

CONCENTRAÇÃO DO POTÁSSIO DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO SUBMETIDO A INTENSIDADES DE PASTEJO⁽¹⁾

Eric Victor de Oliveira Ferreira⁽²⁾, Ibanor Anghinoni⁽³⁾, Paulo César de Faccio Carvalho⁽⁴⁾, Sergio Ely Valadão Gigante de Andrade Costa⁽⁵⁾ & Eduardo Giacomelli Cao⁽⁶⁾

RESUMO

A dinâmica de K em sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) diverge daquelas de outros sistemas de manejo, porque os sistemas ILP são mais complexos e envolvem, além das práticas relacionadas à cultura de interesse econômico, a introdução do animal. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar as concentrações do K do solo em um sistema ILP, em plantio direto, com diferentes intensidades de pastejo (aveia-preta + azevém) de bovinos no inverno e a cultura da soja cultivada no verão. O experimento foi iniciado em maio de 2001 em área pertencente à Fazenda do Espinilho, localizada no município de São Miguel das Missões – RS, em Latossolo Vermelho distroférico que vinha sendo cultivado em plantio direto desde 1991. Os tratamentos constaram de intensidades de pastejo: 10, 20, 30 e 40 cm de altura do pasto e um tratamento sem pastejo, distribuídos num delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. Os teores de K disponível eram originalmente altos e assim se mantiveram ao longo do tempo, independentemente do tratamento de pastejo. Em todas as situações houve a formação de um gradiente decrescente de concentração de K a partir da superfície,

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao PPG-Ciência do Solo – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq e da Agrisus. Recebido para publicação em março de 2009 e aprovado em agosto de 2009.

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

⁽³⁾ Professor de Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, CEP 91540-000 Porto Alegre (RS). Bolsista CNPq. E-mail: ibanghi@ufrgs.br

⁽⁴⁾ Professor de Zootecnia, UFRGS. Bolsista CNPq. E-mail: paulocfc@ufrgs.br

⁽⁵⁾ Engenheiro-Agrônomo, Mestre em Ciência do Solo, UFRGS. E-mail: sergioelycosta@hotmail.com

⁽⁶⁾ Aluno de Graduação da Faculdade de Agronomia, UFRGS. Bolsista de Iniciação Científica. E-mail: duda_cao@hotmail.com

sendo maior após pastagem que após soja. A ausência do pastejo, apesar de propiciar menor ciclagem de K, resultou em maiores teores do nutriente no solo, em relação às áreas com animais, especialmente aquelas intensamente pastejadas, devido às perdas causadas, provavelmente, pelas excretas.

Termos de indexação: distribuição de potássio, aveia-preta + azevém, soja.

SUMMARY: *SOIL POTASSIUM CONTENT IN AN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM UNDER NO-TILLAGE WITH DIFFERENT GRAZING INTENSITIES*

Potassium (K) dynamics in integrated crop-livestock (ICL) systems diverge from other tillage systems, because ICL systems are more complex and involve, apart from the cash crop management, the presence of animals. The objective of this study was to evaluate the soil K concentration in an ICL system under no-tillage with different grazing (black oat and Italian ryegrass) intensities in the winter growing season and soybean cultivated in the summer. The experiment was initiated in May 2001 on the Espinilho - Farm, in São Miguel das Missões, state of Rio Grosso do Sul, Brazil, on a Rhodic Hapludox (Oxisol), under no-tillage since 1991. The treatments consisted of different grazing intensities: 10, 20, 30 and 40 cm of pasture height, and a control (no grazing), in a randomized block design, with three replications. Available K contents were originally high and remained high during the experiment, independent of the grazing intensity. Potassium was stratified in a decreasing gradient from the soil surface in all situations, and was higher after pasture than after soybean. In the control area, in spite of lower K cycling, higher soil K values were found than in the grazed areas, mainly the intensively grazed, due to losses, probably caused by animal manure.

Index terms: potassium in soil profile, black oat + Italian ryegrass, soybean.

INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul possui cinco milhões e meio de hectares cultivados no verão com culturas produtoras de grãos. Desses, cerca de dois milhões são utilizados com culturas de cobertura no inverno, destacando-se as misturas de aveia-preta + ervilhaca e aveia-preta + azevém (CONAB, 2008), sendo estas potencialmente pastejáveis durante boa parte do seu ciclo. Assim, pode-se incorporar à propriedade, além da produção de grãos no verão, a produção animal no inverno, proporcionando aos produtores uma fonte alternativa de renda no período da entressafra. A dinâmica do K em sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) diverge daquela de outros sistemas de manejo, porque são mais complexos e envolvem, além das práticas relacionadas à cultura de grãos, a introdução dos animais. A dinâmica de nutrientes no solo é influenciada pelo manejo (Doran, 2002), pois práticas impróprias resultam em exaustão desse nutriente no solo. Dessa forma, informações sobre dinâmica de nutrientes do solo em longo prazo, em relação a opções de manejo, são importantes para avaliar a sustentabilidade das práticas adotadas (Wang & Gong, 1998). Por isso, pesquisas são necessárias para melhor compreensão da dinâmica

de nutrientes em sistemas de rotação e sucessão de culturas em plantio direto.

O manejo de nutrientes é mais complexo sob pastejo, por causa da distribuição heterogênea dos excrementos animais nas pastagens e dos efeitos do pisoteio, que contribuem para aumentar a compactação do solo no local e as perdas de nutrientes (Haynes & Williams, 1993). No entanto, Souto (2006) concluiu que a presença dos animais em sistema de ILP resultou em aumento nos teores de K do solo. Os animais influenciam a redistribuição de nutrientes pelo consumo, via desfolhação da pastagem, e pelo seu retorno para o solo, via excreção (Nascimento Jr. & Cavalcante, 2001). A retenção de nutrientes consumidos em produtos de animais ruminantes é variável, de 5 a 30 % do total ingerido, dependendo do tipo de produto (carne, leite, lã, etc.). Assim, o retorno de nutriente para a pastagem via excreta animal é o maior componente do seu ciclo (Rotz et al., 2005). 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, segundo Haynes & Williams (1993). De acordo com esses autores, o retorno de K por meio das fezes de animais pastejando áreas com produtividade de

matéria seca de 15 Mg ha⁻¹ é de 45 kg ha⁻¹. Os efeitos acumulativos das excreções nas propriedades dos solos sob pastagens não são bem descritos ainda, provavelmente pela dificuldade de separar esses efeitos de outras propriedades do sistema solo-planta-animal (Carran & Theobald, 2000).

O efeito das pastagens está também em ciclar os nutrientes do sistema e, ou, trazê-los das camadas mais profundas para as mais superficiais do solo, promovendo maior disponibilidade à cultura sucessora. Além disso, sua alta produção de matéria seca faz com que haja alta demanda de nutrientes, especialmente de K. As perdas do nutriente por erosão podem ocorrer no sedimento carregado do solo e pela água de escoamento, que também pode conter o elemento na forma iônica. Em sistemas como o plantio direto a perda de solo é pequena, mas podem ocorrer perdas significativas do nutriente por escoamento superficial, em razão da sua presença nos resíduos de culturas e na camada superficial do solo. Isso porque o K ocorre livre nos tecidos vegetais, podendo ser facilmente removido pela água após a senescência (Mielniczuk, 2005).

Como hipótese do trabalho, espera-se que o não revolvimento do solo e a adição de resíduos (vegetais e animais) proporcionem maior concentração de K na camada superficial do solo, que os teores do nutriente sejam mais altos na época do pastejo, em relação ao cultivo da soja, e que nas maiores intensidades de pastejo ocorram perdas de K. Assim, objetivou-se neste trabalho avaliar a variação nas concentrações do K do solo no sistema LLP submetido a intensidades de pastejo bovino no inverno com cultivo subsequente da soja no verão.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi iniciado em maio de 2001 em área pertencente à Fazenda do Espinilho, localizada no município de São Miguel das Missões – RS, região fisiográfica das Missões, com latitude de 29° 03' 10" S, longitude de 53° 50' 44" W e altitude de 465 m. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico típico (Embrapa, 2006), da unidade de mapeamento Santo Ângelo, profundo, bem drenado e textura argilosa (0,54 kg kg⁻¹ de argila, 0,27 kg kg⁻¹ de silte e 0,19 kg kg⁻¹ de areia), sendo cultivado no sistema plantio direto desde 1991. Possui como substrato rochas basálticas; o clima é subtropical úmido, com temperatura média de 19°C e precipitação pluvial média anual de 1.850 mm (Brasil, 1973).

Os tratamentos constaram de diferentes intensidades de pastejo: altura de pasto a 10 cm (P-10), a 20 cm (P-20), a 30 cm (P-30) e a 40 cm (P-40) e uma testemunha sem pastejo (SP), distribuídos num delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. As intensidades de pastejo foram

obtidas variando-se a carga animal: retirando-se animais das parcelas quando a altura real era menor que a pretendida ou colocando-se animais quando a altura real era maior que a pretendida. Foram utilizados bovinos jovens com idade inicial em torno de dez meses, machos e castrados, oriundos de cruzamentos entre as raças Angus, Hereford e Nelore, sem grau de sangue definido e com peso vivo médio inicial de 190 kg. O controle da altura do pasto foi feito em intervalos de 15 dias, com leitura realizada em 100 pontos dentro de cada parcela, em caminhamento aleatório, para obter a altura média do pasto. As leituras foram obtidas com a utilização de um bastão graduado (*Sward Stick*), cujo marcador corre por uma régua até tocar a primeira lâmina foliar, procedendo-se então à leitura da altura do pasto (Barthram, 1981). O método de pastejo adotado foi o contínuo com lotação variável, composta por animais-teste e animais reguladores por parcela, pela técnica *put-and-take* (Mott & Lucas, 1952). Os animais iniciaram o ciclo de pastejo na primeira quinzena de julho, que se estendeu até a primeira quinzena de novembro.

Antes da implantação do primeiro ciclo da cultura da soja, em novembro de 2001, foi feita uma aplicação superficial de calcário em toda a área, na dosagem equivalente a 4,5 Mg ha⁻¹ (PRNT de 62 %), recomendada para elevar o pH até 5,5 na camada de 0–10 cm (CQFS-RS/SC, 2004), considerando o sistema plantio direto consolidado. As adubações, ao longo do tempo, constaram basicamente da aplicação de P e N na pastagem e de P e K para uma produtividade de soja de 4,0 Mg ha⁻¹ (CQFS-RS/SC, 2004), considerando-se os valores de análise do solo (Quadro 1).

Para o ano do presente trabalho (2007/08), a adubação foi de 300 kg ha⁻¹ da fórmula 0-20-20 na implantação (novembro) da cultura da soja (cultivar Iguçu), mais a utilização de inoculante junto às sementes. Uma semana depois de colhida a soja (maio/2007), foi implantada a pastagem de inverno, semeando-se 100 kg ha⁻¹ de aveia-preta (cultivar IAPAR-61) e 25 kg ha⁻¹ de azevém (comum), em espaçamento de 17 cm. A adubação foi somente de cobertura, com 45 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia. O início do pastejo ocorreu no dia 14/07/2007, momento em que a pastagem apresentava acúmulo de matéria seca de 1,28 Mg ha⁻¹, e se estendeu até 9/11/2007, totalizando 118 dias, quando os animais foram retirados e pesados. O número médio de animais-teste por hectare foi de 3,22, 2,13, 1,60 e 1,07 para as parcelas P-10, P-20, P-30 e P-40, respectivamente. A cultura da soja foi novamente implantada, na segunda quinzena do mês de novembro de 2007, sendo utilizada a cultivar Iguçu, de ciclo precoce e crescimento indeterminado, que foi colhida na primeira quinzena do mês de maio de 2008. O espaçamento utilizado na cultura foi de 0,45 m, com 18 sementes por metro linear. A condução e os tratamentos culturais da soja seguiram as recomendações técnicas (Reunião... 2004).

Quadro 1. Atributos químicos do Latossolo Vermelho distroférico em diferentes camadas, antes da implantação do experimento (novembro de 2000)

| Camada | pH _{H₂O} | CO ⁽¹⁾ | CTC _{pH 7,0} | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H + Al | P ⁽²⁾ | K ⁽²⁾ |
|--------|------------------------------|--------------------|-----------------------|------------------|------------------------------------|------------------|--------|------------------|---------------------|
| cm | | g kg ⁻¹ | | | cmol _c dm ⁻³ | | | | mg dm ⁻³ |
| 0–5 | 4,9 | 42,2 | 16,8 | 6,2 | 1,3 | 0,3 | 8,7 | 13,4 | 240 |
| 5–10 | 4,6 | 34,8 | 16,6 | 4,8 | 1,8 | 0,6 | 9,7 | 9,8 | 119 |
| 10–15 | 4,6 | 25,5 | 16,2 | 4,1 | 2,1 | 0,7 | 9,7 | 5,2 | 88 |
| 15–20 | 4,6 | 25,5 | 16,3 | 4,0 | 1,1 | 1,0 | 10,1 | 3,7 | 55 |

⁽¹⁾ Carbono orgânico; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺; extração com KCl 1 mol L⁻¹. ⁽²⁾ Método Mehlich-1. Fonte: Cassol (2003).

Amostras de solo, nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, foram coletadas em maio de 2007, na colheita da soja, para determinações químicas. Após a retirada dos animais da pastagem (novembro/2007), foi feita outra coleta de solo, agora nas camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm de profundidade. Em maio de 2008, na colheita da soja, novamente foram feitas coletas de amostras de solo nas mesmas profundidades da coleta de novembro de 2007, para realização das análises químicas.

A amostragem de solo foi feita em oito pontos por parcela, utilizando-se pá de corte até a profundidade de 20 cm, no sentido transversal às linhas de plantio, e trado holandês para coleta de 20 a 40 cm de profundidade (um furo no mesmo local de coleta com a pá de corte). Após a coleta, as amostras foram transportadas em sacos plásticos até o Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da UFRGS, secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm. Foram avaliados, nas amostras, os teores de K, Ca e Mg trocáveis, o índice SMP e o teor de C orgânico do solo. O K foi extraído com a solução de duplo ácido (Mehlich-1) e determinado no fotômetro de chama; o Ca e Mg foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectrometria de absorção atômica. Com os valores de índice SMP, foram estimados os valores de H + Al pela equação ($\log(H + Al) = 3,020 - 0,371 \text{ SMP}$), proposta por Kaminski et al. (2002). Com os resultados dos teores de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e H + Al, obteve-se a capacidade de troca de cátions do solo (CTC_{pH 7,0}). O C orgânico do solo foi determinado pelo método Walkley-Black (com calor externo), por titulação com FeSO₄ 0,25 mol_c L⁻¹, descrito por Allison (1965). Todas as determinações foram efetuadas conforme método descrito em Tedesco et al. (1995). Para avaliação do K disponível do solo no tempo, utilizaram-se os teores até a profundidade de 20 cm e não foi incluído o tratamento de 30 cm (P-30), por não ter sido amostrado em maio de 2007.

Foram coletadas amostras de material vegetal da pastagem (aveia-preta + azevém), residual, e do mantillo (palhada remanescente da soja e da pastagem), em novembro de 2007, para determinação dos respectivos rendimentos de matéria seca,

utilizando um quadrado de área conhecida (0,25 m²) em cinco pontos por parcela. Nessas amostras, após serem lavadas, secas em estufa a 60 °C até peso constante e moídas, foram determinados os teores de K por fotometria de chama, após digestão do tecido vegetal com H₂O₂ e H₂SO₄. As análises de tecido vegetal foram feitas conforme método descrito em Tedesco et al. (1995). Foi realizado o cálculo da produção acumulada de matéria seca da parte aérea da pastagem, utilizando-se as amostras coletadas em gaiolas, isoladas do pastejo, e fora destas, em quatro épocas (julho, setembro, outubro e novembro) no período de pastejo.

Os resultados, quando pertinentes, foram submetidos à análise de variância (teste F) e ao teste de comparação de médias (Tukey 5 %), utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000). Quanto às variáveis de solo (K e C orgânico), avaliaram-se os efeitos simples e a interação entre os tratamentos (intensidades de pastejo) e as profundidades, em cada época. Para a análise da variância, utilizou-se o seguinte modelo estatístico:

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

em que B = blocos (i = 1, 2 e 3); A = intensidades de pastejo (j = 1, 2, 3 e 4, 5); e P = profundidade amostrada (k = 1, 2 e 3). Na análise de variância entre as épocas de amostragem, utilizou-se o mesmo modelo estatístico, alterando-se o fator "A" para épocas de amostragem (j = 1, 2 e 3), uma vez que essa análise foi feita comparando as médias dentro de cada intensidade de pastejo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variação do teor de K no solo com o tempo

Os teores de K disponível no solo foram originalmente altos (Quadro 1), conforme CQFS-RS/SC (2004), e assim se mantiveram ao longo do tempo (Figura 1). Apesar de não serem observadas diferenças (p > 0,05),

constatou-se que, enquanto no tratamento sem pastejo (SP) houve aumento na média, nos demais, os valores dos teores médios de K disponível no solo foram menores com o tempo (Figura 1). A redução na média dos teores de K nas áreas pastejadas foi mais acentuada (79 mg dm⁻³ de K) no tratamento de maior intensidade de pastejo (P-10). Esse fato deveu-se, possivelmente, ao manejo mais agressivo do sistema no tratamento (P-10), o que pode ter causado perdas do elemento. Redução nos teores de K extraível do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária com pastejo no inverno, em relação a sistemas que mantinham apenas culturas de grãos, foi observada por Fontanelli et al. (2000). Esses autores atribuíram o fato à absorção e à exportação de nutrientes pela forragem consumida pelos animais durante os pastejos realizados no inverno. Entretanto, a exportação de K, via carcaça dos animais, é pequena e, como salientado por Wilkinson & Lowrey (1973), uma alta fração (90 %) de K ingerido é excretada na urina.

O tratamento P-10 foi o que apresentou o maior número médio de animais por hectare (3,22) e, assim, o de maior retorno de K via dejetos, principalmente pela urina. Esse nutriente, estando na forma iônica, é prontamente disponível para absorção pelas plantas (Haynes & Williams, 1993) e esteve também mais suscetível a perdas por erosão ou lixiviação, uma vez que praticamente todo o K das fezes de bovinos é solúvel em água (Davies et al., 1962). Lustosa (1998), por sua vez, encontrou acúmulo de K no solo de um ano para o outro, sobretudo nos locais de concentração dos

dejetos, cujos teores praticamente dobraram, inclusive em profundidade, sugerindo que podem ocorrer perdas por lixiviação em áreas de pastejo intenso, como deve ter ocorrido no presente trabalho, mais acentuadamente, no tratamento P-10.

Vale ressaltar que no início do experimento (maio de 2001) o tratamento testemunha (sem pastejo-SP) apresentava numericamente menor teor de K na camada de 0 a 20 cm de profundidade do solo (Figura 1). Esse fato não era esperado, visto que nessa ocasião as áreas ainda não tinham sido diferenciadas (tratamentos). Assim, esses resultados podem ser atribuídos à variabilidade espacial da área experimental (22 ha).

Distribuição do teor de K no solo em um ciclo de integração

Na comparação dos teores de K nas diferentes intensidades de pastejo, em maio de 2007, após soja, e novembro de 2007, após pastejo (Figura 2), observa-se que, com exceção do tratamento P-20 (com tendência de diminuição), os demais apresentaram aumento (P-10 e P-40) ou tendência de aumento (SP). O comportamento diferenciado do tratamento P-20 não era esperado, visto que, pela dinâmica do nutriente no sistema pastagem-animal, deveria haver aumento do seu teor no solo ao final do ciclo da pastagem. A possibilidade de erro analítico foi descartada, pela repetição dos teores dos dados na reanálise das amostras, o que leva a crer que pode ter ocorrido algum problema na amostragem neste tratamento (P-20). Vale destacar que teores de K mais altos na retirada dos animais em pastejo evidenciam a grande capacidade das pastagens e também, provavelmente, o próprio efeito dos animais na ciclagem do K, como demonstrado por Braz et al. (2002), em cujo trabalho com *Brachiaria decumbens*, na Zona da Mata de Minas Gerais, os teores de K nas fezes de novilhas foram em torno de 3,1 g kg⁻¹ e o retorno diário do nutriente por estas foi estimado em 6,12 g/animal. Da mesma forma, Santos et al. (2003) observaram aumento nos teores de K trocável em sistemas que utilizavam pastagem. Correa & Reichardt (1995) também destacaram que os teores de K são altos no solo sob pastagem quando comparados aos do solo sob floresta. Para enfatizar a importância das pastagens na ciclagem de K, Garcia et al. (2008) destacam que as espécies forrageiras, quando usadas como plantas de cobertura, são eficientes na extração e ciclagem desse nutriente do solo em sistemas de rotação de culturas.

Comparando os teores de K após o ciclo de pastejo (novembro de 2007) com os teores após o ciclo da soja (maio de 2008), verifica-se redução nos tratamentos P-10 e P-40 (Figura 2), o que novamente reforça a importância das pastagens na ciclagem do K e, também, sugere uma maior exportação do elemento pela colheita dos grãos de soja. Por outro lado, é interessante também observar que no tratamento sem

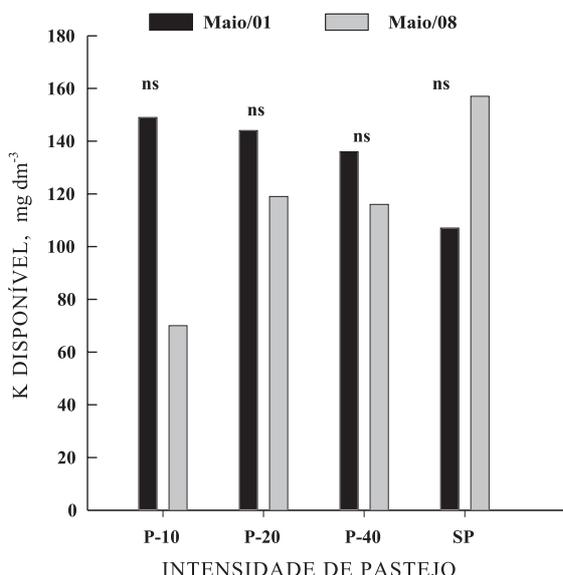


Figura 1. Teores de potássio disponível (Mehlich-1) na camada do solo de 0-20 cm em função de diferentes intensidades de pastejo (10, 20 e 40 cm de altura do pasto - P-10, P-20 e P-40, respectivamente) e sem pastejo (SP), em maio de 2001 e maio de 2008. ns: não significativo, dentro de cada tratamento, pelo teste F (p < 0,05).

pastejo (SP), mesmo que não se diferencie da produção acumulada de matéria seca da parte aérea da pastagem em relação às áreas pastejadas, o seu resíduo ao

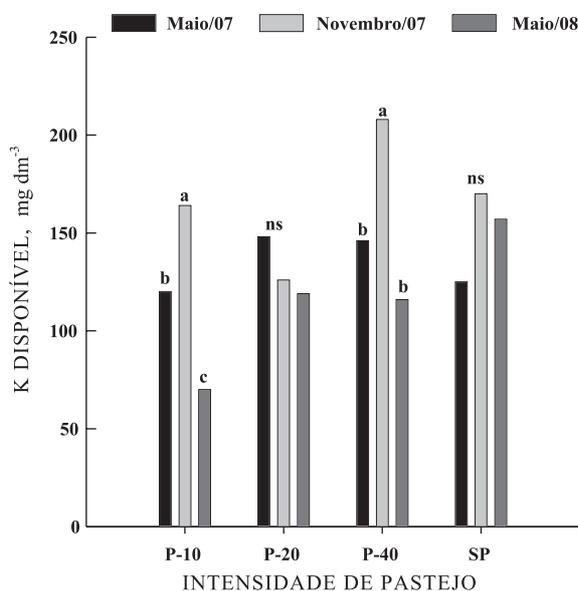


Figura 2. Teores de potássio disponível (Mehlich-1) na camada do solo de 0-20 cm em função de diferentes intensidades de pastejo (10, 20 e 40 cm de altura do pasto - P-10, P-20 e P-40, respectivamente) e sem pastejo (SP), nos meses de maio e novembro de 2007 e maio de 2008. Médias com a mesma letra, em cada tratamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %; n.s.: não significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

final do ciclo da pastagem é maior, disponibilizando, por isso, mais K para a soja, cultivada na sequência (Quadro 2).

As perdas de K podem ocorrer por lixiviação, com a água de escoamento ou por erosão. No caso da área sem pastejo (SP), podem estar ocorrendo menores perdas do nutriente, uma vez que o K que circula pelos animais é considerado solúvel. A perda de nutrientes para o ambiente através da excreta animal pode ser significativa e a liberação de nutrientes da liteira mais lenta (Dubeux Jr et al., 2007). Além disso, na parcela sem pastejo (SP) há maior cobertura do solo (Quadro 2) e, possivelmente, menor erosão, contribuindo assim para menores perdas de K. No caso das áreas pastejadas, a distribuição do K é considerada mais heterogênea e, conforme Monteiro & Werner (1997), a pastagem não consumida pelos animais é uma fonte importante de retorno de nutrientes para o sistema, destacando também a distribuição uniforme das plantas na área da pastagem.

No tocante à distribuição dos teores de K no perfil do solo, nas diferentes épocas de avaliação, verificaram-se menores teores do nutriente em profundidade, formando gradientes decrescentes de concentração de K a partir da superfície do solo (Figura 3). Essa é uma característica comum em sistema plantio direto consolidado, como no presente caso, que acontece paralelamente ao gradiente decrescente de C orgânico (Figura 3), como mencionado por Mielniczuk (2005) e Anghinoni (2007). Incrementos no teor de matéria orgânica resultam em aumento da capacidade dos solos em reter cátions que podem lixiviar, porém disponibilizando-os para absorção pelas plantas (Wilkinson & Lowrey, 1973). A matéria orgânica do

Quadro 2. Produção de matéria seca da pastagem (acumulada e residual) e do mantilho⁽¹⁾ e conteúdo de potássio na matéria seca da pastagem (acumulada e residual) e no mantilho⁽¹⁾ em função de diferentes 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), em 2007

| Intensidade de pastejo | Matéria seca | | | Conteúdo de potássio | | |
|------------------------|--------------------|----------|-------------------------|----------------------|----------|-------------------------|
| | Pastagem | | Mantilho ⁽¹⁾ | Pastagem | | Mantilho ⁽¹⁾ |
| | Acumulada | Residual | | Acumulado | Residual | |
| Mg ha ⁻¹ | | | kg ha ⁻¹ | | | |
| P-10 | 7,85 ^{ns} | 0,47 d | 1,87 ^{ns} | 176 a | 11 b | 4 ^{ns} |
| P-20 | 7,19 | 1,97 cd | 2,07 | 116 ab | 30 ab | 5 |
| P-30 | 6,92 | 2,84 bc | 2,28 | 75 b | 30 ab | 7 |
| P-40 | 7,68 | 3,62 b | 2,39 | 74 b | 37 ab | 11 |
| SP | 6,06 | 6,06 a | 2,90 | 57 b | 57 a | 8 |
| Média | 7,14 | 2,99 | 2,30 | 100 | 33 | 7 |
| DMS | 3,44 | 1,55 | 1,22 | 86 | 31 | 11 |
| CV (%) | 17,09 | 18,38 | 18,84 | 30,58 | 33,56 | 54,20 |

⁽¹⁾ Palhada remanescente da soja e da pastagem. Médias de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %; ns: não significativo pelo teste F ($p < 0,05$); DMS: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 %.

solo é responsável por grande parte (até 70 %) da CTC dos solos tropicais (Silva et al., 2004). Esse gradiente decrescente de concentração com o aumento da profundidade do solo, característico do sistema plantio direto, é resultante da aplicação superficial de fertilizantes, do não revolvimento do solo e da manutenção da palhada na sua superfície.

As plantas de cobertura são importantes na ciclagem do K que chega ao solo por meio da lavagem

do dossel pelas chuvas (Garcia et al., 2008). Isso porque o K está na forma livre nos tecidos vegetais, podendo ser facilmente removido pela água após a senescência (Klepker & Anghinoni, 1995). Garcia et al. (2008) observaram maiores diferenças nas concentrações de K no perfil do solo em sistema misto (milho com braquiária), em relação ao milho solteiro. Assim, os efeitos das intensidades de pastejo nos teores de K disponível no perfil do solo somente ocorreram na coleta

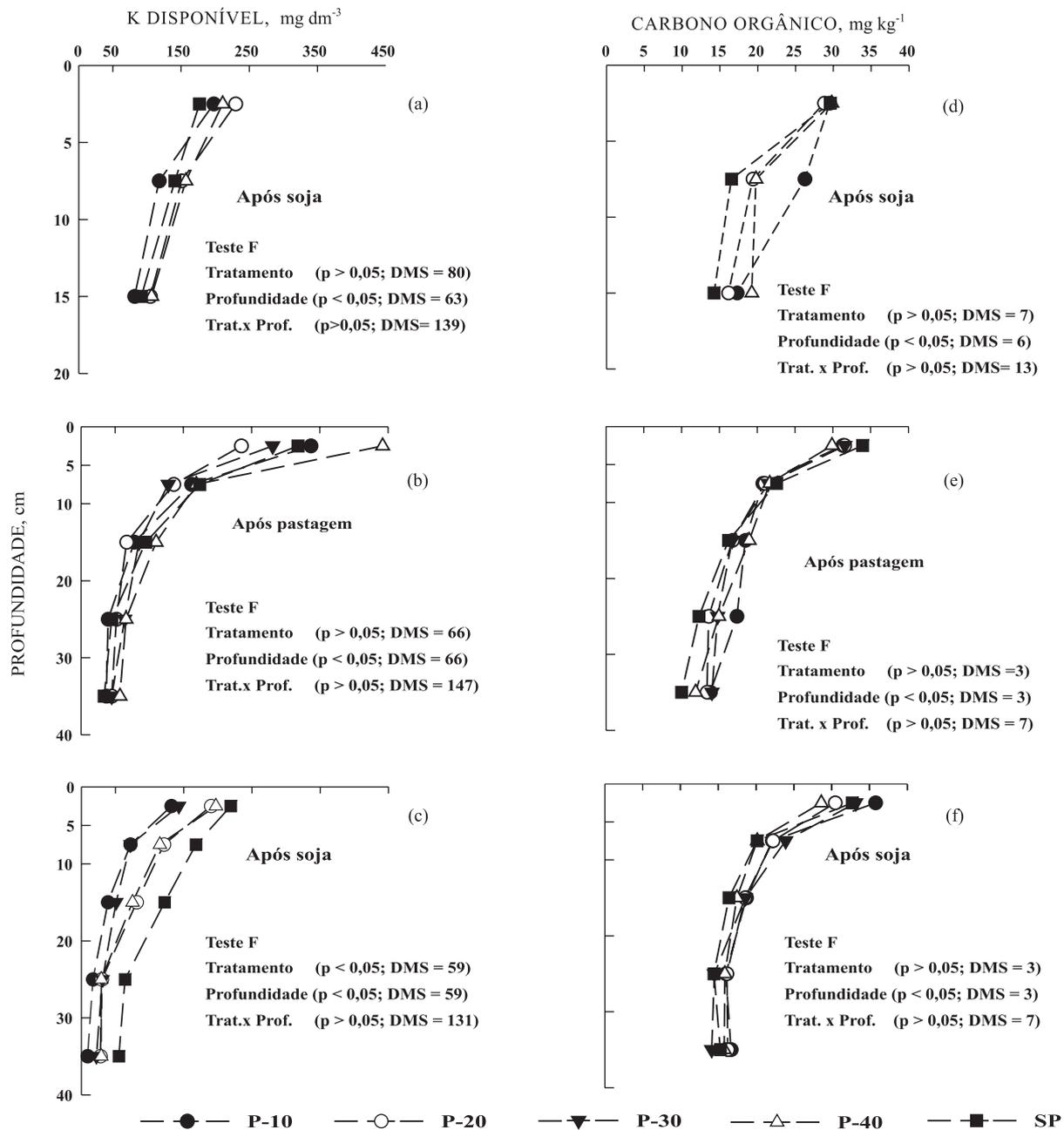


Figura 3. Teores de potássio disponível (Mehlich-1) e de C orgânico em diferentes profundidades do solo em função de diferentes intensidades de pastejo (10, 20, 30 e 40 cm de altura do pasto - P-10, P-20, P-30 e P-40, respectivamente) e sem pastejo (SP), em (a, d) maio de 2007, (b, e) novembro de 2007 e (c, f) maio de 2008. Trat.: tratamento; Prof.: profundidade; DMS: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 %.

após soja, em maio de 2008 (Figura 3c). Nas demais épocas, verificou-se similaridade entre os tratamentos, não havendo distinção entre as áreas pastejadas e destas com a área não pastejada. Entretanto, observou-se comportamento diferenciado, formando gradientes decrescentes de concentração de K maiores no perfil do solo após o ciclo de pastejo (Figura 3b), em relação aos ciclos da soja (Figura 3a,c). Na comparação entre os tratamentos após pastejo (Figura 3b), embora sem significância estatística, verificou-se na camada superficial (0–5 cm) a maior média para o tratamento com menor intensidade de pastejo (P-40) e o menor valor em pastejo moderado (P-20). Não é possível, no entanto, estabelecer uma relação clara entre a distribuição desse nutriente no solo e a produção de matéria seca da pastagem (parte aérea) e do mantilho (palhada remanescente da soja e da pastagem) e seus respectivos conteúdos de K. De um lado, poder-se-ia esperar aumento do gradiente de K com a intensidade de pastejo, em razão do aumento da quantidade desse nutriente ciclada, que está em contrapartida em menor quantidade no resíduo (Quadro 2) e mais sujeito às perdas pelas excreções (esterco e urina).

A grande e desigual distribuição de K prontamente disponível da urina pode levar a uma ineficiente ciclagem do nutriente e representar potencial para perdas. Prevalecendo altas condições de chuva, perdas anuais por lixiviação são variáveis e vão de valores menores que 2 até 66 kg ha⁻¹ de K (Early et al., 1998). Na verdade, pouco se sabe a respeito do exato destino do K da urina, pois processos como absorção por plantas, reações de trocas com colóides do solo (minerais de argila e matéria orgânica) e lixiviação podem ocasionar descidas, devido às altas concentrações de K na solução do solo, depois de uma micção (Monaghan et al., 1999). Como efeito, na mais alta intensidade de pastejo (P-10) pode estar havendo distribuição mais heterogênea do K na superfície do solo, e o nutriente dos dejetos, além de ser solúvel em água, é prontamente disponível para absorção pelas plantas (Haynes & Williams, 1993). Dessa maneira, altas quantidades de K advindas de um maior número de animais por unidade de área podem favorecer perdas do elemento, por lixiviação, erosão ou escoamento superficial, principalmente em locais de alta pluviosidade no período de pastejo e de solo com características de boa drenagem, como no presente caso. É importante ressaltar que os teores e a própria distribuição do K nesta amostragem (novembro de 2007), mesmo mais elevados que após soja, podem ter sido alterados pelo fato de o pastejo ter ocorrido ao longo ciclo da pastagem e com chuvas intensas, especialmente em setembro de 2007 (400 mm – dados não apresentados).

Nas avaliações após o ciclo da soja (maio de 2007 e de 2008), não se observaram efeitos ou tendências concordantes em relação às intensidades de pastejo. Enquanto em maio de 2007 houve somente efeito de profundidade (Figura 3a), em maio de 2008 as

intensidades de pastejo também se diferenciaram (Figura 3c). Nessa amostragem, os maiores valores ocorreram no tratamento sem pastejo (SP), seguido do P-40 e P-20, estando o P-10 juntamente com o P-30 no extremo inferior. Novamente, esses valores parecem estar mais diretamente relacionados com a quantidade de K contida nos resíduos (da pastagem e mantilho) e, de maneira inversa, com o conteúdo desse nutriente acumulado durante o ciclo de pastejo (Quadro 2). Conforme Williams et al. (1990), as perdas indiretas provocadas pelos animais são altas quando associadas com manchas de deposição de urina e esterco altamente heterogêneas.

A energia de retenção de cátions trocáveis, como Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, nos colóides dos solos segue a série liotrópica, em que o primeiro e principal fator é a energia de atração da carga e o segundo, o tamanho dos íons hidratados (Raij, 1991). Contudo, mesmo o K⁺ tendo menor afinidade que o Ca²⁺ e o Mg²⁺ pelos colóides do solo, estando em grande quantidade e o solo apresentando altos valores de CTC (Quadro 1), por efeito de massa, ele pode deslocar outros cátions, como o Ca²⁺ e o Mg²⁺, e, assim, diminuir suas perdas por lixiviação. Por sua vez, a grande quantidade de K disponível no solo indica que perdas por lixiviação podem ser altas, chegando a 139 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K (Wilkinson & Lowrey, 1973). Nesse contexto, Kayser & Isselstein (2005) salientam que a lixiviação de K em pastagens é normalmente baixa, mas altos teores de K disponível no solo e alta entrada de K via fertilizante ou urina levam a incrementos de perdas. Perdas por lixiviação são, também, influenciadas pelo teor de argila e pela textura e variam com o tipo de solo, a quantidade e tempo de aplicação de fertilizante e com a idade e manejo da pastagem (Alfaro et al., 2004). Fluxos preferenciais parecem ter um papel importante no movimento inicial de K em profundidade depois de uma micção, segundo Kayser & Isselstein (2005). Esses autores comentaram que, no experimento de Williams et al. (1990), as perdas de K por lixiviação ocorreram primeiramente como resultado do fluxo de urina nos macroporos abaixo da profundidade das raízes, que podem representar até 74 % do K da urina que se move preferencialmente abaixo de 15 cm da superfície do solo. Nesse caso, o movimento preferencial é mais dependente de propriedades físicas do solo, como condições de superfície, do que propriamente de suas características químicas e minerais.

De modo geral, os resultados do presente trabalho indicaram que o pastejo intenso pode ser problemático à manutenção e à melhoria do estado de disponibilidade de K no solo no sistema de integração lavoura-pecuária. O que parece ter sido determinante para isso foi o grande número de animais por área, pois ocorreram as maiores reduções dos teores de K no solo, indicando que houve grandes perdas. Para Siqueira Jr. (2005), a interação entre o pastejo dos animais, em intensidades leves e moderadas, e a presença de pastagens que incluem gramíneas possibilitou o

melhor aproveitamento do K, reduzindo perdas por lixiviação, devido à sua grande mobilidade no solo (Garcia et al., 2008).

CONCLUSÕES

1. Os teores de K disponível no solo, originalmente altos, mantiveram-se ao longo do tempo, independentemente da intensidade de pastejo, em integração lavoura-pecuária em plantio direto.

2. Em todas as situações, ocorreu um gradiente decrescente de concentração de K no solo a partir da superfície, sendo maior após pastagem que após soja.

3. A ausência de pastejo, apesar de propiciar menor ciclagem de K, resultou em maiores teores do nutriente ao longo do perfil do solo, em relação às áreas com animais, especialmente aquelas intensamente pastejadas, devido às perdas no sistema, provavelmente, pelas excretas.

LITERATURA CITADA

- ALFARO, M.A.; JARVIS, S.C. & GREGORY, P.J. Factors affecting potassium leaching in different soils. *Soil Use Manag.*, 20:182-189, 2004.
- ALLISON, L.E. Organic carbon. In: BLACK, C.A. et al., eds. *Methods of soil analysis*. Agronomy series n° 9. ASA, Madison, Wisc. p.1367-1379.
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. 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.873-928.
- BARTHAM, G.T. Sward structure and the depth of the grazed horizon. *Grass For. Sci.*, 36:130-131, 1981.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária/Divisão de Pesquisa Pedológica, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30)
- BRAZ, S.P.; NASCIMENTO JR., D.; CANTARUTTI, R.B.; REGAZZI, A.J.; MARTINS, C.E.; FONSECA, D.M. & BARBOSA, R.A. Aspectos quantitativos do processo de reciclagem de nutrientes pelas fezes de bovinos sob pastejo em pastagem de *Brachiaria decumbens* na Zona da Mata de Minas Gerais. *R. Bras. Zootec.*, 31:858-865, 2002.
- CARRAN, R.A. & THEOBALD, P.W. Effects of excreta return on properties of a grazed pasture soil. *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, 56:79-85, 2000.
- CASSOL, L.C. Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 143p. (Tese de Doutorado)
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS-RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, SBCS/NRS, 2004. 400p.
- CONAB. Sexto levantamento de avaliação da safra 2007/08 – Março de 2008. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 20 mar. 2008.
- CORREA, J.C. & REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso de pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. *Pesq. Agropec. Bras.*, 30:107-114, 1995.
- DAVIES, E.B.; HOGG, D.E. & HOPEWELL, H.G. Extent of return of nutrient elements by dairy cattle: possible leaching losses. In: *TRANSACTIONS OF THE JOINT MEETING COMMISSIONS, IV and V*, Palmerston North (New Zealand), 1962. *Int. Soc. Soil Sci.*, 1962. p.715-720.
- DORAN, J.W. Soil health and global sustainability: Translating science into practice. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 88:119-127, 2002.
- DUBEUX JR., J.C.B.; SOLLENBERGER, L.E.; MATHEWS, B.W.; SCHOLBERG, J.M. & SANTOS, H.Q. Nutrient cycling in warm-climate grasslands. *Crop Sci.*, 47:915-928, 2007.
- 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. *New Zealand 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.
- FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: *REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA*, 45., São Carlos, 2000. Programa e resumos... São Carlos, Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 2000. p.255-258.
- FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P.; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J.C.; DENARDIN, J.E.; REIS, E.M. & VOSS, M. Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, sob plantio direto. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2000. 84p. (Circular Técnica, 6)
- GARCIA, R.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; CALONEGO, J.C. & ROSOLEM, C.A. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. *Eur. J. Agron.*, 28:579-585, 2008.
- HAYNES, R.J. & WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and fertility in the grazed pasture ecosystem. *Adv. Agron.*, 49:119-199, 1993.
- KAMINSKI, J.; GATIBONI, L.C.; RHEINHEIMER, D.S.; MARTINS, J.R.; SANTOS, E.J.S. & TISSOT, C.A. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no cálculo da necessidade de calcário. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:1107-1113, 2002.
- KAYSER, M. & ISSELSTEIN, J. Potassium cycling and losses in grassland systems: A review. *Grass For. Sci.*, 60:213-224, 2005.

- KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:395-401, 1995.
- LUSTOSA, S.B.C. Efeito do pastejo nas propriedades químicas do solo e no rendimento de soja e milho em rotação com pastagem consorciada de inverno no sistema de plantio direto. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1998. 84p. (Tese de Mestrado)
- 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.
- MONAGHAN, R.M.; CAREY, P.; METHERELL, A.K.; SINGLETON, P.L.; DREWRY, J. & ADDISON, B. Depth distribution of simulated urine in a range of soils soon after deposition. *New Zealand J. Agric. Res.*, 42:501-511, 1999.
- MONTEIRO, F.A. & WERNER, J.C. Reciclagem de nutrientes nas pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 14., Piracicaba, 1997. Anais. Piracicaba, FEALQ, 1997. p.55-84.
- MOTT, G.O. & LUCAS, H.L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6., Pennsylvania, 1952. Proceedings... Pennsylvania, 1952. p.1380-1395.
- 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.
- RAIJ, B.van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, Ceres, 1991. 343p.
- 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.
- 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.
- SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. & SPERA, S.T. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:545-552, 2003.
- SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O. & CERETTA, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E.J., ed. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre, Genesis, 2004. p.73-100.
- SIQUEIRA JR., L.A. Alterações de características do solo na implantação de um sistema de integração agricultura-pecuária leiteira. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2005. 93p. (Tese de Mestrado)
- SOUTO, M.S. Pastagem de aveia e azevém na integração lavoura-pecuária: Produção de leite e características do solo. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2006. 80p. (Tese de Mestrado)
- 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.
- WANG, X. & GONG, Z. Assessment of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. *Geoderma*, 81:339-355, 1998.
- WILKINSON, S.R. & LOWERY, R.W. Cycling of mineral nutrients in pasture ecosystems. In: BUTTLER, G.W. & BALLEY, R.W., eds. Chemistry and biochemistry of herbage. New York, Academic Press, 1973. p.247-315.
- 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. *New Zealand J. Agric. Res.*, 33:489-495, 1990.