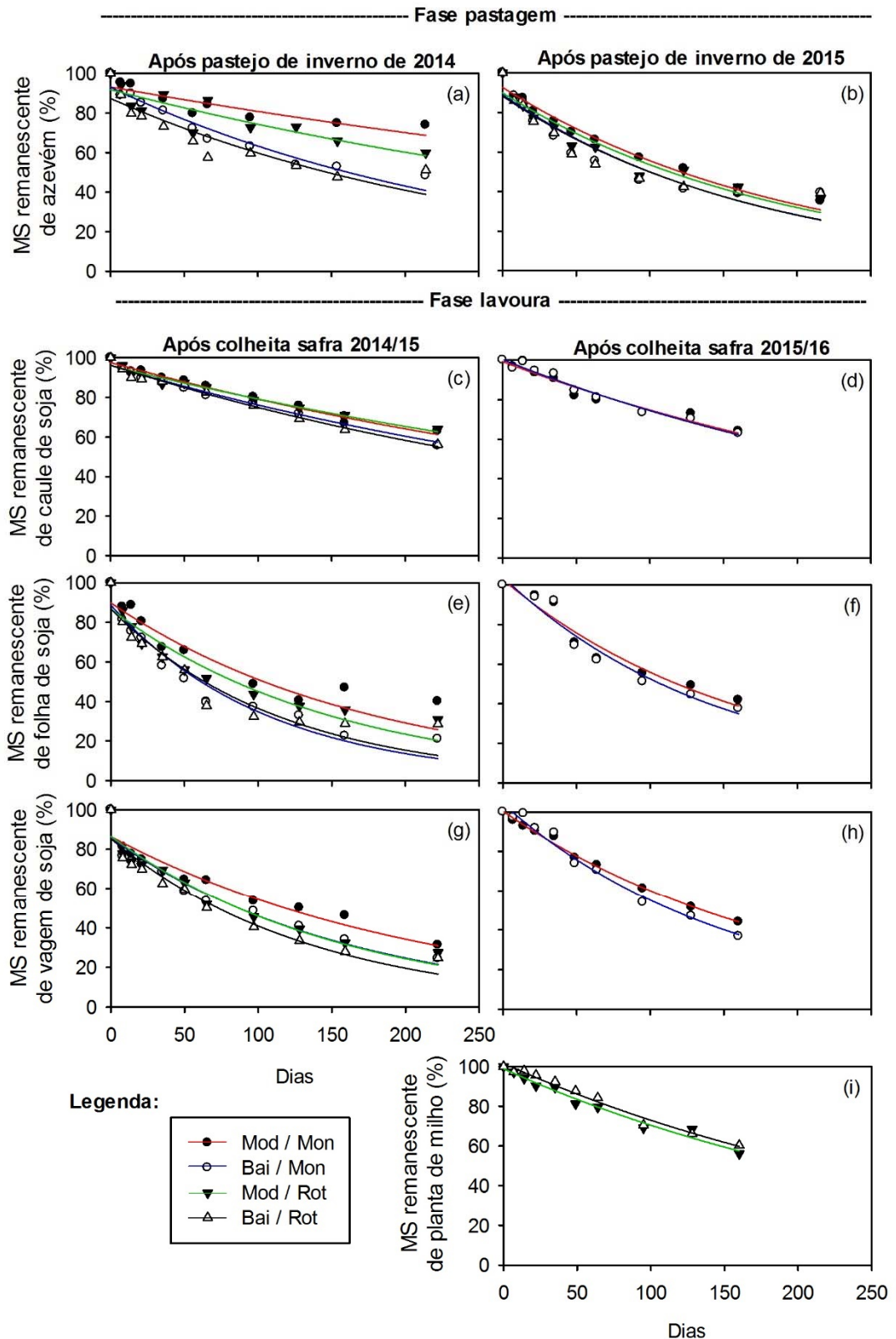


Figura 26. Quantidade remanescente de matéria seca dos resíduos da fase pastagem (azevém) e lavoura (caule, folha e vagem de soja e planta inteira do milho) ao longo do tempo em sistema integrado com ovinos. Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação.

Na safra agrícola 2015/16, devido ao menor período de coleta dos resíduos no campo (160 dias), não houve possibilidade de avaliar a perda de biomassa ao longo das dez datas (216 dias), visto que, na última coleta as amostras foram perdidas (Figura 26 d,f,h,i). Apesar da ausência da última coleta, pode-se verificar o mesmo comportamento ocorrido na safra 2014/15, com o caule de soja se decompondo mais lentamente em relação aos resíduos de folha e vagem de soja (Figura 26 d,f,h). A diferença da matéria seca remanescente entre os resíduos da soja (caule, folha e vagem) se relaciona à composição química dos mesmos, visto que, vários compostos orgânicos sintetizados pelos vegetais durante a fotossíntese são de natureza química distinta e apresentam diferentes velocidades de decomposição. Isto, porque, na folha e vagem da soja predominam compostos orgânicos solúveis em água, como os aminoácidos, ácidos orgânicos e açúcares, que são prontamente disponíveis à decomposição microbiana pela maioria dos microrganismos do solo (Wolf & Wagner, 2005). Por outro lado, no caule da soja predominam carboidratos com maior complexidade estrutural, tais como a celulose, hemicelulose e lignina, que necessitam da ação de enzimas extracelulares especializadas para converter as macromoléculas e, assim, serem utilizadas pela microbiota (Wolf & Wagner, 2005). Além disto, está claro que também ocorre diferenciação entre os tratamentos na decomposição dos resíduos em 2014, porém não em 2015 para os resíduos de azevém (Figura 26a), e folha (Figura 26e) e vagem (Figura 26g) de soja.

A decomposição mais lenta do resíduo de milho quando comparado com a folha e vagem de soja em ambas nas safras conforme indicam o tempo de meia vida (Tabela 14) e os resíduos remanescentes ao final do período de coleta (Figura 26), reforça a importância da adoção da rotação de culturas em sistemas conservacionistas. Sob essa condição, a maior permanência dos resíduos vegetais de milho na superfície do solo tende a promover uma maior proteção contra a erosão do solo e, também, um fluxo gradual da liberação de nutrientes para o solo.

3.4 Ciclagem de fósforo

O modelo matemático que melhor se ajustou para descrever a cinética de liberação do fósforo para ambos os anos foi o exponencial duplo (Tabela 15). Neste modelo, a liberação do fósforo dos resíduos, normalmente, apresenta uma fase inicial rápida, correspondente à liberação do fósforo que se encontra no vacúolo da célula que é bastante solúvel em água (Marschner, 1995), seguida de uma fase mais lenta que apresenta formas de fósforo não solúveis em água que dependem dos microrganismos do solo para sua mineralização (Giacomini et al., 2003). Assim, através desse modelo é possível estimar o percentual de fósforo presente nos compartimentos lábil e recalcitrante dos resíduos.

Tabela 15. Parâmetros do modelo exponencial duplo ajustados aos valores de fósforo remanescente nos resíduos de azevém em sistema integrado de produção de grãos e ovinos

Trat ⁽¹⁾	Após pastejo de inverno de 2014					Após pastejo de inverno de 2015						
	Comp A ⁽²⁾	k1 ⁽³⁾	k2 ⁽⁴⁾	$\frac{t^{1/2(5)}}{A(100-A)}$		R ²	Comp A	k1	k2	$\frac{t^{1/2}}{A(100-A)}$		R ²
	- % -	---- dias ⁻¹ ----	----- dias -----				- % -	---- dias ⁻¹ ----	----- dias -----			
Mod / Mon	39	0,1377	0,0022	5	315	0,99	63	0,0984	0,0057	7	122	0,97
Bai / Mon	39	0,0977	0,0039	7	178	0,99	58	0,0974	0,0053	7	132	0,99
Mod / Rot	46	0,2287	0,0029	3	239	0,99	60	0,0698	0,0028	10	245	0,98
Bai / Rot	42	0,0846	0,0042	8	165	0,97	55	0,1122	0,0048	6	145	0,98

⁽¹⁾ Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação. ⁽²⁾ compartimento lábil ⁽³⁾ constante de decomposição do compartimento lábil; ⁽⁴⁾ constante de decomposição do compartimento recalcitrante; ⁽⁵⁾ tempo de meia vida.

Entretanto, a cinética de liberação foi diferenciada entre os anos (Tabela 15). Assim, o compartimento lábil dos resíduos de azevém do ano de 2014 apresentou uma pequena participação (em torno de 42 %) e um pequeno tempo de meia vida (em torno de 6 dias). Enquanto para os resíduos de azevém do ano de 2015, o compartimento lábil apresentou uma maior participação (em torno de 59 %) e um pequeno tempo de meia vida (em torno de 8 dias). Tais diferenças, podem ser atribuídas à mudança na qualidade da pastagem promovida pelo período de pastejo animal (78 dias em 2014 e 108 dias em 2015), visto que, o maior tempo de pastejo animal influencia na densidade populacional dos afilhos e, conseqüentemente, nos componentes estruturais (celulose, hemicelulose e lignina).

O tempo de meia vida em 2014 da fração recalcitrante dos resíduos de azevém foi em média 224 dias com uma participação de 58% (Tabela 15). Enquanto, o tempo de meia vida em 2015 dessa mesma fração foi em média 161 dias com uma participação 41%. Tais diferenças, podem estar relacionadas com o maior volume de precipitação pluviométrica em 2015 (1061 mm) em relação à 2014 (812 mm) (Figura 25a,b).

Não foi possível ajustar a liberação de fósforo dos resíduos de caule de soja com os modelos exponencial simples e duplo na safra 2014/15 (Tabela 16). Provavelmente, a contaminação do solo e adubação fosfatada à lanço podem ter ocasionado uma variação na concentração desse nutriente nesse resíduo ao longo das amostragens dos sacos de decomposição. Assim, apenas os resultados referentes à folha e vagem de soja dessa safra serão apresentados (Tabela 16).

O modelo exponencial simples foi o que melhor se ajustou aos resíduos de caule, folha e vagem de soja e planta de milho das safras agrícolas 2014/15 e 2015/16 (Tabela 16). Diferentemente do modelo exponencial duplo, no modelo exponencial simples apenas o compartimento lábil sofre transformação a uma taxa constante, enquanto o compartimento recalcitrante não sofre transformação. Assim, pode-se verificar que a maior proporção se encontra no compartimento lábil: em torno de 80 % para as folhas e 87 % para a vagem de soja na safra 2014/15. Já na safra 2015/16, os valores verificados nesse compartimento foram ≤ 90 % para todos os resíduos avaliados (Tabela 16). Houve uma grande variabilidade do tempo de meia vida do fósforo remanescente dos resíduos culturais (Tabela 16). A vagem de soja foi a que apresentou maior tempo de meia vida, em média 311 dias na safra 2014/15, enquanto na safra 2015/16, a liberação foi rápida, com tempo de meia vida de 51 dias, na média dos tratamentos.

Tabela 16. Parâmetros de modelo exponencial simples ajustado aos valores de fósforo dos resíduos de soja e milho em sistema integrado de produção de grãos e ovinos

Tratamento ⁽¹⁾	Após colheita safra 2014/15				Após colheita safra 2015/16			
	Comp. A ⁽²⁾	k1 ⁽³⁾	t ^{1/2} ⁽⁴⁾	R ²	Comp. A	k1	t ^{1/2}	R ²
	---- % ----	--- dias ⁻¹ ---	-- dias --		---- % ----	--- dias ⁻¹ ---	-- dias --	
	----- Caule de soja -----							
Mod / Mon	-	-	-	-	95,09	0,0105	66	0,95
Bai / Mon	-	-	-	-	96,88	0,0108	64	0,94
Mod / Rot	-	-	-	-	-	-	-	-
Bai / Rot	-	-	-	-	-	-	-	-
	----- Folha de soja -----							
Mod / Mon	80,20	0,0054	128	0,63	98,94	0,0058	120	0,96
Bai / Mon	78,55	0,0056	125	0,73	98,36	0,0059	117	0,93
Mod / Rot	79,76	0,0059	118	0,73	-	-	-	-
Bai / Rot	78,79	0,0067	104	0,70	-	-	-	-
	----- Vagem de soja -----							
Mod / Mon	78,19	0,0024	289	0,40	89,63	0,0164	42	0,84
Bai / Mon	97,02	0,0015	462	0,74	91,05	0,0116	60	0,84
Mod / Rot	76,60	0,0036	193	0,43	-	-	-	-
Bai / Rot	94,36	0,0023	301	0,75	-	-	-	-
	----- Planta milho -----							
Mod / Mon	-	-	-	-	-	-	-	-
Bai / Mon	-	-	-	-	-	-	-	-
Mod / Rot	-	-	-	-	94,90	0,0059	117	0,91
Bai / Rot	-	-	-	-	95,69	0,0057	122	0,95

⁽¹⁾ Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação. ⁽²⁾ Compartimento lábil; ⁽³⁾ constante de liberação; ⁽⁴⁾ Tempo de meia vida.

As quantidades de fósforo dos resíduos culturais são pequenas (Tabela 13) e estão diretamente relacionadas com as quantidades originais de cada resíduo e com as taxas obtidas nos modelos exponenciais (Figura 27). Das quantidades totais de fósforo contido nos resíduos de azevém, a maior parte foi liberada até 30 dias após a colocação dos sacos de decomposição no campo que ocorreu na semeadura das culturas de verão (Figura 27 a,b). Os tratamentos de baixa intensidade de pastejo (Bai/Mon e Bai/Rot) promoveram, na média dos anos, a maior liberação de fósforo, com 4,1 e 4,2 kg de P ha⁻¹, respectivamente. Isto, pela menor lotação animal ao longo do ciclo de pastejo e, conseqüentemente, maior acúmulo de biomassa no término do ciclo de pastejo.

As quantidades liberadas de fósforo nos resíduos dos cultivos de verão (safra 2014/15 e 2015/16) apresentaram comportamento distinto ao longo dos 120 dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo (Figura 27 c,d). As quantidades liberadas nos resíduos da safra 2014/15 foram relativamente pequenas quando comparadas com o mesmo período de liberação da safra 2015/16 e são relacionadas aos teores originais dos resíduos (Tabela

13), indicando que as condições ambientais podem estar influenciando no acúmulo desse nutriente ao longo do desenvolvimento da cultura de soja. Salienta-se, que em ambas as safras agrícolas foi utilizada a mesma cultivar de soja (Tec 5936 IPRO). Somado ao menor conteúdo de fósforo nos resíduos culturais da soja da safra 2014/15, esses resíduos receberam maior precipitação pluviométrica quando comparado com os resíduos da safra 2015/16 (Figura 25 c,d), o que demonstra que as condições ambientais exercem grande efeito na ciclagem de fósforo nos resíduos culturais.

A liberação de fósforo dos resíduos do milho na safra 2015/16, foi inferior à sua liberação dos resíduos da soja (caule, folha e vagem) ao longo do período de 120 dias após a deposição dos sacos de decomposição (Figura 25 d). Na média dos tratamentos, os resíduos de soja liberaram $5,9 \text{ kg P ha}^{-1}$ e os resíduos de milho $4,6 \text{ Kg P ha}^{-1}$. Tal comportamento, pode ser resultado da maior relação entre carbono e nitrogênio do resíduo do milho em comparação aos resíduos da soja. É importante considerar que a planta de milho, é constituída de colmo, folha, sabugo e bráctea e que o colmo, apresentou maior proporção em relação as demais partes da planta na elaboração dos sacos de decomposição.

De uma maneira geral, pode-se concluir que os resíduos de azevém tem maior potencial de liberação de fósforo em relação aos resíduos dos cultivos de grãos e, dentre estes, os de soja liberam mais do que os de milho. Entretanto essa liberação mais lenta por parte do milho favorece o melhor aproveitamento desse nutriente pelas plantas em sucessão (fase pastagem).

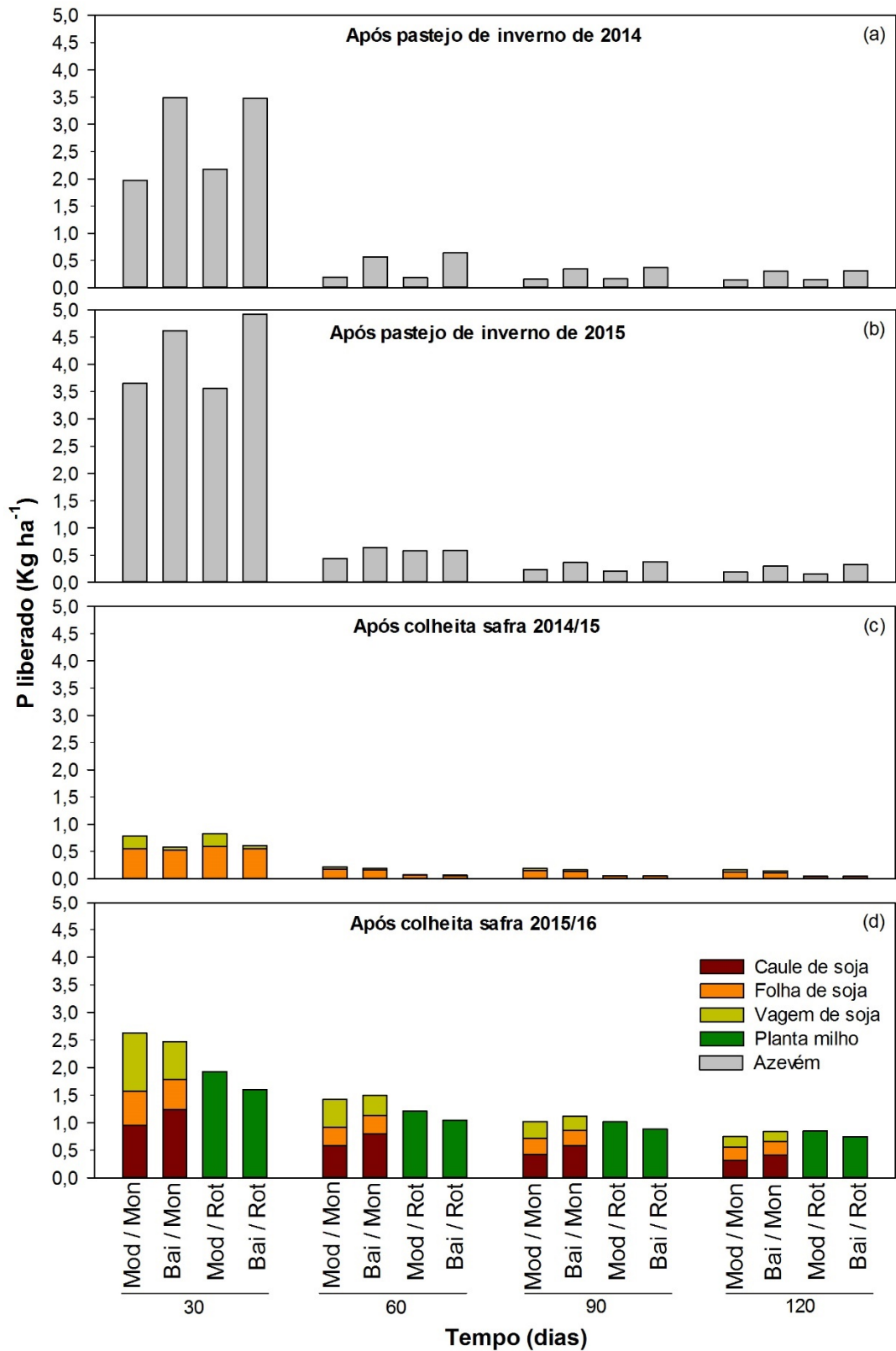


Figura 27. Quantidade de fósforo liberado dos resíduos do pasto e dos cultivos de grãos em diferentes períodos após a distribuição dos sacos de decomposição em sistema integrado de grãos e ovinos de corte. Mod/Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai/Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod/Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai/Rot, intensidade baixa com rotação.

3.5 Ciclagem de potássio

O modelo exponencial simples foi o que melhor se ajustou à liberação de potássio dos resíduos vegetais para todos os tratamentos e anos (Tabela 17 e 18). O tempo de meia vida ($t^{1/2}$) dos resíduos da fase pastagem e lavoura revelou que a metade do potássio dos resíduos havia sido liberada aos 30 dias após a deposição no campo, com exceção dos resíduos de milho da safra 2015/16 que apresentou um tempo de meia vida maior (Tabela 18). Além disso, nesse modelo é possível verificar que a quase totalidade do potássio se encontra no compartimento mais prontamente disponível (compartimento A).

Tabela 17. Parâmetros de modelo exponencial simples ajustado aos valores de potássio dos resíduos de azevém em sistema integrado de produção de grãos e ovinos de corte

Tratamento ⁽¹⁾	Após pastejo de inverno de 2014				Após pastejo de inverno de 2015			
	Comp. A ⁽²⁾	k1 ⁽³⁾	t ^{1/2} ⁽⁴⁾	R ²	Comp. A	k1	t ^{1/2}	R ²
	---- % ---	-- dias ⁻¹ --	-- dias --		---- % ---	-- dias ⁻¹ --	-- dias --	
Mod / Mon	90,52	0,0300	23	0,82	99,48	0,0874	8	0,95
Bai / Mon	93,15	0,0426	16	0,85	96,29	0,0717	10	0,93
Mod / Rot	99,44	0,0648	11	0,91	97,85	0,0680	10	0,95
Bai / Rot	99,07	0,0500	14	0,92	97,50	0,0769	9	0,92

⁽¹⁾ Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação. ⁽²⁾ Compartimento lábil; ⁽³⁾ constante de liberação; ⁽⁴⁾ Tempo de meia vida.

As taxas de liberação de nutrientes estão estreitamente relacionadas à alocação destes nas células e nos tecidos vegetais, de forma que os elementos mais solúveis como o potássio são liberados primeiro do que os com menor solubilidade, como por exemplo, o cálcio, o magnésio e o fósforo (Giacomini et al., 2003). Essa rápida liberação do K decorre do fato de esse elemento não estar associado a nenhum componente estrutural do tecido vegetal (Marschner, 1995). Esses resultados mostram que os resíduos vegetais têm papel importante na ciclagem de potássio. Logo, esse benefício pode ser otimizado se as práticas de manejo do SIPA forem adotadas em sincronia com os períodos de maior demanda desse elemento pelas plantas (forrageiras e culturas comerciais).

Tabela 18. Parâmetros de modelo exponencial simples ajustados aos valores de potássio dos resíduos de culturas de grãos em sistema integrado de produção de grãos e ovinos de corte

Tratamento ⁽¹⁾	Após colheita safra 2014/15				Após colheita safra 2015/16			
	Comp. A ⁽²⁾	k1 ⁽³⁾	t ^{1/2} ⁽⁴⁾	R ²	Comp. A	k1	t ^{1/2}	R ²
	--- % ---	-- dias ⁻¹ --	-- dias --		--- % ---	-- dias ⁻¹ --	-- dias --	
	----- Caule de soja -----							
Mod / Mon	98,93	0,2259	3	0,91	99,77	0,0265	26	0,95
Bai / Mon	99,73	0,2333	3	0,90	97,47	0,0258	27	0,97
Mod / Rot	99,93	0,2830	2	0,97	-	-	-	-
Bai / Rot	99,84	0,2779	2	0,94	-	-	-	-
	----- Folha de soja -----							
Mod / Mon	96,37	0,0748	9	0,92	99,71	0,0314	22	0,97
Bai / Mon	97,03	0,0804	9	0,94	100,08	0,0272	25	0,98
Mod / Rot	97,79	0,0892	8	0,96	-	-	-	-
Bai / Rot	98,47	0,0591	12	0,98	-	-	-	-
	----- Vagem de soja -----							
Mod / Mon	99,83	0,2692	3	0,95	99,95	0,0410	17	0,98
Bai / Mon	99,74	0,2321	3	0,96	99,78	0,0376	18	0,99
Mod / Rot	99,88	0,2907	2	0,98	-	-	-	-
Bai / Rot	99,91	0,2832	2	0,98	-	-	-	-
	----- Planta milho -----							
Mod / Mon	-	-	-	-	-	-	-	-
Bai / Mon	-	-	-	-	-	-	-	-
Mod / Rot	-	-	-	-	98,21	0,0188	37	0,97
Bai / Rot	-	-	-	-	99,79	0,0139	50	0,98

⁽¹⁾ Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação. ⁽²⁾ Compartimento lábil; ⁽³⁾ constante de liberação; ⁽⁴⁾ Tempo de meia vida.

Durante o período de 120 dias após a distribuição dos sacos de decomposição, as quantidades de K cicladas na fase lavoura foram muito superiores à fase pastagem (Figura 28). Na média dos anos e tratamentos, a ciclagem foi de 24 e 65 kg de K ha⁻¹, na fase pecuária e lavoura, respectivamente (Figura 28). Essa diferença entre as fases pode ser atribuída à elevada participação do milho na adição de biomassa e, conseqüentemente, na maior disponibilidade de K, que foi cerca de 86 kg ha⁻¹ na safra 2015/16 (Figura 28d). Além dos benefícios da maior adição de K no solo, esse nutriente apresenta uma menor velocidade de liberação dos resíduos de milho em comparação com os resíduos da soja. Por esta razão, o aproveitamento de K pelas culturas em sucessão pode ser maximizado, devido a sincronia entre o nutriente liberado pelo resíduo e a demanda da cultura, cultivada em sucessão (Braz et al., 2004).

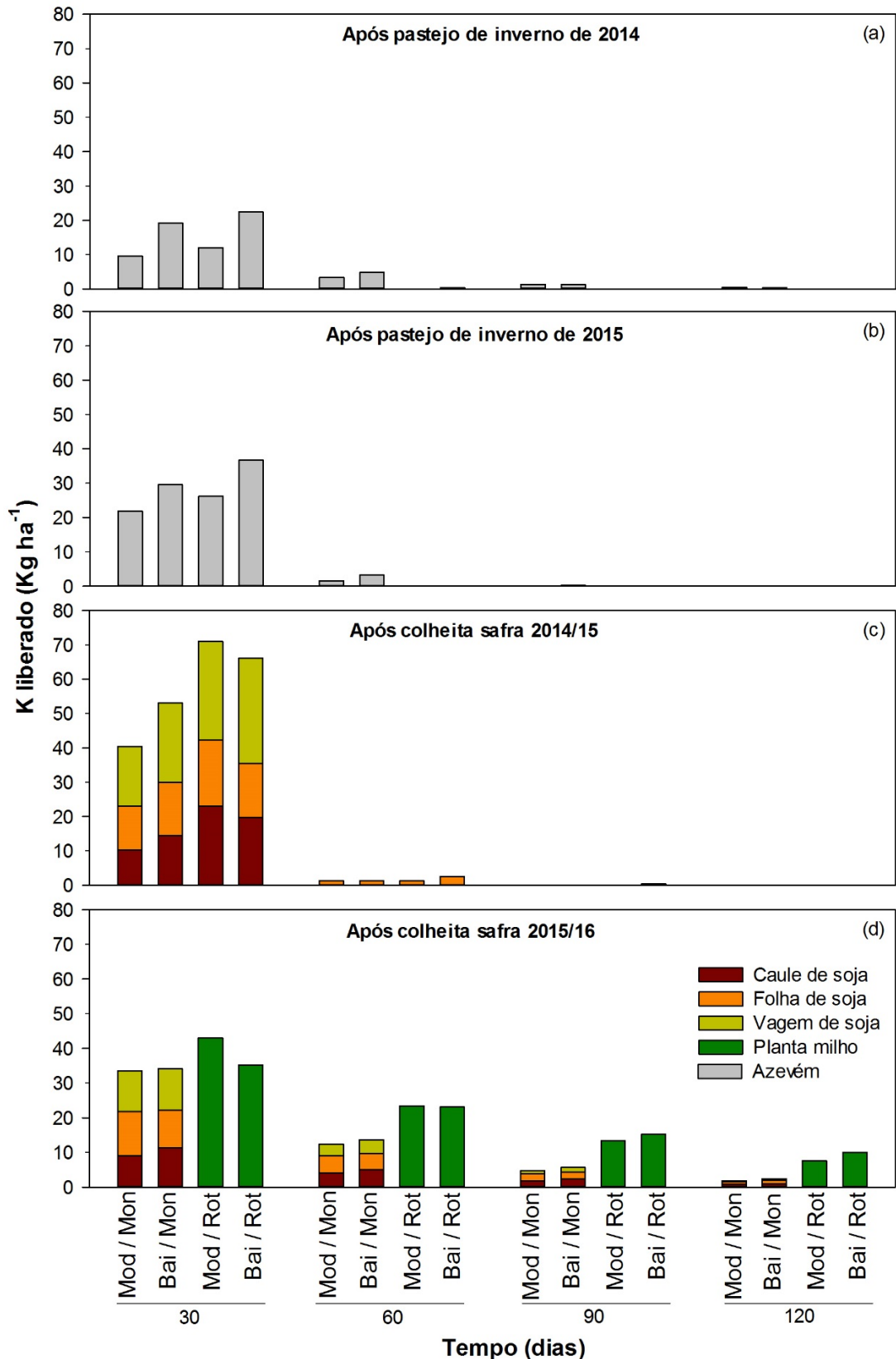


Figura 28. Quantidade de potássio liberado dos resíduos do pasto e dos cultivos de grãos em diferentes períodos após a distribuição dos sacos de decomposição em sistema integrado de produção de grãos e ovinos de corte. Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação.

4. Conclusões

A decomposição dos resíduos de azevém e caule, folha e vagem de soja é menor nas áreas com intensidade de pastejo moderada e monocultivo de soja, independentemente do ano agrícola.

A intensidade de pastejo baixa, resulta em maior quantidade de fósforo e potássio liberados do resíduo do pasto imediatamente após a deposição dos seus resíduos no campo. A liberação desses nutrientes dos resíduos dos cultivos de grãos para a pastagem da mesma forma, também é rápida, sendo maior a de potássio em relação ao fósforo.

A inclusão do milho em rotação com soja resulta em maior ciclagem de potássio para a pastagem, na sequência, independentemente da intensidade de pastejo no período hibernal.

CAPÍTULO VIII - Balanço de fósforo e potássio no solo em Sistema Integrado de Produção de Grãos e Ovinos

1. Introdução

A diversificação das atividades é hoje uma necessidade nas propriedades agrícolas, tanto do ponto de vista econômico, para reduzir riscos e ampliar a lucratividade, quanto na ótica de sustentabilidade do solo, que é prejudicada quando há simplificação dos sistemas de cultivo (Resende et al., 2016; Garrett et al., 2017). A base dessa nova agricultura é a adoção dos Sistemas Integrados de Produção Agropecuário (SIPA), que exploram cultivos agrícolas e produção animal na mesma área de forma sequencial (Moraes et al., 2014). Os SIPA foram apresentados como uma alternativa à reabilitação dos sistemas de produção tradicionais, pois imprimem modificações na dinâmica e na disponibilidade de nutrientes no solo ao longo do tempo, através da sua ciclagem entre os compartimentos solo-planta-animal-atmosfera (Anghinoni et al., 2013).

O fósforo (P), assim como o potássio (K), são nutrientes essenciais para o crescimento das plantas forrageiras e para a obtenção de altos rendimentos nas culturas de grãos nos SIPA. As quantidades desses nutrientes que circulam entre os compartimentos pasto e lavoura dos SIPA é grande, representando em média 28 kg ha⁻¹ de P e 175 kg ha⁻¹ de K em pastejo moderado com bovinos (Assmann et al., 2017). Apesar das quantidades de P e K que retornam ao solo serem significativas, tais quantidades não são suficientes para equilibrar as saídas produtivas (exportação de grãos e carne), as perdas de nutrientes e, ainda, satisfazer as necessidades das plantas para a obtenção de

elevadas produtividades das culturas de grãos (Anghinoni et al., 2017). Assim, para que a produção agrícola e pecuária seja uma atividade rentável, é necessário que os nutrientes removidos sejam repostos por meio da aplicação de fertilizantes fosfatados e potássicos (Cunha et al., 2010). Desse modo, adubações realizadas durante a fase pastagem dos SIPA têm contribuído para o aumento da produção animal e maior eficiência do uso dos nutrientes na fase lavoura subsequente (Martha Júnior et al., 2010). Portanto, em virtude dos inúmeros benefícios que podem ser obtidos pela adoção dessa filosofia de adubação, ainda há dúvidas e questionamentos sobre os impactos da intensidade de pastejo e do sistema de culturas na ciclagem e no balanço de nutrientes no sistema.

O impacto da intensidade de pastejo sobre a forragem de inverno não limita seus efeitos apenas na produção final de palha para cobertura de solo (Nicoloso et al., 2006). A intensidade de pastejo influencia na ciclagem e na distribuição dos nutrientes no solo, via desfolha das plantas, e o seu retorno para o solo e pela excreção do esterco e da urina (Whitehead, 2000; Silva et al., 2014; Assmann et al., 2017). Além disso, a intensidade de pastejo influencia na densidade populacional dos perfilhos de azevém, resultando em maior ou menor produção total de forragem ao longo do ciclo de pastejo (Neto et al., 2013; Kunrath et al., 2015a). Assim, ao se manejar o número de animais por unidade de área e a sua distribuição no espaço, define-se a capacidade da fase pastagem em prover balanço positivo ou negativo de nutrientes ao sistema (Carvalho et al., 2010).

Na fase lavoura do SIPA, o arranjo das espécies, no tempo e no espaço, com a alternância de culturas de diferentes famílias é uma questão chave para a maior ciclagem de nutrientes no sistema (Vezzani & Mielniczuk, 2011). Desta forma, nutrientes que não são absorvidos por uma determinada planta, seja por sua localização em camadas abaixo da zona de ação do sistema radicular, seja pela baixa eficiência de absorção, podem ser aproveitados por outras espécies vegetais e, a partir da decomposição da palhada, tornarem-se disponíveis (Borkert et al., 2003).

Essas modificações de manejo impostas pelo homem, tanto na fase pastagem quanto na fase lavoura são capturadas pelo solo, compartimento responsável pela centralização dos processos (Anghinoni et al., 2013). Portanto,

sistemas com balanço de nutrientes com saldo negativo, ou seja, aplicando menos nutrientes do que os exportados pelos grãos e/ou carne, diminui a fertilidade do solo afetando negativamente a produtividade de carne e grãos e a rentabilidade do sistema (Oenema et al., 2003). Por outro lado, esses autores sugerem que saldos exageradamente positivos, onde é aplicado mais nutrientes do que aqueles exportados pelos grãos e/ou carne, resulta em baixa eficiência de uso dos nutrientes, comprometimento dos resultados econômicos e, principalmente, problemas ambientais como a erosão superficial e lixiviação de nutrientes. Espera-se que a rotação de culturas com intensidade de pastejo moderada contribui para um balanço positivo de nutrientes no solo.

O objetivo desta pesquisa é avaliar o efeito de diferentes intensidades de pastejo (moderada e baixa) e sistemas de cultivo (monocultura e rotação) na ciclagem e no balanço de fósforo e potássio no solo em sistema integrado de produção de grãos e ovinos de longo prazo.

2. Material e métodos

Informações sobre a caracterização do local, tratamentos e manejo da área experimental estão apresentados no Capítulo II (MATERIAL E MÉTODOS).

2.1 Tratamentos avaliados

Neste estudo, a avaliação do balanço de nutrientes foi realizada somente no método de pastoreio contínuo. Assim, o delineamento experimental passou a ser um bifatorial 2 x 2, com as intensidades de pastejo ocupando as parcelas principais e os sistemas de cultivo, as subparcelas, em quatro blocos. As intensidades de pastejo constituíram de intensidade moderada (oferta de forragem de 2,5 vezes o potencial de consumo dos ovinos) e intensidade baixa (oferta de forragem de 5,0 vezes o potencial de consumo dos ovinos) e os sistemas de cultivo de verão foram monocultura da soja e rotação anual de soja/milho.

Para a avaliação do balanço de P e K no solo, foram consideradas as seguintes combinações de intensidade de pastejo no período hibernar e sistema de cultivo no verão: Mod/Mon, intensidade moderada com monocultura; Bai/Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod/Rot, intensidade moderada com rotação e Bai/Rot, intensidade baixa com rotação.

2.2 Avaliações efetuadas

A avaliação do balanço de nutrientes no solo foi efetuada pela avaliação das entradas e saídas do P e K nos tratamentos durante o período de novembro de 2014 (1º coleta de solo) a novembro de 2016 (2º coleta de solo) completando dois anos (Figura 29). A liberação dos nutrientes dos resíduos vegetais (azevém; caule, folha e vagem de soja e parte aérea do milho) e animais (esterco de ovinos) seguiram os modelos dos exponenciais negativos (Estudos V e VI). Tais modelos permitiram, estimar a quantidade remanescente de nutrientes nos resíduos posterior a primeira (22/11/2014) e segunda (08/11/2016) amostragem de solo. Assim, estes resultados, demonstram a quantidade de nutrientes nos resíduos que serão disponibilizados após a primeira amostragem de solo. E a quantidade de nutrientes retida nos resíduos posteriormente ao momento da segunda amostragem do solo. Descrevendo-se, a seguir, os compartimentos pastagem, lavoura, animal e solo do presente estudo.

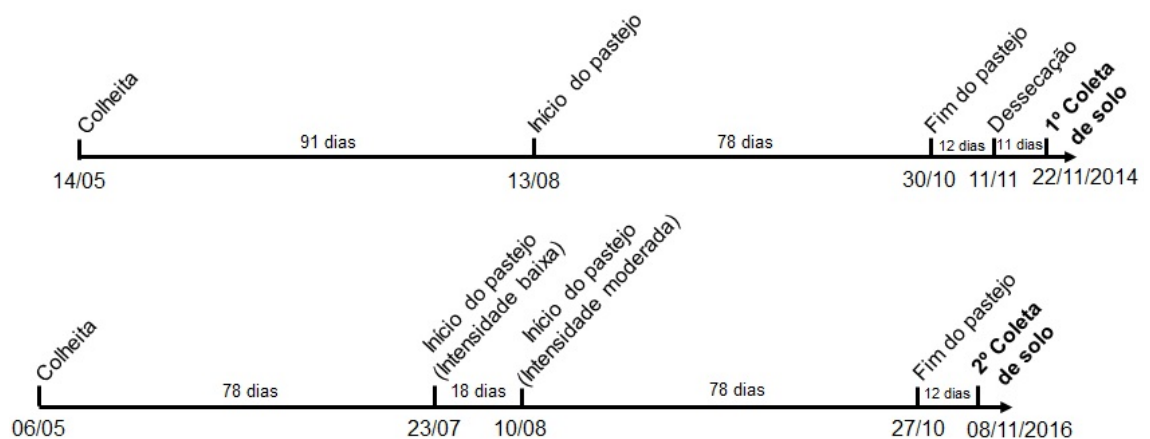


Figura 29. Esquema dos manejos realizados antes da primeira e segunda amostragem de solo em sistema de produção de grãos e ovinos de corte.

a) Compartimento pastagem

Neste compartimento foram consideradas apenas as entradas de nutrientes pelos resíduos remanescentes de azevém depositados na superfície do solo após o término do ciclo de pastejo e a adubação fosfatada e potássica realizada antecedendo a entrada dos animais na pastagem. Amostras da parte aérea residual do azevém foram coletadas com o auxílio de um gabarito (50 cm x 50 cm) em quatro locais aleatórios em cada subparcela após a saída dos animais (2014 e 2016). Em ambos os anos de avaliação as quantidades liberadas de P e K para o solo foram estimadas através dos modelos apresentados na tabela 19. Foi estabelecido o final do ciclo do pastejo como ponto de referência dos cálculos matemáticos. Nos anos de 2015 e 2016, as entradas de P e K via fertilizantes foram consideradas com base nas quantidades aplicadas e no teor dos nutrientes indicados nos fertilizantes comerciais.

b) Compartimento animal

Neste compartimento, foram consideradas como entradas de P e K a liberação do esterco dos ovinos na superfície do solo e, como saídas, o ganho em rendimento de carne durante o ciclo de pastejo. Da mesma forma que no compartimento pastagem, a liberação de nutrientes nos estercos dos ovinos foi ajustada pelos modelos (Tabela 19). Para calcular a concentração de P e K no esterco do ovino, realizou-se coleta total em três animais machos em bolsas coletoras com duração de 24 horas. Os estercos dos ovinos foram amostrados no estágio vegetativo do azevém no período hibernar dos anos de 2015 e 2016. Posteriormente, o material foi seco e analisado de acordo com Tedesco et al. (1995). A liberação de P e K dos estercos dos ovinos foi estimada diariamente, considerando a multiplicação da percentagem de liberação do elemento pela quantidade total disponibilizada (kg ha^{-1}) do nutriente no tratamento [multiplicação do número de animais por hectare pela matéria seca de esterco defectado por animal por dia (g) e a concentração do elemento no esterco (g kg^{-1})], resultando no somatório da liberação dos nutrientes (liberação cumulativa), numa matriz de ordem decrescente dos dias de pastejo.

Tabela 19. Modelos de liberação de fósforo (P) e potássio (K) dos resíduos nos compartimentos pastagem, animal e lavoura em sistema integrado com ovinos

Compartimento	Ano	Resíduo	Tratamento ⁽¹⁾	Modelo exponencial ⁽²⁾
Fósforo				
Pastagem	2014	Azevém	Mod/Mon	$Y = 46 \cdot \exp(-0,1530 \cdot t) + 53 \cdot \exp(-0,0022 \cdot t)$
			Bai/Mon	$Y = 43 \cdot \exp(-0,0906 \cdot t) + 56 \cdot \exp(-0,0033 \cdot t)$
			Mod/Rot	$Y = 47 \cdot \exp(-0,0279 \cdot t) + 53 \cdot \exp(-0,0058 \cdot t)$
			Bai/Rot	$Y = 46 \cdot \exp(-0,0834 \cdot t) + 55 \cdot \exp(-0,0039 \cdot t)$
	2016		Mod/Mon	$Y = 63 \cdot \exp(-0,0984 \cdot t) + 36 \cdot \exp(-0,0057 \cdot t)$
			Bai/Mon	$Y = 58 \cdot \exp(-0,0974 \cdot t) + 43 \cdot \exp(-0,0053 \cdot t)$
			Mod/Rot	$Y = 60 \cdot \exp(-0,0698 \cdot t) + 38 \cdot \exp(-0,0028 \cdot t)$
			Bai/Rot	$Y = 55 \cdot \exp(-0,1122 \cdot t) + 45 \cdot \exp(-0,0048 \cdot t)$
Animal	2014	Esterco	Mod	$Y = 28 \cdot \exp(-0,0759 \cdot t) + 75 \cdot \exp(-0,0028 \cdot t)$
			Bai	$Y = 79 \cdot \exp(-0,0021 \cdot t) + 21 \cdot \exp(-0,1735 \cdot t)$
	2016		Mod	$Y = 50 \cdot \exp(-0,0713 \cdot t) + 52 \cdot \exp(-0,0027 \cdot t)$
			Bai	$Y = 37 \cdot \exp(-0,0489 \cdot t) + 62 \cdot \exp(-0,0020 \cdot t)$
Lavoura	2014/16	Caule de soja	Mod/Mon	$Y = 95 \cdot \exp(-0,0105 \cdot t)$
			Bai/Mon	$Y = 97 \cdot \exp(-0,0108 \cdot t)$
		Folha de soja	Mod/Mon	$Y = 99 \cdot \exp(-0,0058 \cdot t)$
			Bai/Mon	$Y = 98 \cdot \exp(-0,0059 \cdot t)$
		Vagem de soja	Mod/Mon	$Y = 64 \cdot \exp(-0,0535 \cdot t) + 36 \cdot \exp(-0,0031 \cdot t)$
			Bai/Mon	$Y = 56 \cdot \exp(-0,0399 \cdot t) + 44 \cdot \exp(-0,0026 \cdot t)$
		Planta de miho	Mod/Rot	$Y = 95 \cdot \exp(-0,0059 \cdot t)$
			Bai/Rot	$Y = 96 \cdot \exp(-0,0057 \cdot t)$
Potássio				
Pastagem	2014	Azevém	Mod/Mon	$Y = 91 \cdot \exp(-0,0300 \cdot t)$
			Bai/Mon	$Y = 93 \cdot \exp(-0,0426 \cdot t)$
			Mod/Rot	$Y = 99 \cdot \exp(-0,0648 \cdot t)$
			Bai/Rot	$Y = 99 \cdot \exp(-0,0500 \cdot t)$
	2016		Mod/Mon	$Y = 99 \cdot \exp(-0,0874 \cdot t)$
			Bai/Mon	$Y = 96 \cdot \exp(-0,0717 \cdot t)$
			Mod/Rot	$Y = 98 \cdot \exp(-0,0680 \cdot t)$
			Bai/Rot	$Y = 98 \cdot \exp(-0,0769 \cdot t)$
Animal	2014	Esterco	Mod	$Y = 99 \cdot \exp(-0,0900 \cdot t)$
			Bai	$Y = 99 \cdot \exp(-0,0952 \cdot t)$
	2016		Mod	$Y = 100 \cdot \exp(-0,0973 \cdot t)$
			Bai	$Y = 100 \cdot \exp(-0,0842 \cdot t)$
Lavoura	2014/16	Caule de soja	Mod/Mon	$Y = 100 \cdot \exp(-0,0265 \cdot t)$
			Bai/Mon	$Y = 97 \cdot \exp(-0,0258 \cdot t)$
		Folha de soja	Mod/Mon	$Y = 100 \cdot \exp(-0,0314 \cdot t)$
			Bai/Mon	$Y = 100 \cdot \exp(-0,0272 \cdot t)$
		Vagem de soja	Mod/Mon	$Y = 100 \cdot \exp(-0,0410 \cdot t)$
			Bai/Mon	$Y = 100 \cdot \exp(-0,0376 \cdot t)$
		Planta de miho	Mod/Rot	$Y = 98 \cdot \exp(-0,0188 \cdot t)$
			Bai/Rot	$Y = 100 \cdot \exp(-0,0139 \cdot t)$

⁽¹⁾ Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação. ⁽²⁾ O "t" representa o tempo em dias que foi liberado os nutrientes dos resíduos.

Vale salientar, que no ano de 2014, não foi estimada a liberação de nutrientes dos esterco dos ovinos, em virtude da presença exclusiva de animais fêmeas, impossibilitando a coleta dos esterco por meio de bolsas coletoras

(contaminação). Diante disso, foi utilizado o modelo matemático de liberação de nutrientes do ano de 2015.

A coleta de urina dos ovinos foi realizada durante o ciclo de pastejo (setembro de 2015), sendo selecionados dois animais machos (animais-teste) durante o período de aproximadamente seis horas (3 horas de manhã e tarde). Para a realização da coleta, os animais foram confinados em gaiolas metabólicas onde se realizou uma adaptação com funil junto ao aparelho reprodutor dos animais e assim, ligar a uma mangueira transparente que conduzia a urina até a proveta. Após cada micção natural, o volume da amostra de urina foi acondicionado em frascos e as amostras foram armazenadas em local refrigerado (-17 °C). As determinações foram analisadas de acordo com a metodologia descrita por Silva & Queiroz (2002). O volume urinário diário dos ovinos foi estimado no mesmo protocolo experimental e os dados foram gentilmente cedidos por Eduardo Bohrer de Azevedo. Conforme esse autor, os animais excretam em média 2,63 L dia⁻¹ (dados não publicados). Os dados referentes a concentração de P e K na urina foram utilizados apenas para a quantificação da ciclagem de nutrientes nos tratamentos. Para os cálculos de balanço de nutrientes no solo esses dados foram desconsiderados, visto que, os nutrientes estão prontamente disponíveis para o sistema.

A exportação de nutrientes pela carne foi estimada multiplicando a concentração de P e K na carcaça pelo ganho de peso (kg PV ha⁻¹) no ciclo de pastejo avaliado. A exportação de nutrientes na lã dos ovinos foi desconsiderada no presente balanço. A concentração de P e K na carcaça dos ovinos machos foi estimada de acordo Bellof et al. (2006) e os valores foram de 264,8 g de P e 52,8 g de K para animais com 45 kg de peso vivo. A determinação da produção de carne foi realizada em cada ciclo de pastejo, pela pesagem dos animais antes da sua entrada na área experimental e após o término do período de pastejo, quando ocorre a saída dos animais do pasto.

c) Compartimento lavoura

Para este compartimento, foi considerada como entrada de P e K, a liberação dos resíduos das culturas (soja e milho) na superfície do solo e, como saída, a exportação dos grãos de soja e milho. Como entrada de P e K, considerou-se a quantidade remanescente dos resíduos de soja e milho

posteriormente às amostragens do solo. A estimativa de entrada de P e K dos resíduos de soja e milho posteriormente à primeira amostragem de solo no ano de 2014, foram obtidos do estudo de Campos (2015). Para o ano de 2016, a estimativa de biomassa das culturas de soja e milho (safra 2015/16), foram realizadas considerando o estágio fenológico das culturas. Assim, na soja, a estimativa de produção de biomassa das folhas foi realizada na fase de pleno florescimento da cultura (R2). Para isso, foram selecionados três locais aleatórios com dois metros lineares em cada subparcela. Para a estimativa de produção de biomassa de caule e vagem, foram selecionados cinco locais aleatórios com dois metros lineares no estágio fenológico R9 (maturação de colheita). A estimativa de produção da biomassa de caule+folha+bráctea+sabugo do milho foi realizada em três locais aleatórios de seis metros lineares no estágio fenológico R6. Todos os resíduos vegetais coletados foram pesados após a secagem em estufa de circulação de ar forçado a 55 °C até peso constante. Da mesma forma que nos compartimentos pastagem e animal, a liberação dos nutrientes contidos nos resíduos de soja e milho foram ajustados através dos modelos (Tabela 19). Contudo, neste compartimento, o modelo matemático de liberação de nutriente foi ajustado para ambos os anos de 2014 (safra 2013/14) e 2016 (safra 2015/16).

As saídas ou exportações de P e K do sistema integrado foram calculadas com base no rendimento das culturas de grãos nas safras agrícolas de 2014/15 e 2015/16. Para a avaliação do rendimento de grãos da soja, foram coletados 10 m lineares em cada subparcela, o que correspondeu à coleta em 5 locais aleatórios de 2 m lineares. Para a cultura do milho, na safra 2015/16, foram coletados 24 m lineares em cada subparcela, o que correspondeu à coleta em 4 locais aleatórios de 6 m lineares. Os teores de P e K nos grãos de soja e milho foram analisados de acordo com o método de Tedesco et al. (1995).

d) Compartimento solo

Para a avaliação do balanço de P e K do solo, foi considerada a camada superficial do solo (0-40 cm), região que abrange a maior parte da atividade radicular das plantas forrageiras e plantas comerciais. Nessas amostras, foi determinado o teor de K e P disponível (Mehlich-1) (Tedesco et al.,

1995). Determinou-se também as “perdas não produtivas” (PNP) dos nutrientes por meio da lixiviação e/ou escoamento superficial conforme Martins et al. (2014):

$$PNP = (E_{inicial} + R_{inicial} + I_{fertilizante}) - (S_{grãos} + S_{animal} + R_{final} + E_{final}) \quad (11)$$

onde, PNP= as perdas não produtivas; E = os estoques do solo (inicial = novembro de 2014 e final = novembro de 2016); R = a recalitrância dos nutrientes nos resíduos (inicial = novembro de 2014 e final = novembro de 2016); I = as entradas (fertilizante); e S = as saídas (grãos de soja e milho e dos animais).

2.3 Cálculo do balanço de nutrientes no solo

O balanço final de P e K no solo foi obtido pela subtração do estoque em novembro de 2014 (estoque do solo + recalitrância nos resíduos), do estoque em novembro de 2016 (estoque do solo + recalitrância no resíduos) conforme Martins et al. (2014).

3. Resultados e Discussão

3.1 Produção de biomassa e acúmulo de fósforo e potássio nos resíduos

As maiores adições de biomassa da parte aérea ocorreram na intensidade baixa de pastejo e rotação com soja e milho (19,55 Mg ha⁻¹) (Figura 30e). Neste tratamento (Bai/Rot), verificou-se que o milho apresentou maior contribuição de biomassa aérea (44 %), seguido do azevém (25 %), soja (23 %) e esterco de ovinos (7 %). De maneira geral, os tratamentos proporcionaram um acúmulo de biomassa da parte aérea inferior a 10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Contudo, se considerarmos a produção da biomassa das raízes (MSR) a quantidade adicionada de resíduos foi superior a 15 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de biomassa total.

Conforme Bayer et al. (2000), são necessárias quantidades superiores à 10 Mg ha⁻¹ ano de matéria seca de resíduo no sul do Brasil para manter ou aumentar os estoques de carbono em sistemas de plantio direto.

A biomassa radicular foi responsável por acumular uma produção superior a 15 Mg ha⁻¹ ao longo dos dois anos de avaliações à campo, quantidade essa similar aos resíduos deixados biomassa da parte aérea (Figura 30e). Comparando a produção média de raízes de soja e milho no verão de 2016 (fase lavoura do SIPA), observa-se que a produção de biomassa radicular de milho foi 1,85 vezes maior a da soja (Figura 30c). Pode-se, então, afirmar que a cultura do milho, além de deixar grandes quantidades de resíduos da parte aérea, proporciona considerável quantidade de resíduos das raízes, sendo indicada como opção em estratégias de rotação de culturas nos SIPA. Além disso, as quantidades de P e K presentes nas raízes representaram 13 % (6,2 kg ha⁻¹ de P) e 15 % (34,8 kg ha⁻¹ de K) do total liberado pelos resíduos (raízes e parte aérea). Estes resultados, evidenciam a importância de se quantificar os nutrientes nas raízes das forrageiras e de culturas de grãos em estudos que envolvem a ciclagem e balanço de nutrientes em SIPA.

O retorno de P na urina dos ovinos para o solo foi insignificante durante o período hibernar (Figura 30g,i). De fato, o esterco é a principal rota de excreção de P em ruminantes (Borges et al., 2008). Os valores médios encontrados neste estudo relativo ao retorno de K na urina no inverno de 2015 e 2016 foram de 0,74 e 0,43 kg ha⁻¹ ao longo do período de 99 e 88 dias de pastejo, respectivamente (Figura 30m,o). Apesar das altas concentrações de K no solo, esse elemento apresentou baixos teores na urina. As prováveis explicações podem ser a baixa concentração contendo na forrageira *in natura*, alta absorção metabólica pelo animal e a excreção de parte desse elemento via esterco. Entretanto, deve-se ressaltar que o tempo de seis horas de coleta de urina dos ovinos pode não ter sido suficiente na obtenção de amostras representativas para a quantificação desse elemento. Apesar de ter disponibilizado a mesma forragem em que o animal estava inserido no experimento, este tipo de coleta ocasiona um desconforto animal decorrente da utilização de gaiolas metabólicas. Portanto, o retorno de K via urina podem estar sendo subestimados, visto que, outros fatores podem provocar oscilações na

concentração desse nutriente como o volume de urina produzido, que é dependente da ingestão de água e o peso animal.

As quantidades de esterco dos ovinos nos invernos de 2015 e 2016 representaram menos de 1 % do total da biomassa da parte aérea (Figura 30j). Contudo, essa quantidade representou o maior retorno de P, com 7 % (16 kg ha⁻¹), seguido do azevém, com 5 % (13 kg ha⁻¹), e do milho com 4 % (9 kg ha⁻¹). Isso pode ser atribuído ao maior teor de P (12,9 g kg⁻¹) no esterco dos ovinos em comparação ao resíduo de azevém (2,5 g kg⁻¹) e planta de milho (1,0 g kg⁻¹). Considerando o funcionamento do sistema, observou-se que o retorno de P e K dos esterco dos ovinos manejados na intensidade de pastejo baixa foi superior em 12 % e 19 %, respectivamente em comparação à intensidade moderada (Figura 30g;i;m;o). Esse comportamento é reflexo do maior número de dias de pastejo na intensidade baixa em ambos os invernos (109 e 97 dias nos anos de 2015 e 2016, respectivamente). Salienta-se que esse comportamento é resultado do número de animais por unidade de área que ao longo dos anos, deve ter promovido uma diferenciação no banco de sementes do azevém e, conseqüentemente, no estabelecimento dessa pastagem via ressemeadura natural. Assim, no presente estudo, as maiores quantidades cicladas de P e K dos esterco dos animais na intensidade baixa é reflexo da condição da massa de forragem para o início do pastejo animal, que é em torno de 1500 kg ha⁻¹ de MS. Isso demonstra que a intensidade de pastejo baixa alcança esse parâmetro para início do pastejo animal dias antes em relação à intensidade de pastejo moderada.

Os resultados desta pesquisa demonstraram que a liberação de P da parte aérea da lavoura para a fase pastagem representa uma adição de 6,31 kg de P ha⁻¹ ano⁻¹, equivalendo a 14 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹. Por outro lado, a liberação desse nutriente dos resíduos das pastagens para as lavouras de verão resultou na adição de 14,4 kg ha⁻¹ de P ano⁻¹, equivalendo a 33 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹. Tal resultado, reafirma a importância do animal como agente catalisador que modificando as taxas e os fluxos dos processos, pois a maior parte dos nutrientes ingeridos pelos animais é, de fato, retornado na forma de esterco e urina para a superfície do solo (Anghinoni et. al., 2013).

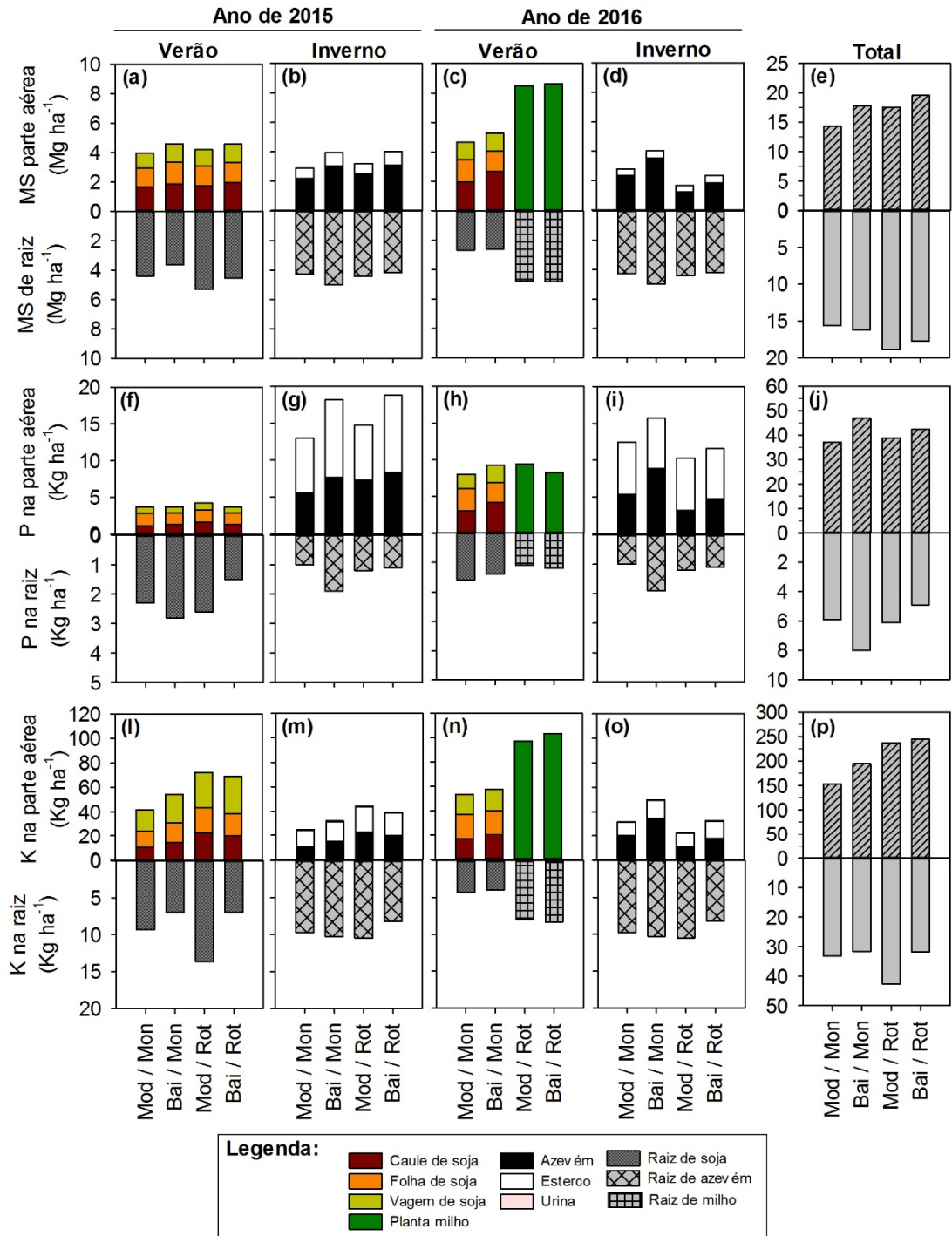


Figura 30. Biomassa, fósforo e potássio disponibilizado pelos resíduos das plantas e animais ao longo do tempo em sistema de produção de grãos e ovinos de corte. ⁽¹⁾ Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação.

Para a ciclagem de K da parte aérea, a fase pastagem proporcionou o retorno de 35 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K para a fase lavoura, equivalendo a 42 kg ha⁻¹ de K₂O ano⁻¹. Por outro lado, a fase lavoura promoveu um maior retorno (69 kg ha⁻¹ ano⁻¹) de K para a fase pastagem, equivalendo a 83 kg ha⁻¹ de K₂O ano⁻¹

(Figura 30p). Na prática, o grande aporte de K resultante da ciclagem dos resíduos é normalmente negligenciado, sendo comum a aplicação de altas doses de fertilizantes potássicos (Borkert et al., 2003).

Na fase lavoura, o sistema rotação de culturas forneceu maiores quantidades aportadas de K em relação à monocultura (Figura 30p), na média, o acréscimo foi de 39 % ($33 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), refletindo a maior capacidade dos resíduos do milho em reciclar esse nutriente. Diante desses resultados, a lógica da adubação fosfatada e potássica poderá ser alterada em sistemas conservacionistas de longo prazo (Ceretta et al., 2007). Nessa situação, a aplicação de parte ou todo o fertilizante poderá ser manejada em momentos distintos ao longo do ano, a aplicação do P antecedendo a fase pastagem e a aplicação de K na implantação da fase lavoura.

3.2 Balanço de fósforo no solo

O balanço de P no solo foi negativo para os tratamentos: Mod/Mon, Bai/Mon, Mod/Rot com valores variando de -3 a $-40 \text{ kg de P ha}^{-1}$, com exceção para o tratamento Bai/Rot que apresentou balanço positivo de $7 \text{ kg de P ha}^{-1}$ (Tabela 20). Provavelmente, este balanço positivo no tratamento Bai/Rot é resultado da maior adição de resíduos ($19,55 \text{ Mg ha}^{-1}$) ao longo do período avaliado. As entradas de P, via fertilizantes, foram iguais em todos os tratamentos (53 kg ha^{-1}), e as saídas através da exportação da carne dos animais (ganho de peso) e dos grãos das culturas corresponderam a 16, 18, 22 e 23 kg ha^{-1} de P para os tratamentos Mod/Mon, Bai/Mon, Mod/Rot e Bai/Rot, respectivamente (Tabela 20). Assim, a quantidade de P aplicado via fertilizante fosfatado representou o dobro da quantidade necessária de P para suprir as exportações dos sistemas.

As perdas por lixiviação e/ou escoamento superficial foram caracterizadas como “perdas não produtivas” e apresentaram valores superiores (em média $44 \text{ kg de P ha}^{-1}$) em relação às saídas produtivas (em média $23 \text{ kg de P ha}^{-1}$). Isso poderia ser uma consequência da lixiviação, escoamento superficial ou da imobilização do fósforo pelos microrganismos do solo. A primeira hipótese é menos provável, pois os teores de P disponível diminuíram

apenas na camada superficial do solo (0 a 10 cm), quando comparadas as épocas de amostragem de solo (Figura 31 a,c). Nas demais camadas de solo, os teores de P disponível foram similares entre os tratamentos e os períodos avaliados.

Tabela 20. Balanço de fósforo nos tratamentos manejados com diferentes intensidades de pastejo em sistemas integrado com ovinos

Ano	Compartimento	Mod / Mon ¹	Bai / Mon	Mod / Rot	Bai / Rot
		----- kg ha ⁻¹ -----			
Pastagem					
<i>Entrada:</i>					
2014	Raízes de azevém	1,0	1,9	1,2	1,1
	Recalcitrância do azevém	2,4	4,4	3,1	4,1
2016	Recalcitrância do azevém	2,8	5,2	2,0	2,7
Animal					
<i>Entrada:</i>					
2014	Recalcitrância do esterco	5,0	4,3	5,0	4,3
2016	Recalcitrância do esterco	3,4	4,0	3,4	4,0
<i>Saída:</i>					
2015 e 2016	Ganho de peso (carne)	2,5	3,2	2,5	3,2
Lavoura					
<i>Entrada:</i>					
2014	Caule de soja	0,2	0,2	-	-
	Parte aérea do milho	-	-	1,0	1,0
	Raízes das culturas	1,6	1,4	1,1	1,2
	Recalcitrância caule de soja	0,4	0,6	-	-
2016	Recalcitrância folha de soja	1,0	0,9	-	-
	Recalcitrância vagem de soja	0,4	0,6	-	-
	Recalcitrância do milho	-	-	3,0	2,9
<i>Saída:</i>					
2015 e 2016	Exportação de grãos	13	15	19	20
Solo					
<i>Estoque:</i>					
2014	Estoque inicial pós pastejo	166	209	140	144
2016	Estoque final pós pastejo	159	167	138	151
<i>Entrada:</i>					
2015 e 2016	Fertilizante	53	53	53	53
<i>Saída:</i>					
	Lixiviação / Escorrimento (PNP)	44	75	34	23
Balanço Final		-6	-40	-3	7

¹ Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação.

A segunda hipótese é mais viável porque nos tratamentos que incluem o milho no esquema de rotação, foram observados os menores teores

de P disponível na camada de 0 a 10 cm de solo em comparação aos teores na sucessão de soja (Figura 31 c). Isso pode ser atribuído às maiores quantidades de biomassa aérea ($> 8 \text{ Mg ha}^{-1}$) e a menor relação C/P (600:1) dos resíduos que estão sendo decompostos no solo (Moreira & Siqueira, 2006). Portanto, é provável que a maior parte considerável do P disponível esteja sendo imobilizado pelos microrganismos do solo. Além desses fatores citados, deve-se destacar a fixação do P pelos óxidos de ferro e alumínio que também proporcionam a diminuição do P disponível do solo (Novais et al., 2007).

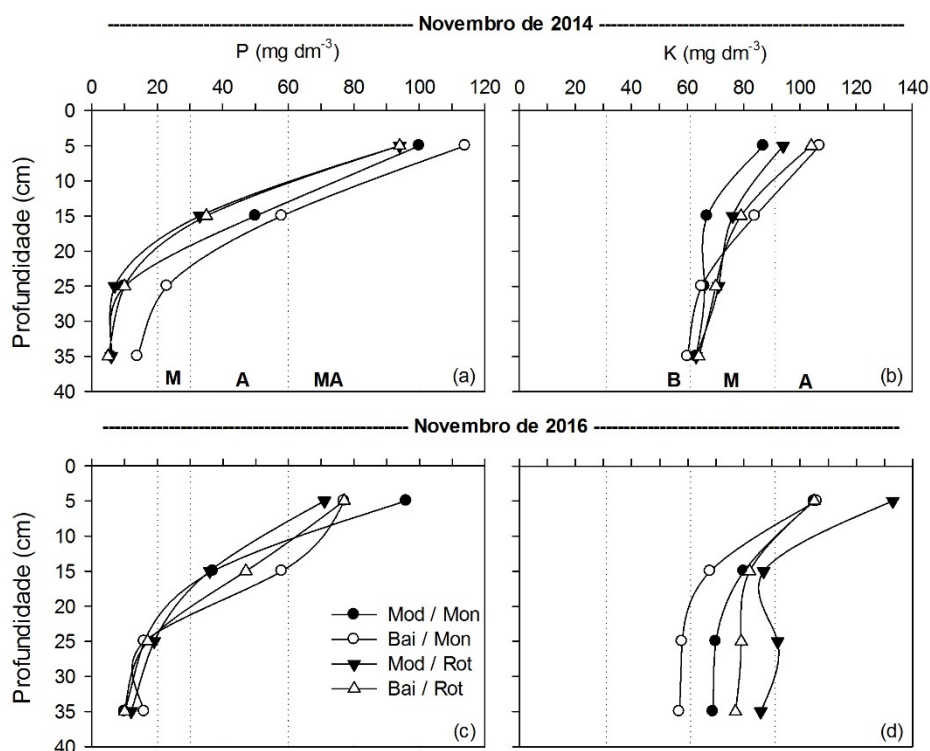


Figura 31. Teores de fósforo (a, c) e potássio (b,d) disponível no perfil do solo no início (novembro de 2014) e final (novembro de 2016) em sistema de grãos e ovinos. B: baixo; M: médio; A: alto e MA: muito alto conforme CQFS-RS/SC (2016). ⁽¹⁾ Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação.

O saldo negativo de P no solo (camada 0 a 40 cm) obtido pelos cálculos do balanço não necessariamente representam que os manejos foram inadequados. Isto, porque, a provável causa do balanço negativo foi atribuída à imobilização do P e a sua retenção em formas não-lábeis. Contudo, o baixo teor de argila ($< 20\%$) do solo em estudo, os altos teores de P disponível no solo ($> 60 \text{ mg dm}^{-3}$) e a aplicação do fertilizante fosfatado à lanço no início do estabelecimento da forrageira somado aos altos volumes de precipitações

pluviométricas devem estar promovendo perdas não produtivas de P através do processo de escoamento superficial. Conforme Gatiboni et al. (2015), quando o teor de P disponível da camada de 0 a 10 cm evidenciar valor acima do limite crítico ambiental de P do solo (60 mg dm^{-3} de P), são necessárias ações de remediação imediatas para diminuir o risco do ambiente. No presente estudo, foram observados valores de P disponível superiores ao valor do limite crítico na camada superficial (Figura 31a).

3.3 Balanço de potássio no solo

O balanço de K no solo foi positivo em todos os tratamentos, com valores variando de 41 a 183 kg ha^{-1} (Tabela 21). Este saldo positivo é resultado da aplicação de 98 kg ha^{-1} de K via fertilizante potássico e da ciclagem da biomassa radicular e da parte aérea que proporcionam um retorno médio de 242 kg ha^{-1} de K, totalizando no período avaliado uma entrada de 340 kg K ha^{-1} ($408 \text{ kg K}_2\text{O}$). As maiores exportações (saída produtiva) desse elemento foram verificadas nos grãos das culturas, representando uma saída média de 74 % do total aplicado via fertilizante potássico. Em geral, as doses de fertilizantes devem ser, no mínimo, suficientes para atender a reposição dos nutrientes exportados, fator importante para uma agricultura sustentável (Cunha et al., 2010). Contudo, no presente estudo, apenas a ciclagem de K dos resíduos (animal e vegetais) forneceu o equivalente a 3,3 vezes a quantidade exportada pelos grãos das culturas. Destaca-se, assim, a necessidade de diminuição da quantidade aplicada via fertilizante potássico em sistemas conservacionistas manejados por longo prazo. Diante desse contexto, nossos resultados discordam dos relatados por Ferreira et al. (2011) e Martins et al. (2014), que verificaram balanço negativo de K no solo num SIPA com bovinos de corte.

Tabela 21. Balanço de potássio nos tratamentos manejados com diferentes intensidades de pastejo e sistemas de cultivo em sistema integrado com ovinos

Ano	Compartimento	Mod / Mon ¹	Bai / Mon	Mod / Rot	Bai / Rot
		----- kg ha ⁻¹ -----			
Pastagem					
<i>Entrada:</i>					
2014	Raízes de azevém	9,8	10,3	10,5	8,3
	Recalcitrância do azevém	8,3	22,2	11,3	16,5
2016	Recalcitrância do azevém	13,1	20,7	6,3	10,9
Animal					
<i>Entrada:</i>					
2014	Recalcitrância do esterco	0,2	0,2	0,2	0,2
2016	Recalcitrância do esterco	0,4	0,6	0,4	0,6
<i>Saída:</i>					
2015 e 2016	Ganho de peso (carne)	0,5	0,6	0,5	0,6
Lavoura					
<i>Entrada:</i>					
2014	Caule de soja	-	-	-	-
	Parte aérea do milho	-	-	0,9	2,4
	Raízes das culturas	4,3	4,0	8,0	8,3
	Recalcitrância caule de soja	0,1	0,2	-	-
2016	Recalcitrância folha de soja	-	-	-	-
	Recalcitrância vagem de soja	-	-	-	-
	Recalcitrância do milho	-	-	2,9	7,8
<i>Saída:</i>					
2015 e 2016	Exportação de grãos	67	78	69	76
Solo					
<i>Estoque:</i>					
2014	Estoque inicial pós pastejo	208	241	210	262
2016	Estoque final pós pastejo	324	289	398	343
<i>Entrada:</i>					
2015 e 2016	Fertilizante	98	98	98	98
<i>Saída:</i>					
	Lixiviação / Escorrimento (PNP)	85	21	154	60
Balanço Final		116	41	183	82

¹Mod / Mon, intensidade moderada com monocultura no verão (soja/soja); Bai / Mon, intensidade baixa com monocultura; Mod / Rot, intensidade moderada com rotação no verão (soja/milho); Bai / Rot, intensidade baixa com rotação.

As menores PNP foram verificadas nos tratamentos com intensidade de pastejo baixa (21 e 60 kg ha⁻¹ de K). Esse comportamento é atribuído ao estabelecimento do azevém anual via ressemeadura natural de forma mais rápida e homogênea nas parcelas em comparação à intensidade de pastejo moderada (Campos, 2015), promovendo assim, maior tempo de absorção do K

pelo azevém e, conseqüentemente, maior proteção das perdas por lixiviação e/ou escoamento superficial.

Por outro lado, as maiores PNP (85 e 154 kg ha⁻¹ de K) observadas nos tratamentos com maior intensidade de pastejo podem estar relacionadas com a redução do banco de sementes do azevém no solo (Neto et al., 2014), dificultando o estabelecimento dessa forrageira no ano subsequente. Assim, é provável que esse menor número de sementes esteja resultando num incremento da superfície de solo descoberto e contribuindo para o aumento das perdas por lixiviação e/ou escoamento superficial.

Os maiores saldos positivos de K (116 e 183 kg ha⁻¹ de K) no solo foram verificados nos tratamentos Mod/Mon e Mod/Rot (Tabela 21). Este comportamento pode ser decorrente do maior número de afilhos de azevém e/ou do aumento do teor de carbono orgânico no solo. A primeira hipótese é mais viável porque com a maior carga animal resultou em uma maior população de afilhos ao longo do ciclo do pastejo em comparação à intensidade baixa (Neto et al., 2013). Além disso, o solo permanece sempre coberto e protegido e com maior proporção de perfilhos jovens e ativos, que estão em crescimento e constante renovação até o final do ciclo do pastejo (Kunrath et al., 2015a). Portanto, esse aumento da população de afilhos está resultando num maior tempo de absorção do K pelas raízes. A segunda hipótese está relacionada com o maior teor de carbono orgânico no solo. Segundo De Toni (2017), o maior valor (185 %) do índice de manejo de carbono foi observado para o tratamento Mod/Rot nos primeiros 20 cm de solo. Essa grande magnitude nos cálculos do balanço para esse tratamento é uma consequência do incremento de carbono no solo.

4. Conclusões

O manejo das culturas de soja (monocultura) e milho (em rotação com soja) no verão e as intensidades de pastejo no inverno afetam o balanço de fósforo no solo em SIPA. A adoção da intensidade de pastejo baixa associada com a rotação de culturas promove balanço positivo de fósforo no solo. Essa característica de menor carga animal e a maior quantidade e diversidade de

resíduos vegetais contribui para essa dinâmica diferenciada em comparação aos demais tratamentos.

O balanço positivo de potássio ocorre, independentemente do manejo do pasto e dos cultivos de verão, como reflexo da maior ciclagem nos diferentes compartimentos do sistema de produção. Neste balanço, observa-se que a intensidade de pastejo moderada diferencia com maior saldo em relação a intensidade baixa, independentemente do sistema de cultivo no verão.

CAPÍTULO IX - Conclusões e Considerações Finais

O cultivo intercalado de gramíneas e leguminosas no verão, associado a uma menor intensidade de pastejo ovino no inverno promove maior aporte de resíduos vegetais, constituindo-se em importante estratégia no aumento da ciclagem de fósforo e potássio nos sistemas integrados. Isto ocorre, sem afetar os indicadores químicos de fertilidade do solo ao final de 11 anos de condução do experimento.

O manejo diferenciado de cargas animais na pastagem juntamente com a adoção de culturas de verão não influencia o desenvolvimento radicular de azevém, soja e milho. Essa falta de efeito no sistema radicular, é atribuída ao adequado estado de fertilidade do solo, especialmente na camada superficial onde se encontra a maior parte das raízes.

A decomposição e liberação de fósforo e potássio do esterco dos ovinos para o solo não se diferencia entre as intensidades de pastejo, seja na época pastagem ou lavoura. Essa ausência das intensidades de pastejo é atribuída à capacidade de seleção de forragem de boa qualidade pelos ovinos.

A liberação de fósforo e potássio do esterco dos ovinos é diferenciada, sendo maior na época pastagem em relação à época lavoura e maior para o potássio em comparação ao fósforo.

A maior liberação de fósforo e potássio dos resíduos de azevém, soja e milho ocorre nos primeiros trinta dias após a sua deposição na superfície do solo. A liberação desses nutrientes é maior quando o pasto é manejado sob intensidade de pastejo baixa.

O balanço de potássio (adição-exportação) é sempre positivo, independentemente da intensidade de pastejo no inverno e sistema de cultivo no verão. Já para o fósforo o balanço foi positivo apenas na intensidade de pastejo baixa associada com a rotação de culturas soja e milho.

Referências Bibliográficas

ABAYE, A. O.; ALLEN, V. G.; FONTENOT, J. P. Grazing sheep and cattle together or separately: effect on soils and plants. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 3, p. 380-386, 1997.

ACOSTA, J. A. A. et al. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, p. 801-809, 2014.

ADAMI, P. F. **Produção, qualidade e decomposição de papuã sob intensidades de pastejo e níveis de nitrogênio**. 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2009.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, 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.

ANGHINONI, I. et al. Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. **Synergismus Scyentifica**, Pato Branco, v. 6, n. 2, 2011. Trabalho apresentado no 3. Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, Pato Branco, 2011.

ANGHINONI, I. et al. Ciclagem de nutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 4., 2017, Pato Branco. **Palestras: intensificação com sustentabilidade**. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 56-66.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 873-928.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropico brasileiro. In: ARAÚJO, A.P.; ALVES, B.J.R. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 325-380.

ASSMANN, J. M. et al. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities insubtropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 108, n. 1, p. 21-33, 2017.

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 de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 675-683, 2003.

ÁVILA, V. S. D. et al. O retorno da ovinocultura ao cenário produtivo do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 11, n. 11, p. 2419-2426, 2013.

BAHAMONDE, H. A.; GARGAGLIONE, V.; PERI, P. L. Sheep faeces decomposition and nutrient release across an environmental gradient in Southern Patagonia. **Ecología Austral**, Buenos Aires, v. 27, n. 1, p. 18-28, 2017.

BALBINO, L. C. et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1-12, 2011.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, n. 9, p. 1261-1263, 1996.

BARBOSA, C. M. P. **O manejo da pastagem como gerador de ambientes pastoris adequados à produção de cordeiros**. 2006. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

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, n. 1-2, p. 101-109, 2000.

BELLOF, G.; MOST, E.; PALLAUF, J. Concentration of Ca, P, Mg, Na and K in muscle, fat and bone tissue of lambs of the breed German Merino Landsheep in the course of the growing period. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 90, p. 385-393, 2006.

BENITES, V. M. et al. Potássio, cálcio e magnésio. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizante**. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 133-204.

BERG, B.; MCCLAUGHERTY, C. **Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration**. 2nd ed. Berlin: Springer, 2008. 338 p.

BERGAMASCHI, H. et al. **Boletins agrometeorológicos da estação experimental agrônômica da UFRGS: série histórica 1970 a 2012**. 2013. Disponível em: <
http://www.ufrgs.br/agronomia/joomla/files/EEA/Srie_Meteorologica_da_EEA-UFRGS.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2018.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ZOLDAN JR, W. A. Decomposição do resíduo de milho e variáveis relacionadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 369-375, 2004.

BOCOCK, K. L. et al. Changes in leaf litter when placed on the surface of soils with contrasting humus types. I. Losses in dry weight of oak and ash leaf litter. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 11, p. 1-9, 1960.

BOCOCK, K. L.; GILBERT, O. J. W. The disappearance of leaf litter under different woodland conditions. **Plant and Soil**, The Hague, v. 9, n. 2, p. 179-185, 1957.

BONETTI, J. A. et al. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 1, p. 104-112, 2015.

BORGES, E. E. S. et al. Dinâmica do fósforo em ovinos alimentados com dietas contendo diversos níveis deste mineral. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, p. 1679-1684, 2008.

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

BRAZ, A. J. B. P. et al. Acumulação de nutrientes em folhas de milho e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 83-87, 2004.

BRAZ, S. P. et al. Disponibilização dos Nutrientes das Fezes de Bovinos em Pastejo para a Forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, p. 1614-1623, 2002.

BRISKE, D. D. et al. Rotational grazing on rangelands: reconciliation of perception and experimental evidence. **Rangeland Ecology & Management**, Oregon, v. 61, p. 3-17, 2008.

CAMPOS, B. M. **Estabelecimento do azevém anual em sistemas integrados de produção agropecuária: implicações do resíduo das lavouras de soja e milho**. 2015. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

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.

CARASSAI, I. J. et al. Atributos físicos do solo sob intensidades de pastejo e métodos de pastoreio com cordeiros em integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1284-1290, 2011.

CARVALHO, P. C. F. et al. A integração soja-pecuária no sul do Brasil. In: MARTINS, A. P. et al. (Ed.). **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil**. Porto Alegre: UFRGS, 2015. p. 21-22.

CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A. Integration of grasslands within crop systems in South America. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; CHABBI, A. (Ed.). **Grasslands productivity and ecosystems services**. Oxfordshire: CABI, 2011. p. 219-226.

CARVALHO, P. C. F. et al. Managing grazing systems: reaching nutrient cycling and soil improvement with pasture management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 88, p. 259-273, 2010.

CARVALHO, P. C. F. et al. Manejo de animais em pastejo em sistemas de integração lavoura-pecuária. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED LIVESTOCK SYSTEMS, 2007, Curitiba. **Proceedings...** Curitiba: UFPR, 2007. p. 15.

CARVALHO, P. C. F. et al. Manejo da integração lavoura-pecuária para a região de clima subtropical. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 10., 2006, Uberaba. **Resumos**. Foz do Iguaçu: FEBRAPD, 2006. p.177-184.

CARVALHO, P. C. F. et al. O estado da arte em integração lavoura e pecuária. In: CICLO DE PALESTRAS EM PRODUÇÃO E MANEJO DE BOVINOS, 10., 2005, Porto Alegre. **Anais...** Canoas: ULBRA, 2005. p. 7-44.

CARVALHO, P. C. F. et al. **Otimizando o uso da pastagem pela integração de ovinos e bovinos**. 2005. Disponível em: < <http://www.ufrgs.br/gpep/documents/capitulos/Otimizando%20o%20uso%20da%20pastagem%20pela%20integra%C3%A7%C3%A3o%20de%20ovinos%20e%20bovinos.pdf> >. Acesso em: 5 mar. 2018.

CARVALHO, P. C. F. et al. Normas racionais de manejo de pastagens para ovinos em sistema exclusivo e integrado com bovinos. In: SIMPÓSIO PAULISTA DE OVINO-CULTURA, 6., 2002, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Universidade Estadual de São Paulo, 2002. p. 21-50.

CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 144 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CASTRO, C. R. C. **Relações planta-animal em pastagem de milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke.) manejada em diferentes alturas com ovinos**. 2002. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

CECATO, U. et al. Teores de carboidratos não-estruturais, nitrogênio total e peso de raízes em Coastacross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) pastejado por ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 644-650, 2001.

CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; PAVINATO, A. Manejo da adubação. In: NOVAIS, R.F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 851-872.

CHÁVEZ, L. F. et al. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1254-1261, 2011.

CHEN, W. et al. Pasture type and fertilization effects on soil chemical properties and nutrient redistribution. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 81, n. 4, p. 395-404, 2001.

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

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A. et al. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 137-158.

CORSI, M.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; PAGOTTO, D. S. Sistema radicular: dinâmica e resposta a regimes de desfolha. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 838-852.

CQFS-RS/SC. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 376 p.

CQFS-RS/SC. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2004. 394 p.

CRESPO, G.; GONZALEZ, A. Cantidad y distribución de las excretas en el pastizal y su influencia en la fertilidad del suelo. **Revista Cubana Ciencias y Agricultura**, Cuba, v. 17, p. 1-11, 1983.

CRUSCIOL, A. C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161-168, 2005.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 481-489, 2008.

CUNHA, G. M. et al. Ciclagem de nutrientes. In: MOREIRA, G.R.; MARTINS, C.B.; DEMINICIS, B.B. (Ed.). **Tópicos especiais em ciência animal III**. Alegre: Caufes, 2015. p. 199-217.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 309-351.

DAWSON, L. A. et al. Morphological and topological responses of roots to defoliation and nitrogen supply in *Lolium perenne* and *Festuca ovina*. **New Phytologist**, Oxford, v. 161, p. 811-818, 2003.

DAWSON, L.A.; GRAYSTON, S.J.; PATERSON, E. Effects of grazing on the roots and rhizosphere of grasses. In: LEMAIRE, G. et al. (Ed). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford, UK: CAB International, 2000. p. 61-84.

DE TONI, C. A. G. **Qualidade do solo em sistema de integração ovinos - soja / milho com diferentes intensidades e métodos de pastejo**. 2017. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

DOREAU, M.; DIAWARA, A. Effect of level of intake on digestion in cows: influence of animal genotype and nature of hay. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 35-45, 2003.

DUBEUX, J. et al. Nutrient cycling in warm-climate grasslands. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 3, p. 915-928, 2007.

EISSENSTAT, D. M. et al. Building roots in a changing environment: implications for root longevity. **New Phytologist**, Oxford, v. 147, p. 33-42, 2000.

EISSENSTAT, D. M.; YANAI, R. D. The ecology of root lifespan. **Advances in Ecological Research**, London, v. 27, p. 2-60, 1997.

EMATER/RS. **Série histórica das culturas de grãos no Rio Grande do Sul**. 2016. Disponível em: < <http://www.emater.tche.br/site/servicos/informacoes-agropecuarias.php#.V-u7gfrLIU> >. Acesso em: 20 ago. 2016.

EMBRAPA. Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina 2012/2013 e 2013/2014. In: REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 39., 2012, Passo Fundo. **Anais ...** Passo Fundo, 2012. 142 p. (Documentos, 107).

EMBRAPA. **ILPF em números**. 2017. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/documents/1354377/2540596/ILPF+em+N%C3%BAmeros/e69a817a-fdc9-c105-3f81-4dc209509a5b> >. Acesso em: 03 mar. 2018.

FALCONER, G. J.; WRIGHT, J. W.; BEALL, H. W. The decomposition of certain types of fresh litter under field conditions. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 20, p. 196-203, 1933.

FEIX, R. D.; LEUSIN, S. J. **Painel do agronegócio no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fundação de Economia e Estatística, 2015. 44 p.

FEPAGRO. **Indicações técnicas para o cultivo do milho e do sorgo no Rio Grande do Sul: safras 2011/2012 e 2012/2013**. Ijuí: Fepagro, 2011. 140 p.

FERREIRA, E. V. O. et al. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 161-169, 2011.

FIORIN, J. E. Rotação de culturas e as plantas de cobertura do solo. In: FIORIN, J. E. (Ed.). **Manejo e fertilidade do solo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Berthier, 2007. p. 145-184.

FLORES, J. P. C. et al. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2385-2396, 2008.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**. 5. ed. Passo Fundo: UPF, 2011. 733 p.

FLOSS, E. L. Manejo forrageiro da aveia (*Avena* spp) e azevém (*Lolium* spp). In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 9., 1988, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1988. p. 231-268.

FONTANELI, R. S. et al. Gramíneas forrageiras anuais de inverno. In: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. (Ed.). **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. Brasília: Embrapa, 2012. p. 127-172.

FONTANELI, R. S. et al. Rendimento e nodulação de soja em diferentes rotações de espécies anuais de inverno sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 349-355, 2000.

FRANCHINI, J. C. et al. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 533-542, 1999.

FRANCHINI, J. C. et al. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 52 p. (Documentos, 327).

FRANCHINI, J. C. et al. Root growth of soybean cultivars under different water availability conditions. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 38, n. 2, 2017.

FRANK, D. A. Drought effects on aboveground and belowground production in a temperate grazed grassland ecosystem. **Oecologia**, Berlim, v. 152, n. 1, p. 131-139, 2007.

FRANZLUEBBERS, A. J. Fostering the future with forage: the case for pasture-crop rotations. **Better Crops with Plant Food**, Atlanta, v. 101, n.4, p. 3-5, 2017.

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

FREITAS, M.; ARAUJO, C. A. S.; SILVA, D. J. Decomposição e liberação de nutrientes de esterco em função da profundidade e do tempo de incorporação. **Revista Semiárido de Visu**, Petrolina, v. 2, n. 1, p. 150-161, 2012.

FREITAS, T. M. S. D. **Dinâmica da produção de forragem, comportamento ingestivo e produção de ovelhas Ile de France em pastagem de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) em resposta a doses de nitrogênio**. 2003. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

GARRETT, R. et al. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: current knowledge and remaining uncertainty. **Agricultural Systems**, Essex, v. 155, p. 136-146, 2017.

GATIBONI, L. C. et al. Soil phosphorus thresholds in evaluating risk of environmental transfer to surface waters in Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1225-1234, 2015.

GENTRY, L. E. et al. Source of the soybean N credit in maize production. **Plant and Soil**, The Hague, v. 236, n. 2, p. 175-184, 2001.

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, p. 1097-1104, 2003.

GIBB, M. J.; TREACHER, T. T. The effect of herbage allowance on herbage intake and performance of lambs grazing perennial ryegrass and red clover swards. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 86, p. 355-365, 1976.

GOEDERT, W. J.; OLIVEIRA, S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 991-1017.

GOLLEY, F. B. et al. **Mineral cycling in a tropical moist forest ecosystem**. Athens: University of Georgia Press, 1975. 248 p.

GREGORY, P. J. **Plant roots growth, activity and interaction with soils**. Oxford: Blackwell Publishing, 2006. 328 p.

HATFIELD, P. G. et al. Incorporating sheep into dryland grain production systems: I. Impact on over-wintering larva populations of wheat stem sawfly, *Cephus cinctus* Norton (Hymenoptera: Cephidae). **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 67, n. 2-3, p. 209-215, 2007a.

HATFIELD, P. G. et al. Incorporating sheep into dryland grain production systems: II. Impact on changes in biomass and weed density. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 67, n. 2-3, p. 216-221, 2007b.

HATFIELD, P. G. et al. Incorporating sheep into dryland grain production systems III. Impact on changes in soil bulk density and soil nutrient profiles. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 67, n. 2-3, p. 222-231, 2007c.

HAVEN, P. G.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 728 p.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, Massachusetts, v. 49, p. 119-199, 1993.

HELMERS, G. A.; YAMOA, C. F.; VARVEL, G. E. Separating the impacts of crop diversification and rotations on risk. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, p. 1337-1340, 2001.

HODGSON, J. **Grazing management: science into practice**. Essex: Longman Scientific and Technical, 1990. 203 p.

IBGE. **Censo agropecuário**. 2006. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=CA&z=t&o=11> >. Acesso em: 10 jun. 2016.

KIMMINS, J. P. **Forest ecology**: a foundation for sustainable forest management and environmental ethics in forestry. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2004. 720 p.

KOZELINSKI, S. M. **Produção de trigo duplo propósito e ciclagem de nutrientes em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2009. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2009.

KUNRATH, T. R. et al. Fase pastagem. In: MARTINS, A. M. et al. (Ed.). **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. Porto Alegre: UFRGS, 2015a. p. 31-42. (Boletim técnico).

KUNRATH, T. R. et al. Fase soja. In: MARTINS, A. M. et al. (Ed.). **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. Porto Alegre: UFRGS, 2015b. p. 43-50. (Boletim técnico).

KUTSCH, W. L.; BAHN, M.; HEINEMEYER, A. **Soil carbon dynamics**: an integrated methodology. New York: Cambridge University Press, 2010. 286 p.

LEDGARD, S. F. Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. **Plant and Soil**, The Hague, v. 228, n. 1, p. 43-59, 2001.

LUNARDI, R. **Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema de integração lavoura pecuária em função de espaçamento entre fileiras, métodos e intensidades de pastejo**. 2005. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LUNARDI, R. et al. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 795-801, 2008.

MACARI, S. et al. Recria de borregas sob diferentes métodos de pastoreio em azevém anual em sucessão a lavoura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1401-1408, 2011.

MARMILICZ, S. T. J. **A soja como estratégia de reprodução socioeconômica**: o caso dos agricultores familiares de Guarani das Missões - RS. 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTENS, J. R. T.; ENTZ, M. H. Integrating green manure and grazing systems: a review. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 91, n. 5, p. 811-824, 2011.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 46, p. 1117-1126, 2011.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. Integração lavoura-pecuária. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: culturas**. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 287-307.

MARTINS, A. P. et al. Soil acidification and basic cation use efficiency in an integrated no-till crop-livestock system under different grazing intensities. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 195, p. 18-28, 2014.

MATHEWS, B. W.; SOLLENBERGER, L. E. Grazing systems and spatial distribution of nutrients in pastures: soil considerations. In: NUTRIENT CYCLING IN FORAGE SYSTEMS, 1996, Columbia. **Proceedings...** Columbia: University of Missouri, 1996. p. 213- 229.

MATZENUER, R. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105 p. (Boletim FEPAGRO, 10).

MAUGHAN, M. W. et al. Soil quality and corn yield under crop-livestock integration in Illinois. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, n. 6, p. 1503-1510, 2009.

MILCHUNAS, D. G.; LAUENROTH, W. K. Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. **Ecological Monographs**, Washington, v. 63, p. 327-366, 1993.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 92, p. 1-8, 2000. (Encarte Técnico).

MOOJEN, F. G. **Estudo de longa duração em sistema integrado de produção agropecuária: explorando relações planta-animal na fase pastagem**. 2017. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MOORE, M. J.; KLOSE, S.; TABATABAI, A. M. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 31, n. 3, p. 200-210, 2000.

MORAES, A. D. et al. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 4-9, 2014.

MORAES, A. et al. Integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. In: MELLO, N.A.; ASSMANN, T. S. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil**. Pato Branco: CEFET, 2002. p. 3-60.

MORAES, A. **Produtividade animal e dinâmica de uma pastagem de pangola (*Digitaria decumbens* Stent), azevém (*Lolium Multiflorum* Lam.) e trevo branco (*Trifolium repens* L.) submetida a diferentes pressões de pastejo**. 1991. 200 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

MORAES, M. T. **Modelagem do crescimento radicular de milho e soja sujeito a estresses hídrico e mecânico em Latossolo**. 2017. 122 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MORVAN-BERTRAND, A. et al. Partitioning of reserve and newly assimilated carbon in roots and leaf tissues of *Lolium perenne* during regrowth after defoliation: assessment by ¹³C steady-state labeling and carbohydrate analysis. **Plant Cell & Environment**, Oxford, v. 22, n. 9, p. 1097-1108, 1999.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6., 1952, Pennsylvania. **Proceedings...** Pennsylvania: State College Press, 1952. p. 1380-1385.

NABINGER, C. Eficiência do uso de pastagens: disponibilidade e perdas de forragem. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 213-251.

NELSON, C. J.; MOSER, L. E. Plant factors affecting forage quality. In: FAHEY JR., G. C. (Ed.). **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p. 115-154.

NETO, A. B. et al. Italian ryegrass establishment by self-seeding in integrated crop-livestock systems: effects of grazing management and crop rotation strategies. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 77-83, 2014.

NETO, A. B. et al. Perfilhamento em pastagens de azevém em sucessão a soja ou milho, sob diferentes métodos e intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 3, p. 329-338, 2013.

NEWBOULD, P. Principles of nutrient cycling: elements, compartments, pathways and transfers, time scales, rates of transfer and nutrient balances. In: FRISSEL, M. J. (Ed.). **Cycling of mineral nutrients in agricultural ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1978. p. 3-6.

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.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471-550.

NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of sheep**. 6th ed. Washington, D.C.: National Academic of Science, 1985. 99 p.

NYE, P. H. Organic material and nutrient cycles under moist tropical forest. **Plant and Soil**, The Hague, v. 13, p. 333-346, 1961.

OENEMA, O.; KROS, H.; VRIES, W. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 20, n. 1-2, p. 3-16, 2003.

OLTJEN, J. W.; BECKETT, J. L. Role of ruminant livestock in sustainable agricultural systems. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 74, p. 1406-1409, 1996.

OVINGTON, J. D. Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept. **Advances Ecology Resource**, Madison, v. 1, p. 103-192, 1962.

PAL, D.; BROADBENT, F. E. Kinetics of rice straw decomposition in soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 4, n. 3, p. 256-260, 1974.

PARSONS, A. J. et al. The physiology of grass production under grazing. II. Photosynthesis, crop growth and animal intake of continuously grazed swards. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 20, p. 127-139, 1983.

PEDREIRA, C. G. S. Métodos de pastejo. In: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. (Ed.). **Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros**. Jaboticabal: Multipress, 2013. p. 481-497.

PEREIRA, M. W. G.; ARÊDES, A. F.; TEIXEIRA, E. C. Avaliação econômica do cultivo de trigo dos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 5, p. 591-610, 2007.

PÉREZ, J. R. O.; CARVALHO, P. A.; PAULA, O. J. **Aspectos relacionados com a produção de carne ovina**. 2008. Disponível em: <
https://docs.ufpr.br/~freitasjaf/artigosovinos/prod_carne_ovina_nutrir.pdf >.
Acesso em: 15 jul. 2016.

PONTES, L. S. **Dinâmica de crescimento em pastagens de azevém anual (*Lolium Multiflorum* Lam.) manejadas em diferentes alturas**. 2001. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. **Plant and Soil**, The Hague, v. 269, p. 341-356, 2005.

RESENDE, Á. V. et al. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 156, p. 1-19, dez. 2016.

ROMAN, J. **Relação planta-animal em diferentes intensidades de pastejo com ovinos em azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.)**. 2006. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

ROTZ, C. et al. Whole-farm perspectives of nutrient flows in grassland agriculture. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 6, p. 2139-2159, 2005.

ROWARTHIA, J. S. et al. Release of phosphorus from sheep faeces on grazed, hill country pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 28, p. 497-504, 1985.

RUSSELLE, M. P. Nutrient cycling in pasture. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. p. 235-266.

RYAN, J.; SINGH, M.; PALA, M. Long term cereal based rotation trials in the mediterranean region: implications for cropping sustainability. **Advances in Agronomy**, Massachusetts, v. 97, p. 273-319, 2008.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. 5 p. (Comunicado Técnico, 198).

SANDERSON, M. et al. Spatial distribution of livestock concentration areas and soil nutrients in pastures. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 65, n. 3, p. 180-189, 2010.

SARAIVA, F. M. **Ciclagem de nutrientes em pastagens de gramíneas tropicais manejadas sob diferentes intensidades de pastejo**. 2010. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

SARTOR, L. R. **Atributos químicos e biológicos do solo, rendimento e valor nutritivo de grão de milho em sistema de integração lavoura-ovinos em resposta ao nitrogênio**. 2012. 102 f. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SEASTEDT, T. R. Mass, nitrogen and phosphorus dynamics in foliage and root detritus of tallgrass prairie. **Ecology**, Washington, D.C., v. 69 p. 59-65, 1988.

SEBRAE. **Produção de carne ovina pode ser mais rentável que bovina**. 2003. Disponível em: < <http://www.sebraesp.com.br/index.php/165-produtos-online/administracao/publicacoes/artigos/8030-producao-de-carne-ovina-pode-ser-mais-rentavel-que-bovina> >. Acesso em: 15 jun. 2016.

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**, The Hague, v. 303, n. 1, p. 177-189, 2008.

SHAND, C. A.; COUTTS, G. The effects of sheep faeces on soil solution composition. **Plant and Soil**, The Hague, v. 285, n. 1, p. 135-148, 2006.

SILVA, A. P. S. P. et al. Ovinocultura do Rio Grande do Sul: descrição do sistema produtivo e dos principais aspectos sanitários e reprodutivos. **Revista Pesquisa Veterinária Brasileira**, Seropédica, v. 33, p. 1453-1458, 2013.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos**: métodos químicos e biológicos. 3 ed. Viçosa: UFV, 2002. 235 p

SILVA, F. D. et al. Pasture grazing intensity and presence or absence of cattle dung input and its relationships to soybean nutrition and yield in integrated crop-livestock systems under no-till. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 84-91, 2014.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 275-374.

SILVA, J. L. S. et al. **Manejo de azevém anual e rendimento de bovinos de corte em integração lavoura-pecuária nas terras baixas do bioma pampa**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. 8 p. (Circular Técnica, 119).

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, p. 191-199, 2000.

SILVEIRA, E. O. **Comportamento ingestivo e produção de cordeiros em pastagem de azevém anual (Lolium Multiflorum Lam.) manejada em diferentes alturas**. 2001. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

SMITH, T. M.; SMITH, R. L. **Elements of ecology**. 8th ed. New York: Pearson Education, 2011. 704 p.

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, p.1273- 1282, 2008.

SPAIN, J. M.; SALINAS, J. G. A reciclagem de nutrientes nas pastagens tropicais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16., 1984, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, 1985. p. 259-299.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS - ASCAR, 2008. 222 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS, 1995. 174 p.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, p. 1351-1361, 1993.

THORNTON, B.; MILLARD, P. Effects of severity of defoliation on root functioning in grasses. **Journal of Range Management**, Denver, v. 49, p. 443-447, 1996.

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.

VANLAUWE, B. et al. Residue quality and decomposition: an unsteady relationship? In: CADISCH, G.; GILLER, K. E. (Ed.). **Driven by nature: plant litter quality and decomposition**. London: CAB International, 1997. p. 157-166.

VENZKE FILHO, S. P. et al. Root systems and soil microbial biomass under no-tillage system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 529-537, 2004.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **O solo como sistema**. Curitiba: Edição dos autores, 2011. 104 p.

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.

WALKER, J. W. et al. Training lambs to be weed eaters: studies with leafy spurge. **Journal of Range Management**, Denver, v. 45, p. 245-249, 1992.

WHITEHEAD, D. C. **Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships**. Wallingford: CABI Publishing, 2000. 369 p.

WIDER, R. K.; LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, Tempe, v. 63, n. 6, p. 1636-1642, 1982.

WILDUNG, R. E.; GARLAND, T. R.; BUSCHBOM, R. L. The interdependent effects of soil temperature and water content on soil respiration rate and plant root decomposition in arid grassland soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 7, p. 373-378, 1975.

WILLIAMS, B.; WARREN, J. Effects of spatial distribution on the decomposition of sheep faeces in different vegetation types. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 237-243, 2004.

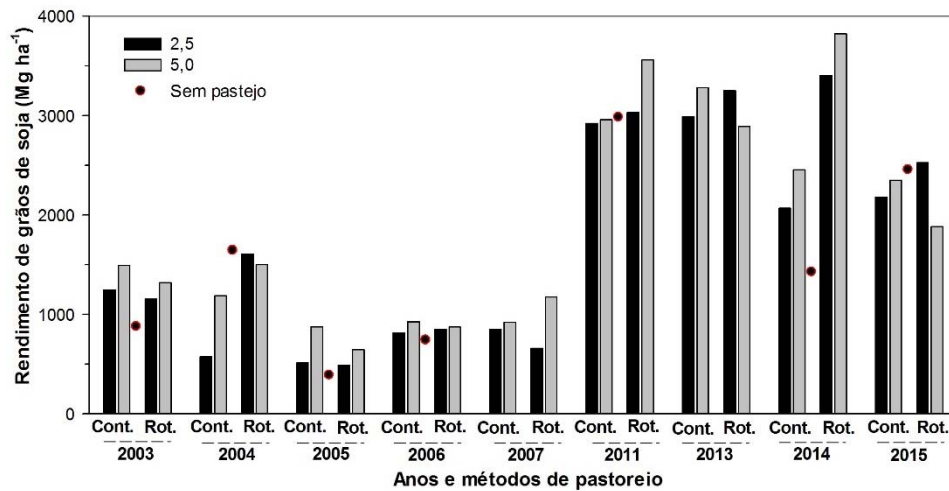
WOLF, D. C.; WAGNER, G. H. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: SYLVIA, D. M. et al. (Ed.). **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey: Pearson Education, 2005. p. 285-329.

ZANON, R. S. et al. Produção de soja no Brasil: principais determinantes do tamanho das propriedades. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 48., 2010, Campo Grande. **Anais do Congresso...** Campo Grande: SOBER, 2010. p. 20.

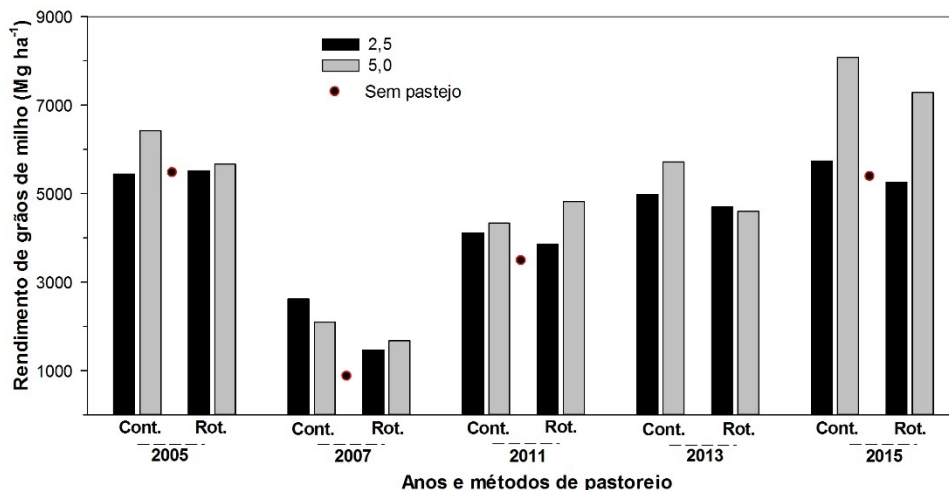
ZONTA, E. et al. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p. 7-52.

APÊNDICE

1. Rendimentos de grãos observados durante a execução do protocolo.



Rendimento de grãos de soja em função do método de pastoreio (contínuo e rotativo) e das intensidades de pastejo em sistema de monocultura ao longo das safras agrícolas.



Rendimento de grãos de milho em função do método de pastoreio (contínuo e rotativo) e das intensidades de pastejo em sistema de rotação de culturas ao longo das safras.

Observação: nesse sistema a soja não foi considerada por não haver sentido prático comparar espécies diferentes.

Resumo Biográfico

Fernando Arnuti, filho de José Francisco Arnuti e Idilce Maria Marin Arnuti, nasceu em 24 de fevereiro de 1985, em Nova Palma, Rio Grande do Sul (RS). Estudou o ensino fundamental e médio na Escola Estadual de Educação Básica João XXIII na cidade de São João do Polêsine - RS. Em fevereiro de 2005, ingressou no Curso Técnico Agrícola com Habilitação em Agricultura no Instituto Federal Farroupilha, campus São Vicente do Sul - RS. Em outubro de 2006, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria campus de Frederico Westphalen, graduando-se em dezembro de 2011. Em julho de 2008, ingressou no Curso Técnico em Administração na Escola Estadual Técnica José Cañellas. Em março de 2012, iniciou seus estudos de Mestrado em Ciência do Solo no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Prof. Egon José Meurer. Em março de 2014, ingressou no Doutorado em Ciência do Solo no mesmo PPG, sob orientação do Prof. Ibanor Anghinoni. Em março de 2018, ingressou como professor substituto no Instituto Federal do Rio Grande do Sul, campus Sertão - RS.