

CICLAGEM E BALANÇO DE POTÁSSIO E PRODUTIVIDADE DE SOJA NA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA SOB SEMEADURA DIRETA⁽¹⁾

Eric Victor de Oliveira Ferreira⁽²⁾, Ibanor Anghinoni⁽³⁾, Marcelo Hoerbe Andrighetti⁽⁴⁾, Amanda Posselt Martins⁽⁴⁾ & Paulo César de Faccio Carvalho⁽⁵⁾

RESUMO

A ciclagem e balanço de nutrientes em sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) são processos que envolvem o componente solo, a planta e o animal, além da fertilização, em que o manejo dos animais, por alterar as condições bióticas e abióticas do solo, altera a velocidade de decomposição dos resíduos. Objetivou-se avaliar a ciclagem e o balanço de K em sistema ILP sob semeadura direta, em função da intensidade de pastejo por bovinos em pastagem, no inverno, e sua relação com a produtividade de soja, cultivada no verão. O experimento foi iniciado em maio de 2001 em Latossolo Vermelho distroférico, em área que vinha sendo cultivada em semeadura direta desde 1991. Os tratamentos constaram de intensidades de pastejo contínuo, por bovinos jovens, em mistura de azevém + aveia-preta, representados por alturas do pasto: 10, 20, 30 e 40 cm e sem pastejo (testemunha), distribuídos num delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições, em que se avaliou um ciclo pastagem/soja (safra 2007/08). Na ciclagem, foram considerados os teores de K na pastagem, na soja e nos animais e, no balanço desse nutriente, na lavoura e no solo, foram considerados os seus teores no solo e as entradas, como fertilizante e saídas, nos grãos de soja e no tecido animal. A ciclagem do K aumentou com o aumento da intensidade de pastejo, e o seu balanço no sistema, apesar de negativo, com maior déficit nas áreas com maior intensidade de pastejo, não influenciou a produtividade da soja.

Termos de indexação: intensidade de pastejo bovino, aveia-preta + azevém, *Glycine max*.

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao PPG-Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq, da Fundação Agrisus e da Cabanha Cerro Coroado. Recebido para publicação em maio de 2010 e aprovado em dezembro de 2010.

⁽²⁾ Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). Bolsista CNPq. E-mail: ericosolos@yahoo.com.br

⁽³⁾ Docente Colaborador no Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, CEP 91540-000 Porto Alegre (RS). E-mail: ibanghi@ufrgs.br

⁽⁴⁾ Bolsistas de Iniciação Científica no Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS. E-mail: 00135966@ufrgs.br; amandaposselt@gmail.com

⁽⁵⁾ Professor Adjunto do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS. E-mail: paulocfc@ufrgs.br

SUMMARY: POTASSIUM CYCLING AND BALANCE AND SOYBEAN YIELD IN AN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM UNDER NO-TILLAGE

Nutrient cycling and balance in integrated crop-livestock systems (ICL) are processes that involves soil, plant and animal components, beyond fertilization. Animal management, by modifying soil biotic and abiotic conditions, also influences this process as it affects the residue decomposition rate. The objective was to evaluate potassium (K) cycling and balance in an ICL system with grazing (black oat and ryegrass) intensities in the winter, followed by soybean cultivated in the summer. The experiment was conducted as of May of 2001 in an area in the state of Rio Grande do Sul – Brazil, on a Rhodic Hapludox (Oxisol), under no tillage since 1991. The treatments consisted of continuous bovine grazing intensities at a pasture height of 10, 20, 30 and 40 cm, and a control (no-grazing), in a randomized block design, with three replicates. The forage/soybean cycle of 2007/08 was evaluated in this paper. To calculate K cycling, the contents accumulated in pasture, soybean and animals in one pasture-soybean cycle were considered, and the balance, “in the field” and “in the soil”, of K inputs (fertilizer) and outputs (soybean grains and animal tissue) and the K remaining in plant and soil, respectively, were calculated. Potassium cycling increased with increasing grazing intensity and the balance, despite negative, with a higher deficit in areas with higher grazing intensity, did not influence soybean yield.

Index terms: bovine grazing intensities, black oat + Italian ryegrass, Glycine max.

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade dos sistemas integrados de produção agropecuária tem como fundamento o manejo do solo, das plantas (forrageiras e culturas comerciais) e dos animais de forma que, ao mesmo tempo, não cause restrições ao ambiente radicular e produza quantidades de resíduos suficientes para a consolidação do sistema. Ao se manejar o número de animais por unidade de área (expressando a intensidade de pastejo) 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). De modo geral, taxas de lotação definidas acima do ideal (superlotação) acarretam baixa massa de matéria seca de forragem, menor cobertura do solo, menor produção de forragem no sistema e, finalmente, menor acúmulo de palha para o sistema.

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; com o entendimento dos fatores e dos processos que controlam a ciclagem de nutrientes, é possível sincronizar a sua disponibilização com a demanda da cultura sucessora. Os animais, na pastagem, influenciam a ciclagem e a distribuição dos nutrientes no solo, via desfolha das plantas, e o seu retorno para o solo, pela excreção, como esterco e urina (Whitehead, 2000; Nascimento Jr. & Cavalcante, 2001; Santos, 2003). Entretanto, essa temática ainda é pouco estudada na produção integrada de sistemas agropecuários na forma extensiva (animais não confinados), que, de acordo com Santos (2003), é a dominante no Brasil.

Para Gustafson et al. (2006), os cálculos de fluxos e balanço de nutrientes em sistemas de produção agrícola fornecem informações básicas para a avaliação da sua sustentabilidade ao longo do tempo. Dessa forma, quando as saídas de um nutriente em particular são maiores que as entradas na lavoura ou na propriedade, a condição é de insustentabilidade (Oenema et al., 2003). A exportação de nutrientes pelo tecido animal e por seus produtos e derivados (carne, leite, lã, etc.) é baixa, variando de 5 a 30 % do total ingerido, dependendo do produto animal comercializado (Rotz et al., 2005). Assim, do total de K que retorna ao solo pelas excretas dos animais (até 90 % do ingerido), a maior parte (70–90 %) é excretada na urina, na forma iônica, solúvel em água e prontamente disponível para absorção pelas plantas (Haynes & Williams, 1993). A dinâmica desse nutriente no solo e sua ciclagem dependem, então, do sistema de produção adotado.

A ciclagem e o balanço de K têm sido mais estudados em sistemas intensivos de produção mista de regiões de condições temperadas e frias, com animais confinados. Na comparação de dois trabalhos, na Suécia, em sistemas intensivos de produção de leite, o saldo foi positivo, no período de três anos, no subsistema estábulo (*barn subcycle*), no trabalho de Gustafson et al. (2006); entretanto, o estudo de Andrist-Rangel et al. (2007) apresentou saldo negativo no subsistema solo-planta (*soil-crop subcycle*), em três locais por 18 anos, com seis tipos de rotações. Segundo os autores do referido trabalho, o déficit havido foi suprido tanto por camadas mais profundas como por formas não trocáveis de K do solo.

Em sistemas de produção sem pousio entre uma cultura e outra (sistema planta-colhe-planta), o K

absorvido permanece a maior parte do tempo no tecido vegetal, protegido de perdas por erosão e lixiviação. Embora a quantidade de K absorvida pelas plantas seja grande, a quantidade removida pelos grãos é relativamente pequena ($\pm 20\%$), sendo o seu restante retornado ao solo via ciclagem biogeoquímica. Dessa maneira, o aumento no rendimento de matéria seca das culturas, pelo melhoramento da fertilidade e pelo bom uso do solo, intensifica a ciclagem de K (Santi et al., 2003; Rossato, 2004), com saldo positivo no sistema. Assim, espera-se que, em sistemas integrados, como o de integração lavoura-pecuária (ILP), tanto a ciclagem como as perdas de K sejam intensificadas com o aumento da intensidade do pastejo, restando, então, verificar a influência destas no balanço desse nutriente no solo e o seu efeito na cultura comercial, componente do sistema. Objetivou-se neste trabalho avaliar a ciclagem e o balanço de K no sistema ILP sob semeadura direta, submetido a intensidades de pastejo bovino no inverno, e sua influência sobre a produtividade da soja cultivada em sucessão.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido a partir de um experimento de longa duração, iniciado em maio de 2001 na Fazenda do Espinilho, no município de São Miguel das Missões – RS, ($29^{\circ} 03' 10''$ S, $53^{\circ} 50' 44''$ W), em Latossolo Vermelho distroférico típico (Embrapa, 2006) com textura argilosa (540 g kg^{-1} de argila) e manejado em sistema de semeadura direta desde 1991. Antes da implantação do experimento (novembro de 2000), o solo apresentava, na camada de 0–20 cm, pH em água de 4,7; C orgânico de 32 g kg^{-1} ; P-Mehlich-1 de $8,0 \text{ mg dm}^{-3}$; K-Mehlich-1 de 126 mg dm^{-3} ; Ca, Mg e Al trocáveis ($\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$) de 4,78, 1,57 e $0,66 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente; e $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ de $16,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tedesco et al., 1995). A sequência de cultivos, desde 1991, foi de pastagem aveia-preta + azevém comum (*Avena strigosa* + *Lolium multiflorum*), no período de outono/inverno (maio a novembro), e soja (*Glycine max*) no de primavera/verão (novembro a maio). Os animais entraram na área experimental, pela primeira vez, em julho de 2001.

O tamanho das parcelas variou de 0,85 a 3,53 ha, em função dos tratamentos aplicados, que constaram de intensidades de pastejo representadas pelas alturas de manejo do pasto: 10 cm (P-10), 20 cm (P-20), 30 cm (P-30) e 40 cm (P-40), e um tratamento testemunha sem pastejo (SP), com três repetições cada, em delineamento experimental de blocos ao acaso. As diferentes intensidades de pastejo (contínuo) foram obtidas com a variação do número de animais por área: retirando-se animais das parcelas quando a altura real era menor que a pretendida, e vice-versa. Os animais utilizados foram bovinos jovens (peso vivo de 190 kg e 10 meses de idade, em média), oriundos de cruzamento entre as raças Angus, Hereford e Nelore. Em

intervalos quinzenais realizou-se, de maneira aleatória em 100 pontos por parcela, a medida da altura do pasto (altura média).

De acordo com os resultados de análise de solo, foram realizadas as adubações ao longo do tempo, constando da aplicação de N e P na pastagem e de P e K para uma produtividade de soja de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ (CQFSRS/SC, 2004). Em novembro de 2001, antes do primeiro cultivo da soja, realizou-se uma calagem superficial em toda a área experimental, na dose equivalente a $4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário (PRNT de 62%), para atingir pH 5,5 na camada de 0–10 cm (CQFSRS/SC, 2004).

Avaliou-se um ciclo pastagem/soja (2007/08), considerando os seus principais componentes (Figura 1). Assim, em maio de 2007, semearam-se 100 kg ha^{-1} de aveia-preta (cultivar IAPAR-61) e 25 kg ha^{-1} de azevém, com espaçamento de 0,17 m. Utilizou-se somente adubação de cobertura, com aplicação de 45 kg ha^{-1} de N (ureia), considerando uma expectativa de produtividade maior que 2 Mg ha^{-1} em cultivo após leguminosa para solos com teor médio de matéria orgânica (CQFSRS/SC, 2004). Na primeira quinzena de julho, quando o pasto estava com $1,28 \text{ Mg ha}^{-1}$ de acúmulo de matéria seca, iniciou-se o ciclo de pastejo, que teve seu término em novembro, quando os animais foram retirados das parcelas e pesados. O número médio de animais por hectare foi de 3,22; 2,13; 1,60; e 1,07, para os tratamentos P-10, P-20, P-30 e P-40, respectivamente. Posteriormente à retirada dos animais da área experimental, implantou-se a soja (cultivar Iguacu), seguindo as recomendações técnicas para a cultura (Reunião... 2004). Para isso, foram semeadas 18 sementes m^{-1} linear em espaçamento de 0,45 m, sendo a cultura colhida em maio de 2008. A adubação da soja constou da aplicação de 300 kg ha^{-1} da fórmula 0–20–20, conforme (CQFSRS/SC, 2004), para uma produtividade de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, além da utilização de inoculante específico.

Em maio de 2007 e de 2008, após a colheita da soja e imediatamente anterior à implantação da pastagem, amostras de solo foram coletadas, na

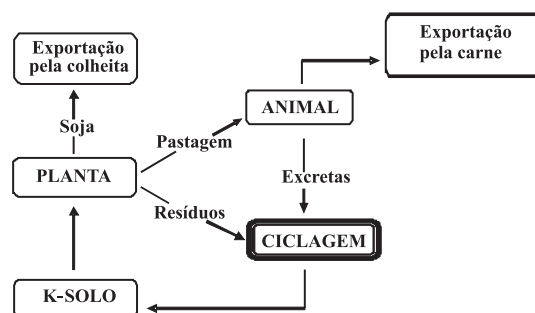


Figura 1. Representação de um ciclo pastagem/soja, com ênfase na ciclagem de K, com seus principais componentes nesse sistema de integração lavoura-pecuária.

camada de 0 a 20 cm, com uma pá de corte em oito pontos por parcela, formando uma amostra composta representativa de cada tratamento. Essas amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm, para determinação dos teores de K disponível (Mehlich-1) em fotômetro de chama (Tedesco et al., 1995). Os teores de K disponível, em mg dm^{-3} , foram transformados em kg ha^{-1} , pela multiplicação dos seus valores pelo volume de solo compreendido na camada de 0 a 20 cm de 1 ha ($2 \times 10^6 \text{ dm}^3$).

Amostras da parte aérea da pastagem foram coletadas em um quadrado de $0,25 \text{ m}^2$ em cinco pontos por parcela, em gaiolas, isoladas do pastejo e fora delas, em quatro ocasiões: julho, setembro, outubro e novembro. Nesta ocasião (novembro de 2007), amostras do mantilho (palhada remanescente) também foram coletadas. Com estas amostras (pastagem e mantilho), foi determinada a produção acumulada de matéria seca e, com base nos teores de K do tecido vegetal, obteve-se a quantidade de K ciclada pela pastagem. Também foram coletadas amostras de soja (em 10 locais de um metro linear em cada parcela) em maio de 2007 (safra 2006/07) e em maio de 2008 (safra 2007/08). Nessas amostras, foi determinado o rendimento de matéria seca da parte aérea e de grãos (umidade ajustada para 130 g kg^{-1}). Em todas as amostras de tecido vegetal, após secas em estufa a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ até peso constante e moídas, foi determinado o teor de K, por fotometria de chama (Tedesco et al., 1995).

Para obter as quantidades de K exportadas pelos animais, consideraram-se os valores de ganho de peso vivo (kg ha^{-1} de PV) deles, em cada tratamento, e um teor médio de K no tecido animal ($3,5 \text{ g kg}^{-1}$ de K), conforme Price & Schweigert (1994). Contudo, mesmo em pequena magnitude, ressalta-se que esse teor pode variar. Santos (2003) apresenta um valor médio de $1,8 \text{ g kg}^{-1}$ de K em bovinos, porém a escolha de um ou de outro valor para fins de estimativa tem pequena influência nas quantidades totais do nutriente exportado pelos animais, visto seus baixos valores. Pela diferença entre as quantidades de K acumuladas durante todo o ciclo da pastagem (produção acumulada) (Ferreira et al., 2009) e as quantidades encontradas no residual da pastagem (final do ciclo), obteve-se o total de K ingerido pelos animais. Assim, subtraindo as quantidades exportadas do nutriente no tecido dos animais do total ingerido por eles, obtiveram-se as quantidades excretadas pelos seus dejetos (fezes e urina) (Santos, 2003). Salienta-se, portanto, que a soma do K ingerido pelos animais (K excretado via dejetos + K exportado via tecido) com o K do residual da pastagem representa o total de K ciclado pela pastagem durante todo o seu ciclo.

Para o cálculo do balanço de K no sistema, avaliaram-se duas situações (Figura 2). A primeira, como sendo um “balanço na lavoura”, em que foram contabilizados como entrada o K advindo das adubações e, como saídas, o K exportado pelos animais e pelos grãos de soja (safra 2007/08). Na segunda, denominada

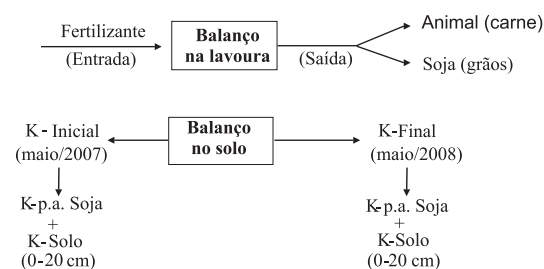


Figura 2. Balanço “na lavoura” e “no solo”, com seus componentes considerados neste estudo em sistema de integração lavoura-pecuária. p.a.: parte aérea da soja.

“balanço no solo”, considerou-se o K inicial, da camada de 0 a 20 cm, mais o K da parte aérea da soja (maio de 2007), bem como o K final na mesma camada de solo mais o K da parte aérea da soja (maio de 2008). Em ambas as avaliações, foi excluído o tratamento P-30, pois em maio de 2007 não houve amostragem de solo nesse tratamento.

Os resultados relativos à ciclagem de K e ao rendimento de matéria seca da pastagem foram submetidos à análise de variância (teste F) e teste de comparação de médias (Tukey 5%), utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2008), de acordo com o modelo:

$$Y_{ij} = \mu + B_i + A_j + \text{erro} (i,j)$$

em que Y_{ij} = valor observado da variável resposta Y; B = blocos ($i = 1, 2$ e 3); e A = intensidades de pastejo ($j = 1, 2, 3, 4$ e 5). Na análise de variância para produtividade de grãos de soja, utilizou-se o seguinte modelo estatístico:

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

em que C = safras ($k = 1,2$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ciclagem de potássio

As quantidades de K cicladas em uma sucessão pastagem/soja foram elevadas (Figura 3), sendo muito superiores às necessidades da maioria das culturas agrícolas (CQFSRS/SC, 2004; Ernani et al., 2007), pois, como salientado por Mielniczuk (2005), mais de 80% do K contido nos resíduos é liberado em menos de 30 dias. A ciclagem do K aumentou com a intensidade de pastejo, sendo a maior quantidade (274 kg ha^{-1}) verificada no pastejo mais intenso (P-10), enquanto no tratamento sem pastejo (SP) houve a ciclagem de 161 kg ha^{-1} ; foram determinantes nessas diferenças as quantidades de K que ciclaram pela pastagem, principalmente aquelas ingeridas pelos animais, que variaram de 166 kg ha^{-1} , no pastejo mais intenso (P-

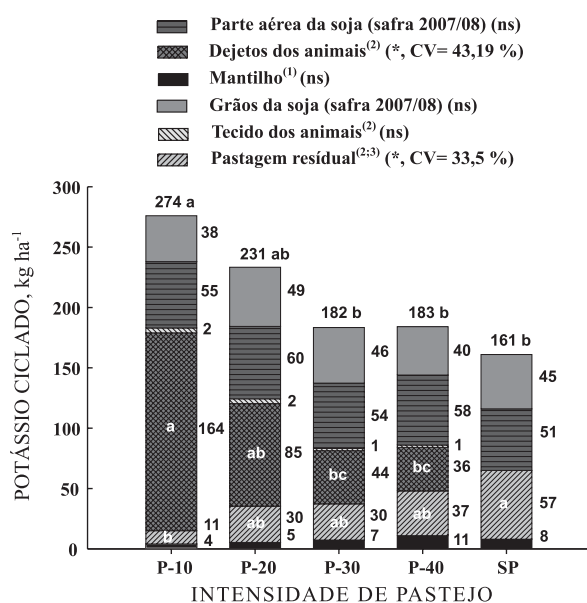


Figura 3. Potássio ciclado em compartimentos da pastagem, da soja e dos animais em um ciclo de sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo (10, 20, 30 e 40 cm de altura do pasto - P-10, P-20, P-30 e P-40, respectivamente) e sem pastejo (SP). ⁽¹⁾ Palhada remanescente da soja e da pastagem. ⁽²⁾ A soma desses três compartimentos representa o total de K ciclado pela pastagem acumulada durante todo o ciclo de pastejo (K ingerido pelos animais (K dos dejetos + K do tecido) + K da pastagem residual), que foram de 177, 117, 75, 74 e 57 kg ha⁻¹ para os tratamentos P-10, P-20, P-30 e P-40 cm e SP, respectivamente. ⁽³⁾ Parte aérea da pastagem no final do seu ciclo. *, n.s.: significativo a 5 % e não significativo pelo teste F ($p < 0,05$), respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra, em cada compartimento e no total, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

10), a 37 kg ha⁻¹ no pastejo mais leve (P-40). Esses valores estão em concordância com os dados de Santos (2003), que, estudando balanço nutricional em pastagens com bovinos de corte, estimou um consumo de K pelos animais – média entre sistemas com baixa e alta produtividade – na ordem de 130 kg ha⁻¹. As quantidades de K, excretadas nos dejetos animais, resultaram em valores médios de 82,3 kg ha⁻¹ (Figura 3), que são próximos aos encontrados por Rodrigues et al. (2008), os quais constataram um retorno médio de 87 kg ha⁻¹ desse nutriente em sete meses de pastejo. As excretas influenciam a disponibilidade de nutrientes no solo por um longo período de tempo (três meses a dois anos), sendo o seu suprimento dependente da proporção da área da pastagem influenciada pelas excretas, da taxa de liberação dos nutrientes das excreções e da recuperação dos nutrientes pelo pasto (Haynes & Willians, 1993). Já os valores estimados de K acumulado no tecido animal, apesar de baixos, com média de 1,5 kg ha⁻¹

(Figura 3), estão compatíveis com o apresentado por Santos (2003), que é de 1,0 kg ha⁻¹ de K.

Na ausência dos animais (SP), a quantidade ciclada (161 kg ha⁻¹) foi menor do que a encontrada por Rossato (2004) em um sistema aveia/milho também sem a presença de animais, que variou de 294 a 354 kg ha⁻¹ de K, em função da não aplicação ou da aplicação de N, respectivamente. Esperava-se, como observado no trabalho, que os tratamentos com maiores intensidades de pastejo (P-10 e P-20) fossem os que proporcionassem as maiores ciclagem de K, pois são os que tendem a apresentar maior produção acumulada de matéria seca da pastagem e maior concentração desse nutriente no tecido (Quadro 1) e, também, pelo maior número de animais por unidade de área (3,22 e 2,13 animais ha⁻¹, respectivamente), ciclando maior quantidade do nutriente (Figura 3). Por outro lado, na área onde o pastejo foi excluído o oposto aconteceu, por razões inversas, como também no caso do pastejo leve (P-40). Mesmo sendo grande a quantidade de K ciclada no tratamento SP e no pastejo leve, provavelmente os valores reais sejam mais elevados, devido ao fato de a última coleta da pastagem para a análise ter sido feita no final do seu ciclo. Isso porque, nesses tratamentos, o florescimento ocorreu antes dos demais tratamentos, levando a maiores perdas de K, pela lavagem do tecido da pastagem, como indicado pelos menores teores desse nutriente (Quadro 1). É no florescimento que ocorre o maior acúmulo de K; estando na forma livre nos tecidos e ao ser liberado ao ambiente, poderá resultar que parte desse nutriente seja perdida do solo por lixiviação (Schomberg & Steiner, 1999). Assim, com exceção do P-10, os demais tratamentos estão com teores de K abaixo da faixa considerada pela CQFSRS/SC (2004) como adequada para o azevém, que é de 20 a 25 g kg⁻¹. Entretanto, os teores de K (Quadro 1) e as quantidades cicladas em intensidades moderadas de pastejo (P-20 e P-30 – Figura 3) são compatíveis com os teores e as quantidades encontradas, respectivamente, por Nakagawa & Rosolem (2005) e por Giacomini et al. (2003) para aveia-preta. Para o mantilho (Figura 3), o acúmulo de K foi baixo (4 a 11 kg ha⁻¹), em razão da sua baixa quantidade de matéria seca e dos seus baixos teores de K (Quadro 1).

A cultura da soja (parte aérea + grãos) safra 2007/08 ciclou, na média dos tratamentos, 99 kg ha⁻¹ de K (Figura 3), quantidade inferior à ciclada na safra 2006/07, que foi de 146 kg ha⁻¹ (Ferreira, 2009). Essa diferença entre as safras pode ser atribuída a uma estiagem ocorrida na época do florescimento e enchimento de grãos (janeiro a abril) no ano de 2008 (Figura 4). Esses resultados são compatíveis com os 120 kg ha⁻¹ de K para essa cultura, como verificado por Foloni & Rosolem (2008). Entretanto, não houve diferenças entre os tratamentos na ciclagem de K pela soja (Figura 3), cujos valores variaram de 93 (P-10) a 109 kg ha⁻¹ (P-20), seja devido ao rendimento de matéria seca (Quadro 1) ou no de grãos da cultura (Figura 5), assim como os respectivos teores desse nutriente (Quadro 1). Isso significa que as diferentes

Quadro 1. Produção acumulada de matéria seca da parte aérea (MSPA) e do mantilho⁽¹⁾ (MSM) e teores de K na parte aérea (K PA) e no mantilho⁽¹⁾ (K M) da pastagem, produtividade de matéria seca da parte aérea (MSPA) e dos grãos (MSG) e teores de K na parte aérea (K PA) e nos grãos (K G) de soja, em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo (P-10, P-20, P-30 e P-40 cm)⁽²⁾ e sem pastejo (SP)

	Intensidade de pastejo					Média	DMS	CV (%)
	P-10	P-20	P-30	P-40	SP			
Pastagem 2007								
MSPA ^{ns} (Mg ha ⁻¹)	7,85	7,19	6,92	7,68	6,06	7,14	3,44	17,09
MSM ^{ns} (Mg ha ⁻¹)	1,87	2,07	2,26	2,39	2,90	2,30	1,22	18,84
K PA ^{**} (g kg ⁻¹)	22,33 a	15,33 ab	10,67 b	9,67 b	9,33 b	13,47	7,41	19,51
K M ^{ns} (g kg ⁻¹)	2,00	2,67	3,00	4,67	2,33	2,93	4,26	51,51
Soja 2007/08								
MSPA ^{ns} (Mg ha ⁻¹)	4,24	4,38	4,03	4,26	4,38	4,26	1,36	11,30
MSG ^{ns} (Mg ha ⁻¹)	2,14	2,41	2,25	2,21	2,13	2,23	0,96	15,19
K PA ^{ns} (g kg ⁻¹)	12,73	13,60	13,43	13,60	11,87	13,05	5,75	15,63
K G ^{ns} (g kg ⁻¹)	17,41	20,35	20,18	18,10	21,39	19,49	6,38	11,60

⁽¹⁾ Palhada remanescente da soja e da pastagem. ⁽²⁾ P-10, P-20, P-30 e P-40 são as intensidades de pastejo, representando, respectivamente, 10, 20, 30 e 40 cm de altura do pasto. **, ns: significativo a 1 % e não significativo pelo teste F ($p < 0,05$), respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

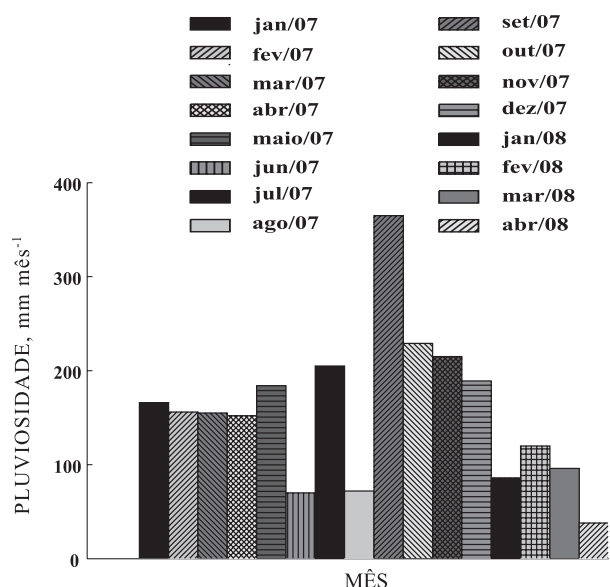


Figura 4. Pluviosidade ocorrida na Fazenda do Espinilho, no município de São Miguel das Missões – RS, nos meses de 2007 e parte de 2008. Dados obtidos com um pluviômetro de campo.

quantidades de K cicladas pela pastagem não influenciaram o crescimento da soja, provavelmente devido aos seus altos teores disponíveis no solo (na média, 150 mg dm⁻³), que são superiores ao teor crítico de 90 mg dm⁻³, para esse solo (CQFSRS/SC, 2004). No entanto, deve-se enfatizar a contribuição do K liberado pelos resíduos vegetais, o qual, de acordo com Santos et al. (2008a), possui uma liberação de 80 % para gramíneas e 90 % para leguminosas, tendo assim importante papel na ciclagem desse nutriente no sistema.

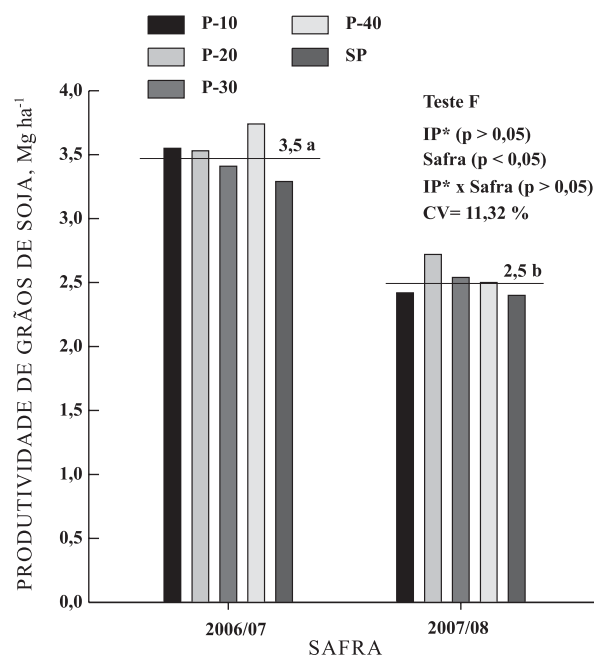


Figura 5. Produtividade de grãos de soja (safras 2006/07 e 2007/08) em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo (10, 20, 30 e 40 cm de altura do pasto - P-10, P-20, P-30 e P-40, respectivamente) e sem pastejo (SP). *Intensidade de pastejo. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Balço de potássio

A entrada de K, via fertilizante, para a soja foi igual em todos os tratamentos (49,8 kg ha⁻¹), e as exportações desse nutriente pelos animais foram em quantidades pequenas, atingindo valor máximo de 1,5 kg ha⁻¹ (Quadro 2). Assim, o balanço desse

nutriente “na lavoura” (entradas menos saídas de K) foi equilibrado dentro de cada tratamento e dependente da quantidade de K exportada pelos grãos de soja. Os valores foram mais positivos e semelhantes, +11,0 e +8,7 kg ha⁻¹ (Quadro 2), respectivamente na maior (P-10) e na menor (P-40) intensidade de pastejo, em que o rendimento de matéria seca dos grãos de soja tendeu ($p > 0,05$) a ser menor entre as áreas pastejadas (Quadro 1), com menor exportação de K (37,3 e 40,0 kg ha⁻¹, respectivamente). Já no pastejo a 20 cm (P-20), em que houve tendência ($p > 0,05$) de maior produtividade de matéria seca de grãos de soja (Quadro 1), com consequente maior exportação de K, o balanço desse nutriente na “lavoura” foi de -0,7 kg ha⁻¹ (Quadro 2). Dessa forma, verifica-se que o saldo desse tipo de balanço foi determinado pelas exportações de K via colheita de grãos da soja. Santos et al. (2008b) também obtiveram balanço positivo de K, durante oito anos, num Latossolo Vermelho distrófico do Cerrado em semeadura direta com soja-milho no verão e milho no inverno, sem pastejo, sendo o rendimento de grãos das culturas responsável pela variação entre os tratamentos. Santos et al. (2008a), ao estudarem o balanço nutricional como base de recomendação de fertilizantes e corretivos para soja, também consideraram a variação da produtividade da cultura como um dos componentes-chave na avaliação.

No segundo tipo de balanço, denominado “no solo” (Quadro 2), verificou-se saldo negativo nas áreas pastejadas e positivo na área sem pastejo. O maior balanço negativo (-104 kg ha⁻¹) ocorreu na área de maior intensidade de pastejo (P-10). Nesse tratamento foi verificada a menor quantidade de K do solo, tanto em maio de 2007 (240 kg ha⁻¹) como em maio de 2008 (141 kg ha⁻¹), resultando em menores quantidades totais de K no início (300 kg ha⁻¹) e no final (196 kg ha⁻¹) do período de avaliação. Nos outros dois tratamentos com pastejo (P-20 e P-40), o saldo de K foi negativo e semelhante (-82 e -80 kg ha⁻¹, respectivamente). Como o balanço “na lavoura” foi equilibrado entre todos os tratamentos, perdas desse nutriente no solo devem ter ocorrido por interferência dos animais. No caso de maior saldo negativo (P-10), maiores perdas de K, por erosão, escoamento superficial ou lixiviação, devem ter ocorrido em razão da maior ciclagem desse nutriente (Figura 3), resultante da presença de maior número de animais (3,22 animais ha⁻¹), aliada à grande pluviosidade ocorrida no local no período de pastejo (217 mm mês⁻¹ - Figura 4). Santos (2003) comenta que o balanço nutricional geralmente é negativo, pois as perdas, incluindo a exportação por meio dos produtos animais, superam o fornecimento de nutrientes ao sistema. Haynes & Williams (1993) afirmam que, do total do K retornado pelos animais (até 90 % do ingerido) para o solo, a maioria (70–90 %) é excretada na urina, na forma iônica, solúvel em água e prontamente disponível para absorção pelas plantas. A micção animal incrementa as concentrações de K na pastagem (Sakadevan et al., 1993), podendo estar em excesso em relação à demanda das plantas (Early

Quadro 2. Balanço de K, na lavoura e no solo, em sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta submetido a intensidades de pastejo (P-10, P-20 e P-40 cm)⁽¹⁾ e sem pastejo (SP) (ano agrícola 2007/08)

	Intensidade de pastejo			
	P-10	P-20	P-40	SP
Balanço na lavoura	K, kg ha ⁻¹			
Entrada				
Fertilizante da soja ⁽²⁾	49,8	49,8	49,8	49,8
Saída				
Animal ⁽³⁾	1,5	1,5	1,1	-
Grãos de soja - 2007/08	37,3	49,0	40,0	45,6
Saldo⁽⁴⁾	+11,0	-0,7	+8,7	+4,2
Balanço no solo	K, kg ha ⁻¹			
Maio/07				
K solo ⁽⁵⁾	240	296	291	251
K parte aérea soja	60	83	78	85
Total (1) ⁽⁶⁾	300	379	369	336
Maio/08				
K solo ⁽⁵⁾	141	237	231	316
K parte aérea soja	55	60	58	51
Total (2) ⁽⁷⁾	196	297	289	367
Saldo⁽⁸⁾	-104	-82	-80	+31

⁽¹⁾ P-10, P-20 e P-40 são as intensidades de pastejo, representando, respectivamente, 10, 20 e 40 cm de altura do pasto. ⁽²⁾ 300 kg ha⁻¹ da fórmula 0-20-20 na safra 2007/08. ⁽³⁾ Considerando 3,5 g kg⁻¹ de K no peso vivo. ⁽⁴⁾ Entrada - Saída. ⁽⁵⁾ Na camada de 0 a 20 cm de profundidade. ⁽⁶⁾ K inicial (K solo + K parte aérea soja). ⁽⁷⁾ K final (K solo + K parte aérea soja). ⁽⁸⁾ Total (2) - Total (1).

et al., 1998); assim, os excedentes de K são provavelmente perdidos no ambiente (Jarvis, 2000).

A recuperação do K pelas plantas varia grandemente conforme a distribuição heterogênea de excretas e, potencialmente, ampla variação em perdas desse nutriente devido à lixiviação (White et al., 2001). As retiradas diretas de K no sistema, pelos produtos animais, são muito mais baixas (0,12 a 0,18 kg/100 kg de produto animal) do que as perdas indiretas associadas com a deposição de urina e de placas de esterco de forma altamente heterogênea (Williams et al., 1990). Em pastagens com presença de animais na região da Amazônia, as perdas de K foram de 30 até 95 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Castilla et al., 1995).

Na ausência de pastejo (SP), o saldo positivo no “balanço no solo” foi compatível com o saldo positivo verificado no “balanço na lavoura”; no entanto, a sua pequena magnitude (+4,2 kg ha⁻¹) não é suficiente para explicar o maior saldo positivo (+31 kg ha⁻¹) verificado “no solo”, podendo estar ocorrendo entrada de K de áreas adjacentes. Variações amplas, de negativas a positivas, têm sido observadas na literatura: -1087 kg ha⁻¹ em 18 anos (Andrist-Rangel et al., 2007) e desde -47 kg ha⁻¹ a +101 kg ha⁻¹ em um ciclo anual de avaliação (Garcia et al., 2008), estando o saldo do balanço na dependência do sistema de produção e de manejo adotados, além do próprio tipo de balanço considerado.

Produtividade de soja

Não foram encontradas diferenças ($p > 0,05$) com a presença ou não do animal ou entre as intensidades de pastejo utilizadas, na produtividade da soja nas duas safras avaliadas (Figura 5), como também ocorrido em safras anteriores (Flores et al., 2007; Lopes et al., 2009). Esses resultados, bem como outros, obtidos com a mesma cultura (Consalter, 1998) ou com milho (Assmann et al., 2003), indicam que a produtividade dessas culturas não é alterada pela presença do animal no ciclo precedente, abrindo a possibilidade de utilização de imensas áreas (2 milhões de hectares no RS) que, no período de inverno, são utilizadas unicamente com plantas de cobertura. Com isso, a produção animal nesse período constitui-se, essencialmente, em uma colheita a mais que se realiza na mesma área, aumentando a eficiência do uso da terra.

No entanto, ao comparar as produtividades entre as duas safras (Figura 5), observam-se diferenças, sendo maior na safra 2006/07 em $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, na média, que na safra 2007/08. Acredita-se que as diferenças em produtividade da cultura nas diferentes safras não estejam relacionadas a diferenças no saldo (positivo ou negativo) de K no solo (Quadro 2), uma vez que os seus teores mantiveram-se altos (média de 150 mg dm^{-3} na camada de 0 a 20 cm) e acima do nível crítico (CQFSRS/SC, 2004). Assim, essa redução de produtividade na safra 2007/08 provavelmente ocorreu devido a um déficit hídrico verificado no período de florescimento e enchimento de grãos (janeiro a abril), resultante da baixa pluviosidade (85 mm mês^{-1} -Figura 4).

CONCLUSÕES

1. A ciclagem de K aumenta com o aumento da intensidade de pastejo, sendo determinada pela quantidade de matéria seca da pastagem, principalmente aquela ingerida pelos animais, e não pelo mantilho ou pela soja.

2. O balanço de K nesse sistema integração lavoura-pecuária é negativo com o maior déficit verificado nas áreas de maior intensidade de pastejo.

3. Maior ciclagem e balanço negativo de K nas áreas com pastejo não influenciam a produtividade da soja, em solo cujos teores disponíveis desse nutriente mantêm-se altos.

LITERATURA CITADA

- ANDRIST-RANGEL, Y.; EDWARDS, A.C.; HILLIER, S. & OBORN, I. Long-term K dynamics in organic and conventional mixed cropping systems as related to management and soil properties. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 122:413-426, 2007.
- ASSMANN, T.S.; RONZELLI JÚNIOR, P.; MORAES, A.; ASSMANN, A.L.; KOEHLER, H.S. & SANDINI, I. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:675-683, 2003.
- CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E.D.; SULC, R.M.; LANG, C.R.; FLORES, J.P.C.; LOPES, M.L.T.; SILVA, J.L.S.; CONTE, O.; WESP, C.L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R.S. & BAYER, C. Managing grazing systems: Reaching nutrient cycling and soil improvement with pasture management. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 88: 259-273, 2010.
- CASTILLA, C.E. AYARZA, M.A. & SANCHEZ, P.A. Carbon and potassium dynamics in grass/ legume grazing systems in the Amazon. In: POWELL, J.M., ed. *Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa*. Addis Ababa (Ethiopia). Ethiopia, ILCA, 1995. p.191-210.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, SBRS/NRS, 2004. 400p.
- CONSALTER, M.A.S. Sistema integrado lavoura-pecuária e compactação em Latossolo Bruno. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1998. 105p. (Tese de Mestrado)
- EARLY, M.S.B.; CAMERON, K.C. & FRASER, P.M. The fate of potassium, calcium, and magnesium in simulated urine patches on irrigated dairy pasture soil. *N. Z. J. Agric. Res.*, 41:117-124, 1998.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A. & SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.551-594.
- FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *R. Symp.*, 6:36-41, 2008.
- FERREIRA, E.V.O. Dinâmica de potássio em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto sob intensidades de pastejo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. 73p. (Tese de Mestrado)
- FERREIRA, E.V.O.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F., COSTA, S.E.V.G.A. & CAO, E.G. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1675-1684, 2009.
- FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F.; LEITE, J.G.D.B. & FRAGA, T.E. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:771-780, 2007.

- FOLONI, J.S.S. & ROSOLEM, C.A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1549-1561, 2008.
- GARCIA, R.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; CALONEGO, J.C. & ROSOLEM, C.A. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. *Europ. J. Agron.*, 28:579-585, 2008.
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S. & FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:325-334, 2003.
- GUSTAFSON, G.M.; SALOMON, E. & JONSSON, S. Barn balance calculations of Ca, Cu, K, Mg, Mn, N, P, S and Zn in a conventional and organic dairy farm in Sweden. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 119:160-170, 2006.
- HAYNES, R.J. & WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and fertility in the grazed pasture ecosystem. *Adv Agron.*, 49:119-199, 1993.
- JARVIS, S.C. Progress in studies of nitrate leaching from grassland soils. *Soil Use Manag.*, 16:152-156, 2000.
- LOPES, M.L.T.; CARVALHO, P.C.F.; ANHINONI, I.; SANTOS, D.T.; AGUINAGA, A.Q. & FLORES, J.P.C. Sistema de integração lavoura-pecuária: Efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. *Ci. Rural*, 39:1499-1506, 2009.
- MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p.165-178.
- NAKAGAWA, J. & ROSOLEM, C.R. Teores de nutrientes na folha e nos grãos de aveia-preta em função da adubação com fósforo e potássio. *Bragantia*, 64:441-445, 2005.
- NASCIMENTO JR., D. & CAVALCANTE, M.A.B. Reciclagem de excreções animais na pastagem. 2001. Disponível em: <<http://www.forragicultura.com.br/vermat.asp?codmat=39>>. Acesso em 20 dez. 2008.
- OENEMA, O.; KROS, H. & DE VRIES, W. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: Implications for nutrient management and environmental policies. *Europ. J. Agron.*, 20:3-16, 2003.
- PRICE, J.F. & SCHWEIGERT, B.S. Ciência de la carne y de los productos cárnicos. Zaragoza, Acribia, 1994. 581p.
- REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL. Indicações técnicas para cultura de soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2004. 172p.
- RODRIGUES, A.M.; CECATO, U.; FUKUMOTO, N.M.; GALBEIRO, S.; SANTOS, G.T. & BARBERO, L.M. Concentrações e quantidades de macronutrientes na excreção de animais em pastagem de capim-mombaça fertilizada com fontes de fósforo. *R. Bras. Zootec.*, 37:990-997, 2008.
- ROSSATO, R.R. Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo em plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 106p. (Tese de Mestrado)
- ROTZ, C.A.; TAUBE, F.; RUSSELLE, M.P.; OENEMA, J.; SANDERSON, M.A. & WACHENDORF, M. Whole-farm perspectives of nutrient flows in grassland agriculture. *Crop Sci.*, 45:2139-2159, 2005.
- SAKADEVAN, K.; MACKAY, A.D. & HEDLEY, M.J. Influence of sheep excreta on pasture uptake and leaching losses of sulfur, nitrogen and potassium from grazed pastures. *Austr. J. Soil Res.*, 31:151-162, 1993.
- SANTI, A.; AMADO, T.J.C. & ACOSTA, J.A.A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I - Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1075-1083, 2003.
- SANTOS, D.B.M.; DE SOUSA, D.M.G. & GOEDERT, W.J. Balanço do potássio em solo do cerrado no sistema plantio direto. Disponível em: <<http://www.epac.embrapa.br/download/499/t>>. Acesso em 10 dez. 2008b.
- SANTOS, F.C.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SEDIYAMA, C.S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1661-1674, 2008a.
- SANTOS, H.Q. Sistema para cálculo do balanço de nutrientes e recomendação de calagem e adubação de pastagens para bovinos de corte. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 142p. (Tese de Doutorado)
- SCHOMBERG, H.H. & STEINER, J.L. Nutrient dynamics of crop residues decomposing on a fallow no-till soil surface. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:607-613, 1999.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & WOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- WHITE, S.L.; SHEFFIELD, R.E.; WASHBURN, S.P.; KING, L.D. & GREEN JR., J.T. Spatial and time distribution of dairy cattle excreta in an intensive pasture systems. *J. Environ. Qual.*, 30:2180-2187, 2001.
- WHITEHEAD, D.C. Nutrient elements in grassland: Soil-plant-animal relationships. Wallingford, CAB International, 2000. 369p.
- WILLIAMS, P.H.; GREGG, P.E.H. & HEDLEY, M.J. Use of potassium bromide solutions to stimulate dairy cow urine flow and retention in pasture soils. *N.Z.J. Agric. Res.*, 33:489-495, 1990.