

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

**DINÂMICA DE POTÁSSIO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO  
LAVOURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO SOB INTENSIDADES DE  
PASTEJO**

**Eric Victor de Oliveira Ferreira  
Dissertação de Mestrado**

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

**DINÂMICA DE POTÁSSIO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO  
LAVOURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO SOB INTENSIDADES DE  
PASTEJO**

ERIC VICTOR DE OLIVEIRA FERREIRA  
Engenheiro Agrônomo (UFLA)

Dissertação apresentada como  
um dos requisitos à obtenção do  
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil  
Fevereiro de 2009

## PÁGINA DE HOMOLOGAÇÃO

*À memória de meus “pais-avós”, **Gumercino e Rosalina**,  
por terem sido exemplos de seres humanos e  
muito contribuírem para a minha formação.*

*A vocês, dedico este trabalho!*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por estar sempre ao meu lado;

Ao professor Ibanor Anghinoni, exemplo de sabedoria, pela paciência e ensinamentos transmitidos durante a orientação;

Ao professor Paulo Carvalho e sua equipe, em especial, à Cristiane e à Taise, pelas colaborações para o desenvolvimento do trabalho;

Ao CNPq, pela concessão da bolsa;

À Fazenda do Espinilho, pertencente à Cabanha Cerro Coroado, por ceder a área para a condução do experimento, e a Dona Rita e o Sr. Alcebíades, por sempre nos receberem bem nas viagens de coleta;

Ao PPG Ciência do Solo da UFRGS, pela oportunidade de realização do curso, e a todos seus professores, pelo conhecimento transmitido durante o trabalho; a todos os colegas do PPG Ciência do Solo da UFRGS, pela boa convivência na realização do curso;

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial, ao Sr. Zé e ao Jader, sempre muito prestativos;

Ao amigo Adão, pelo apoio em laboratório e nas viagens de campo, além de sempre nos receber bem em sua casa, com seu “churrasco gaudério”;

Aos bolsistas de iniciação científica, Eduardo, Amanda e Marcelo, pelo incondicional auxílio nas coletas e análises laboratoriais; ao Sérgio, à Daniela, à Graciele e à Regina, pela amizade e prestatividade;

Aos colegas do apartamento (Carlos, Edicarlos e Paulo César), pelo apoio e convivência;

À professora Janice Guedes de Carvalho, com quem iniciei minhas pesquisas na iniciação científica; e ao professor Nilton Curi, pelo incentivo e colaboração ao meu ingresso neste curso, ambos da UFLA;

À minha namorada Vanessa e à minha filha Laura, pelos bons momentos compartilhados e pela paciência por muitas vezes se privarem da minha companhia;

À toda minha família, em especial, meu irmão Raphael e minha mãe, pelo carinho, incentivo e apoio oferecidos;

A todos aqueles, que contribuíram, direta ou indiretamente, por esta conquista, meu muito obrigado!

# DINÂMICA DE POTÁSSIO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO SOB INTENSIDADES DE PASTEJO <sup>1/</sup>

Autor: Eric Victor de Oliveira Ferreira

Orientador: Ibanor Anghinoni

## RESUMO

A dinâmica de potássio em sistemas de integração lavoura-pecuária diverge de outros sistemas de manejo, porque são sistemas mais complexos e envolvem, além das práticas relacionadas à cultura de interesse econômico, a introdução do animal no sistema. Assim, objetivou-se, neste trabalho, avaliar a evolução, a ciclagem e o balanço de potássio em um sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, com diferentes intensidades de pastejo (aveia preta + azevém) de bovinos no inverno e sua influência sobre a cultura da soja cultivada na seqüência no ano agrícola 2007/08. O experimento está sendo conduzido desde maio de 2001 em área pertencente à Fazenda do Espinilho, localizada no município de São Miguel das Missões – RS, em Latossolo Vermelho distroférico típico que vinha sendo cultivado em plantio direto desde 1991. Os tratamentos constam de intensidades de pastejo: 10, 20, 30 e 40 cm de altura e um tratamento sem pastejo, distribuídos num delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. Os teores de potássio disponível eram originalmente altos e assim se mantiveram ao longo do tempo; em todas as situações, ocorreu a formação de um gradiente de concentração de potássio a partir da superfície, com distribuição no perfil do solo diferenciada entre a pastagem e a soja, sem, haver, porém uma relação com as diferentes intensidades de pastejo. A ciclagem de potássio tendeu a aumentar com o aumento da intensidade de pastejo e não influenciou a cultura da soja em sucessão; e apesar do balanço de potássio no campo nesse sistema de integração lavoura-pecuária ter sido negativo ( $K_{final} < K_{inicial}$ ), com um maior déficit nas áreas com maior intensidade de pastejo, os teores disponíveis desse nutriente se mantiveram altos e não influenciaram o rendimento de grãos da soja.

---

<sup>1/</sup> Dissertação de Mestrado 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. (73p.) – Fevereiro, 2009. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq, Fundação Agrisus e Cabanha Cerro Coroadó.

# POTASSIUM DYNAMICS ON AN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM IN NO-TILLAGE UNDER GRAZING INTENSITIES <sup>1/</sup>

Author: Eric Victor de Oliveira Ferreira  
Adviser: Ibanor Anghinoni

## ABSTRACT

Potassium dynamics on integrated crop-livestock systems can be altered in relation to cash crop production systems, because such systems involve further management practices with the introduction of the animal in the system. The objectives of this study were to evaluate the potassium evolution, cycling and balance in an integrated crop-livestock system under no tillage with different grazing (black oat and italian ryegrass) intensities in the winter season and its influence on soybean cultivated in the summer season in 2007/08. The experiment is being conducted since May of 2001 in an area belonging to the Espinilho Farm, located in São Miguel das Missões county in the State of Rio Grande do Sul – Brazil in a Rhodic Hapludox (Oxisol), and cultivated under no tillage since 1991. The treatments consisted of different grazing intensities: 10, 20, 30 and 40 cm of pasture height, and a no-grazing treatment, in an experimental randomized block design, with three replicates. Available potassium content was originally high and so maintained along the time; in all situations, there was a potassium gradient formation from top soil, with different distribution in the soil profile among pasture and soybean without, however, a relationship with the different grazing intensities. The cycling of potassium tended to increase with increasing grazing intensity and did not influence soybean yield cropped in succession and; despite the negative potassium balance ( $K_{final} < K_{initial}$ ) in the integrated crop-livestock system, with increasing deficit with increasing grazing intensity, available potassium remained high and did not affect soybean yield.

---

<sup>1/</sup> M.Sc. Dissertation in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brazil. (73p.) – February, 2009. Research supported by CNPq, Fundação Agrisus and Cabanha Cerro Coroadó.

## SUMÁRIO

	Página
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	01
<b>2. ESTADO DO CONHECIMENTO ATUAL</b> .....	03
2.1. O potássio no solo .....	03
2.2. O potássio na planta .....	05
2.3. O potássio no animal .....	07
2.4. Dinâmica de potássio em sistemas de produção agrícola em plântio direto .....	08
2.4.1. Em cultivos anuais com plantas de cobertura de solo .....	09
2.4.2. Em integração lavoura-pecuária .....	12
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	15
3.1. Histórico do experimento .....	15
3.1.1. Implantação e condução .....	15
3.1.2. Tratamentos .....	16
3.1.3. Calagem e adubação .....	19
3.2. Etapa experimental referente ao presente trabalho .....	20
3.2.1. Condução da pastagem .....	20
3.2.2. Condução da soja .....	20
3.2.3. Amostragens, análises e determinações .....	21
3.2.3.1. Solo .....	21
3.2.3.2. Pastagem .....	22
3.2.3.3. Animais e dejetos .....	23
3.2.3.4. Soja .....	23
3.2.3.5. Balanço de potássio no sistema .....	24
3.2.3.6. Análises estatísticas .....	24
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	25
4.1. Evolução de potássio do solo no sistema .....	25
4.1.1. Ao longo do tempo .....	25
4.1.2. Em um ciclo de integração lavoura-pecuária .....	30
4.2. Ciclagem de potássio no sistema .....	39
4.3. Balanço de potássio no sistema.....	45
4.4. Rendimento de grãos de soja no sistema .....	50
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	52
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	53
<b>7. APÊNDICES</b> .....	64

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
<b>01.</b> Atributos químicos do Latossolo Vermelho distroférico em diferentes camadas, antes da implantação do experimento (novembro de 2000) .....	19
<b>02.</b> Produção acumulada de massa seca da parte aérea (MSPA) e do mantilho (MSMANT) e teores de K na parte aérea (K PA) e no mantilho (K MANT) da pastagem sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em novembro de 2007.....	32
<b>03.</b> Massa 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 (safra 2006/07) sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) .....	43
<b>04.</b> Massa 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 (safra 2007/08) sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) .....	43
<b>05.</b> Balanço de K, na propriedade, em sistema integração lavoura-pecuária em plantio direto sob intensidades de pastejo (P-10; P-20 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) (ano agrícola 2007/08) .....	46
<b>06.</b> Balanço de K, no campo, em sistema integração lavoura-pecuária em plantio direto sob intensidades de pastejo (P-10; P-20 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) (ano agrícola 2007/08) .....	48

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
<b>01.</b> Vista geral da área experimental, Fazenda do Espinilho em São Miguel das Missões/ RS. ....	16
<b>02.</b> Croqui da área experimental, Fazenda do Espinilho em São Miguel das Missões/ RS. ....	17
<b>03.</b> Intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) bovino em uma pastagem de aveia preta + azevém em plantio direto. ....	18
<b>04.</b> Teores de potássio disponível (Mehlich 1) na camada de 0-20 cm sob intensidades de pastejo (P-10; P-20 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em maio de 2001 e de 2007. n.s.= não significativo ( $P>0,05$ ), dentro de cada tratamento, pelo teste F. ....	26
<b>05.</b> Teores de potássio disponível (Mehlich 1) no perfil do solo sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em (a) maio de 2001 e (b) maio de 2007. Trat.= tratamento; Prof.= profundidade; DMS= diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ....	27
<b>06.</b> Teores de carbono orgânico no perfil do solo sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em (a) maio de 2001 e (b) maio de 2007. Trat.= tratamento; Prof.= profundidade; DMS= diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ....	28
<b>07.</b> Capacidade de troca de cátions ( $CTC_{pH\ 7,0}$ ) no perfil do solo sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em (a) maio de 2001 e (b) maio de 2007. Trat.= tratamento; Prof.= profundidade; DMS= diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ....	29
<b>08.</b> Teores de potássio disponível (Mehlich 1) na camada de 0-20 cm sob intensidades de pastejo (P-10; P-20 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) nos meses de maio e novembro de 2007 e maio de 2008. $P<0,05$ (P-10 e P-40) e n.s. (não significativo)- $P>0,05$ (P-20 e SP) pelo teste F; Médias com a mesma letra, em cada tratamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ....	31
<b>09.</b> Teores de potássio disponível (Mehlich 1) no perfil do solo sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em (a) maio e (b) novembro de 2007 e (c) maio de 2008. Trat.= tratamento; Prof.= profundidade; DMS= diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ....	34

- 10.** Teores de carbono orgânico no perfil do solo sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em (a) maio e (b) novembro de 2007 e (c) maio de 2008. Trat.= tratamento; Prof.= profundidade; DMS= diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. .... 35
- 11.** Capacidade de troca de cátions ( $CTC_{pH\ 7,0}$ ) no perfil do solo sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em (a) maio e (b) novembro de 2007 e (c) maio de 2008. Trat.= tratamento; Prof.= profundidade; DMS= diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. .... 36
- 12.** Potássio ciclado em diferentes compartimentos da pastagem, da soja, nos animais e nos seus dejetos, sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em diferentes épocas. \*, N.S., significativo e não significativo pelo teste F ( $P < 0,05$ ), respectivamente. Médias de mesma letra, dentro do mesmo compartimento, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. .... 40
- 13.** Rendimento de grãos de soja sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em sistema de ILP em plantio direto, em diferentes safras.  $P < 0,05$  (P-10; P-30; P-40 e SP) e n.s. (não significativo)- $P > 0,05$  (P-20) pelo teste F; Médias com a mesma letra, em cada tratamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. .... 51

## 1. INTRODUÇÃO

Na atual conjuntura econômica do Brasil, existe a crescente necessidade de se aumentar a rentabilidade das propriedades rurais, para que os produtores continuem na atividade. A partir disso, surge a proposta de diversificação das atividades na propriedade com a inserção da pecuária em áreas antes utilizadas somente com lavoura no verão e alguma cultura de cobertura na entressafra.

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 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 Estado do Rio Grande do Sul, o sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) foi intensificado principalmente a partir da década de 70 nas regiões do Planalto Médio e Missões, com a introdução de espécies forrageiras de inverno (Mello, 1996).

Apesar dos benefícios proporcionados pela ILP, a sua adoção é, ainda, um desafio técnico que necessita de ajustes para que se obtenham bons rendimentos com a pecuária sem prejudicar as culturas de grãos em sucessão (Nicoloso, 2005). É recomendável que a ILP seja conduzida em sistema conservacionista de uso do solo, de preferência em plantio direto, que exige um grande aporte de palha para manter-se produtivo em longo prazo. Mas com o

pastejo bovino no inverno, a adição de resíduos pode ficar comprometida, uma vez que o pastejo, dependendo de sua intensidade, pode limitar a quantidade de biomassa para cobertura de solo e semeadura das lavouras de verão. 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 fitomassa faz com que haja uma alta demanda de nutrientes, especialmente de potássio. As perdas desse nutriente por erosão podem ocorrer no sedimento e na água de escoamento. Em sistemas como o plantio direto, a perda de solo é pequena, mas podem ocorrer perdas significativas do nutriente no escoamento superficial, em razão da sua presença nos resíduos de culturas e na camada superficial do solo. Isto, porque o potássio ocorre como íon livre ( $K^+$ ) nos tecidos vegetais, podendo ser facilmente removido pela água após a senescência (Mielniczuk, 2005).

A dinâmica de potássio na ILP diverge de outros sistemas de manejo no decorrer do ciclo das culturas de verão e da pastagem, porque são sistemas mais complexos e envolvem, além das práticas relacionadas à cultura de grãos, a introdução dos animais no sistema. A dinâmica de nutrientes no solo é influenciada pelas decisões de manejo (Doran, 2002), pois práticas impróprias resultam em exaurimento de nutrientes no solo. Assim, 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 isto, estudos são necessários para o aprofundamento do entendimento da dinâmica de nutrientes em sistemas de rotação e sucessão de cultura no SPD.

Espera-se que o não revolvimento do solo e a adição de resíduos (vegetais e animais) proporcionem uma maior concentração de potássio na camada superficial do solo, que a ciclagem do potássio aumente com a intensidade de pastejo e favoreça a cultura da soja cultivada em sucessão e, que o balanço desse nutriente em sistema de ILP, em plantio direto, seja negativo ( $K_{final} < K_{inicial}$ ). Assim, objetivou-se nesse trabalho avaliar a evolução, a ciclagem e o balanço de potássio em sistema de ILP sob diferentes intensidades de pastejo de bovinos no inverno e sua influência sobre a cultura da soja cultivada na sequência.

## 2. ESTADO DO CONHECIMENTO ATUAL

### 2.1. O potássio no solo

O K é um dos nutrientes mais abundantes nos solos, em concentrações que vão desde 0,3 até 30 g kg<sup>-1</sup> (Sparks, 2000). O mesmo constitui o sétimo elemento em abundância da crosta terrestre, apresentando um teor médio de 26 g kg<sup>-1</sup> (Schroeder, 1979). Uma revisão feita por Lopes (1982) mostrou que os teores totais desse elemento nos solos brasileiros variam de 0,5 a 25 g kg<sup>-1</sup>, o que está em acordo com esse autor. Essa variação é atribuída aos diferentes processos pedogenéticos que contribuem para a formação de cada solo, considerando que todo o K existente no solo é fruto do material de origem, com teores mais elevados desse nutriente em solos menos intemperizados, como em alguns localizados no extremo sul e também na região semi-árida do Brasil (Nachtigall & Raij, 2005).

Os níveis críticos de K, segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004), são de 45, 60 e 90 mg dm<sup>-3</sup>, para solos com CTC<sub>pH 7,0</sub> ≤5, 5,1 a 15 e >15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Brunetto et al. (2005) verificaram que o nível crítico de K extraído pelo Mehlich 1 em um Argissolo com baixa CTC<sub>pH 7,0</sub> em SPD foi de 42 mg dm<sup>-3</sup>, próximo de 45 mg dm<sup>-3</sup>, adotado pela CQFS-RS/SC (2004).

A maior parte (98 %) do K total encontra-se na estrutura de minerais primários e secundários (K estrutural) e uma pequena fração encontra-se em formas mais disponíveis às plantas, como ligado às cargas elétricas negativas

(K trocável) ou na solução do solo (K solução) (Sparks, 2000). A forma com que o K se liga aos componentes da fase sólida do solo, bem como a energia dessas ligações, dão origem às diversas formas do elemento no solo (Ernani et al., 2007).

O suprimento de K para as plantas é feito através da solução do solo e dos sítios de troca dos colóides do solo que estão em equilíbrio com o K não trocável e com o K estrutural dos minerais (Sparks & Huang, 1985). Segundo Raji et al. (1996), nos solos da grande maioria das regiões tropicais do Brasil, os colóides são formados predominantemente por matéria orgânica, caulinita e óxidos de ferro e alumínio e o K trocável, nessas condições de pedogênese, representa a fração disponível mais importante às plantas. Porém, admitem que o K não trocável do solo e o K dos resíduos vegetais podem contribuir consideravelmente para a nutrição das plantas cultivadas.

Ocorre também a passagem do K de formas trocáveis para formas não trocáveis, que é rápida principalmente em solos com baixos teores do nutriente (Rosolem et al., 1993). Este fato também foi comprovado por Rosolem et al. (2006), em que verificaram que tanto o K lixiviado da palha do milho quanto do adubo proporcionaram elevação dos teores de K não-trocável.

Quando as formas de K não trocáveis contribuem com grande parte do total absorvido pelas plantas, pode-se ter ausência de resposta no crescimento vegetal e na produtividade das culturas frente à aplicação de fertilizantes potássicos, com desperdício de adubo, aumento do custo de produção e com riscos de contaminação ambiental (Melo et al., 2003). Kaminski et al. (1996) apenas observaram aumento dos rendimentos de grãos de soja a partir do segundo cultivo e com as maiores doses aplicadas (120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) em solo arenoso. Essa baixa resposta das culturas comerciais e plantas de cobertura à adubação potássica é atribuída à liberação de K não trocável, pois o solo contém minerais micáceos e feldspatóides (Brunetto et al., 2005). Estes autores relatam que é possível se obter altos rendimentos de grãos e matéria seca com baixas doses de potássio, pelo fato da fração argila apresentar minerais ilíticos e K em formas não trocáveis. As formas de K ligadas à fase sólida do solo estão em equilíbrio com o K da solução, de tal forma que quando ocorre a absorção de K do solo pelas

plantas, o K na solução tende a ser repostado pela liberação de K da fase sólida (Nachtigall & Vahl, 1991).

Nachtigall & Vahl (1989) obtiveram boa correlação entre o K não trocável e o K total, entre o K trocável e o K total e entre o K trocável e o K não trocável para os solos cujo material de origem não é o granito. Silva & Meurer (1988) verificaram que o agrupamento dos solos estudados, adotando-se como critério a  $CTC_{pH\ 7,0}$ , permite uma melhor predição da disponibilidade de K para as plantas, utilizando-se o K trocável extraído pelo acetato de amônio 1N como índice de disponibilidade. De acordo com Meurer & Anghinoni (1993), a CTC está relacionada ao teor de argila que está associada à capacidade de retenção de água do solo, a qual afeta diretamente a difusão de K até as raízes. E, esse é o principal mecanismo de transporte de K no solo, embora o fluxo de massa possa ter contribuição significativa no processo quando a concentração de K na solução do solo é elevada (Ruiz et al., 1999). A CTC, que varia em função do teor de matéria orgânica, do tipo e da quantidade de argila e do pH, é o principal componente que determina a relação K trocável: K da solução do solo e, para uma mesma quantidade de K total haverá menos K na solução em solos com alta CTC, o que refletirá em menores perdas de K por lixiviação, menor retirada desnecessária de K pelas plantas e maiores reservas de K para as culturas (Mielniczuk, 1982).

## 2.2. O potássio na planta

O potássio (K) é absorvido pelas plantas em grandes quantidades (Furtini et al., 2001) e o seu requerimento pelas culturas é, aproximadamente, entre 20 e 50 g de K  $kg^{-1}$  de massa seca, variável em função da espécie, da época e do órgão analisado (Nogueira et al., 2001). O potássio é o segundo nutriente mais exigido pelas culturas, ficando atrás apenas do nitrogênio e as plantas produtoras de amido, açúcar e fibras parecem ser, particularmente, mais exigentes nesse nutriente (Faquin, 1994). Em geral, altos teores de potássio no tecido foliar estão associados a elevada produtividade das culturas (Malavolta, 1993). Borkert et al. (1997) comentam que uma produtividade de soja em torno de 3 Mg  $ha^{-1}$  está relacionada a teores acima de 17,1 g  $kg^{-1}$  de K nas folhas, na época da floração.

A absorção desse nutriente pelas plantas é feita na forma iônica,  $K^+$ , sendo o processo essencialmente ativo (Malavolta et al., 1997) e altamente seletivo (Chen & Gabelman, 2000). A absorção de K atinge seu máximo na presença do íon  $Ca^{+2}$  no meio, embora o excesso deste tenha efeito inibidor. O transporte de K a longa distância na planta é feito tanto pelo floema como pelo xilema e a sua redistribuição pelo floema é bastante fácil, com o nutriente se deslocando dos órgãos mais velhos para os mais novos ou para os frutos em desenvolvimento (Malavolta et al., 1997). Como resultado dessa grande mobilidade dentro da planta, os sintomas de deficiência surgem, inicialmente, nas folhas mais velhas das plantas e se caracterizam por uma clorose nas bordas das folhas, seguida de necrose. Redução do tamanho dos internódios, da dominância apical e do crescimento das plantas, retardamento da frutificação e frutos de menor tamanho e com menor intensidade de cor são alguns dos problemas, normalmente, provocados pela deficiência de potássio (Ernani et al., 2007).

Embora não sejam, ainda, bem conhecidas suas funções, é sabido que o potássio ativa mais de 60 enzimas (Oliveira et al., 2004). Suas principais funções estão ligadas aos processos de fotossíntese, translocação e balanço iônico (Marschner, 1995). De acordo com Ernani et al. (2007), o K atua não somente na síntese de proteínas, de carboidratos e da adenosina trifosfato (ATP), mas também na regulação osmótica, na manutenção de água da planta, pelo controle da abertura e fechamento de estômatos, na resistência da planta às pragas e doenças e na permeabilidade da membrana plasmática.

Os benefícios do potássio são, então, relacionados a uma maior resistência das plantas a condições adversas, tais como baixa disponibilidade de água e extremos de temperatura, além de ser descrito como o “nutriente da qualidade” (Furtini et al., 2001). Este último benefício deve ser considerado, uma vez que a qualidade dos frutos colhidos não pode ser ignorada na análise econômica da adubação potássica, pois essa característica é tão procurada quanto à produção.

O K está na forma livre nos tecidos vegetais, podendo ser facilmente removido pela água após a senescência (Mielniczuk, 2005). De acordo com Malavolta (1980), essa lavagem de nutrientes das plantas tem um significado ecológico importante, pois intensifica a ciclagem e a fertilização das camadas

superficiais do solo. Mielniczuk & Fochi (dados não publicados), citados por Mielniczuk (2005), observaram que mais de 80 % do K dos resíduos de aveia, ervilhaca e da mistura das mesmas foi liberado do tecido em menos de 30 dias. Cottica et al. (1999) observaram que, passados 55 dias do manejo da aveia preta, o conteúdo de K da palha da cultura havia diminuído em 92 %.

O potássio não é metabolizado na planta e forma ligações com moléculas orgânicas de fácil reversibilidade (Marschner, 1995). Após a senescência das plantas, o K rapidamente retorna à solução do solo, se tornando disponível às plantas (Epstein & Bloom, 2006). A rápida saída do K dos resíduos vegetais para o solo e a sua perda com a enxurrada também foi confirmada por Rosolem et al. (2003). Klepker & Anghinoni (1995) verificaram o aumento nos teores de K no solo, próximo à base dos caules do milho, em razão da lavagem do nutriente da parte aérea das plantas senescentes, no final do ciclo da cultura. Com isso, as quantidades de K na parte aérea das plantas de cobertura podem constituir uma fonte expressiva do nutriente para culturas subseqüentes (Rosolem et al., 2006).

### **2.3. O potássio no animal**

A retenção de nutrientes consumidos em produtos de animais ruminantes é baixa, variando 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). A retenção de elementos minerais pelos animais é influenciada por sua idade, estágio de lactação, quantidade ingerida, etc (Wilkinson & Lowrey, 1973). Estes autores ressaltam que o efeito da ciclagem de K, através do animal, é aumentar a disponibilidade do elemento. Nesse sentido, Teixeira (1987) verificou que os animais consomem todo o potássio que necessitam da pastagem, pois o sal mineral é isento deste nutriente. De 51,33 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de K consumido pelos animais, somente 0,86 % ficou retido nos mesmos, sendo a maior parte (99,14 %) retornada ao pasto pelas fezes e urina. A quantidade removida por um animal de 504 Kg é de apenas de 1,11 kg ha<sup>-1</sup> (Hogan & Nierman, 1927), citados por Wilkinson & Lowrey (1973). 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 das plantas (Haynes & Williams, 1993). Rodrigues et al. (2008) verificaram que a produção média de urina animal e a concentração de potássio na mesma variaram de 7,2 a 20,4 L animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e 180 a 310 g L<sup>-1</sup>, respectivamente e, que o retorno de potássio por meio da excreção animal foi da ordem de 87 kg ha<sup>-1</sup>, em sete meses de avaliação. O retorno de potássio das fezes de animais pastejando áreas com produtividade de massa seca de 15 Mg ha<sup>-1</sup> é de 45 kg ha<sup>-1</sup> (Haynes & Williams, 1993).

A distribuição espacial de placas de fezes e de urina contendo K (e também N e P) é muito heterogênea (Haynes & Williams, 1993). No entanto, a uniformização da distribuição de excreções animais pode ser melhorada com o aumento da densidade de lotação de animais (Peterson & Gerrish, 1996). O potássio, juntamente com o nitrogênio, por se concentrarem na urina, são distribuídos mais uniformemente, ao passo que o fósforo se acumula mais em áreas de descanso, pois é excretado em maior quantidade nas fezes (Mathews et al, 1996). A distribuição das fezes e urina pode atingir 34 % da área, sendo, ainda, dependente do sistema de manejo do pasto, como, pastejo de lotação contínua ou rotativa, lotação e pressão de pastejo (Oliveira, 2008).

Dessa maneira, deve-se enfatizar que animais pastejando apresentam um papel dominante na ciclagem de K e outros nutrientes no sistema solo-planta-animal e, através do retorno de excreta, tem uma maior influência na fertilidade de solos de pastagem (Whitehead, 2000).

#### **2.4. Dinâmica de potássio em sistemas de produção agrícola em plantio direto**

O sistema plantio direto tem como premissas a rotação de culturas, a ausência de revolvimento do solo e a utilização de plantas de cobertura de modo a cobrir permanentemente o solo. No caso da integração lavoura-pecuária, as plantas utilizadas para cobertura do solo são as pastagens. De forma geral, elas apresentam alguns benefícios ao sistema, tais como, rápido crescimento inicial, fazendo com que o solo fique coberto por um período mais longo de tempo, grande aporte de fitomassa, além da eficiência em ciclar nutrientes, favorecendo as culturas de verão que vem em sucessão, devido ao

seu sistema radicular ser agressivo e profundo. Rusticidade, facilidade de manejo, elevada capacidade de absorção de nutrientes, principalmente de nitrogênio e de K, que estão mais sujeitos às perdas, e grande produção de massa seca, são alguns requisitos necessários para uma boa planta de cobertura (Rossato, 2004).

Sistemas de manejo que apresentem cultivo contínuo de culturas tendem a chegar à sustentabilidade mais rapidamente do que aqueles que utilizam o plantio direto apenas com sucessão de culturas no inverno e verão (Rossato, 2004). Assim, a presença das pastagens durante todo o período em que a cultura de verão não está presente no sistema de integração lavoura-pecuária contribui para que o sistema alcance a sustentabilidade mais cedo.

A distribuição espacial e temporal de fluxos de elementos reflete as condições para produção e os ganhos do agricultor (Bacon et al., 1990). A condição de K dos solos europeus, estimada por análises de solo de rotina, varia largamente (Andrist-Rangel et al., 2007) e, de acordo com Johnston (2003), para muitos países, 25 % das amostras de solo são classificadas como “Muito baixo” e “Baixo” em K prontamente disponível. Afirmam também que existem poucos estudos que descrevem o comportamento do K no solo a longo prazo. Witter & Johansson (2001) ressaltam a importância das reservas de K do subsolo para suprimento das culturas. Andrist-Rangel et al. (2007) observaram declínio, tanto a curto, como a longo prazo, no K do solo e nas plantas e, com isso, sugeriram que mais ênfase no manejo de K seria benéfico. Concluíram também que, para minimizar os riscos de declínio da fertilidade do solo e deficiência de K, é importante analisar a concentração de K na cultura, em adição às análises de solo e o balanço de K e, se possível, ajustar as taxas de aplicação de K, levando em conta outros nutrientes de plantas e aspectos ambientais.

#### **2.4.1. Em cultivos anuais com plantas de cobertura de solo**

As espécies utilizadas como plantas de cobertura de solo podem aumentar o rendimento das culturas em sucessão pela melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo (Rossato, 2004). No entanto, o desempenho das plantas de cobertura do solo e seus efeitos nas culturas

comerciais devem ser avaliados em cada local, em função das condições do solo, clima e situação sócio-econômica do produtor (Calegari, 2001). Espécies de gramíneas como a aveia preta, que proporcionam uma cobertura mais rápida nos estádios iniciais de desenvolvimento, protegem melhor o solo que outras espécies devido a grande produção de fitomassa e elevada relação C/N (Rossato, 2004). A estratégia de utilização de elevada quantidade de fitomassa associada ao sistema plantio direto representa a base do desenvolvimento de uma agricultura que valoriza os processos biológicos considerando-os como chave para alcançar a sustentabilidade (Moreira & Siqueira, 2002). Um sistema para ser considerado sustentável deve apresentar, entre outras características, uma eficiente ciclagem de nutrientes (Lal, 1994). As plantas de cobertura desempenham um papel fundamental na ciclagem de nutrientes, tanto daqueles aplicados através dos fertilizantes minerais, que não são aproveitados pelas culturas comerciais, como daqueles provenientes da mineralização da matéria orgânica do solo e do próprio material de origem (Aita et al., 2000). A ciclagem de nutrientes é favorecida no sistema plantio direto, pela exploração de um maior volume de solo pelas raízes, maior produção de palhada, redistribuição vertical de nutrientes no perfil e modificações químicas induzidas na rizosfera que aumentam a disponibilidade de nutrientes, principalmente quando culturas de cobertura são utilizadas (Rossato, 2004).

Aita et al. (2000) observaram um maior acúmulo de K na massa seca de espécies leguminosas do que daquelas não leguminosas. Santi et al. (2003) encontraram teores de K variando de 17,1 a 20,4 g kg<sup>-1</sup> na massa seca da parte aérea da aveia preta, sendo que esse nutriente, dentre os estudados, foi, quantitativamente, o mais ciclado pela espécie. Os autores comentam que a quantidade de K ciclada pela fitomassa da aveia preta seria superior à necessidade de absorção para um rendimento de soja de 3,0 Mg ha<sup>-1</sup>. A aveia preta é muito eficiente na ciclagem de nutrientes, por sua grande capacidade de produção de massa seca (Sá, 1997) e, conforme Floss (2000), pelo elevado estande de plantas e agressivo sistema radicular. Borkert et al. (2003) verificaram que a aveia preta e a ervilhaca acumulam grande quantidade de potássio, sendo que o acúmulo da primeira foi de 241 kg ha<sup>-1</sup>, no início de enchimento de grãos, com uma produção de 10,33 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca. Para soja, é necessário que se utilize adubação potássica de cerca de 28 kg

ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, para produzir uma tonelada de grãos e que em torno de 60 % deste montante são exportados da área em razão da colheita dos grãos (Bataglia & Mascarenhas, 1977). Os resultados do estudo desses autores indicaram exportações de K no valor de 52 e 39 kg ha<sup>-1</sup>, para o primeiro e o segundo ano agrícola, respectivamente. Já Foloni & Rosolem (2008) encontraram um acúmulo máximo de 120 kg ha<sup>-1</sup> de K pela soja, quando não se aplicou K<sub>2</sub>O no milho, mas foram adicionados 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, no fertilizante para a soja.

Verifica-se que as quantidades de K acumuladas e cicladas pela parte aérea das plantas variam grandemente; isto, provavelmente, em função das diferentes espécies (ou até mesmo cultivares), épocas de avaliação, tipos de solo, adubação, condições climáticas e sistemas de manejo adotados em cada situação, dentre outros. A ciclagem do nutriente e a disponibilidade de K diferem substancialmente entre solos (Kayser & Isselstein, 2005). A influência do sistema de preparo nas propriedades químicas do solo foi estudada por Bayer & Mielniczuk (1997), que constataram, nas áreas manejadas no SPD, maiores concentrações de K trocável e de matéria orgânica nas camadas mais superficiais do perfil. Neste sentido, esses autores verificaram, no transcorrer de cinco anos de cultivo que, devido à adoção do SPD, ocorreram incrementos nos teores de carbono orgânico e da CTC do solo, com reflexos na maior retenção de cátions básicos, como o K.

No atual contexto da agricultura, em que altas produtividades são almejadas, a retirada de nutrientes do sistema, com ênfase para o K, pela exportação nos grãos é bem maior. Desta maneira, é importante que reposições sejam feitas, tanto por adubações, como também, pela manutenção dos resíduos vegetais no solo, para que não haja um déficit do nutriente no sistema. Pois, mesmo em um solo originado de rocha rica em K e ainda pouco intemperizado, a provisão de K seria dependente do grau de utilização do solo pelas culturas, pois o cultivo contínuo sem a devida reposição do nutriente, ocasiona uma diminuição das reservas existentes (Vedum, 1994). Borket et al. (1997) concluem que, mesmo em solos que apresentam alta disponibilidade de K, não podem ser cultivados por mais de dois anos consecutivos com soja sem aplicação do nutriente, pois isso limitaria a produtividade da cultura e causaria um esgotamento do K do solo.

O interesse na dinâmica de nutrientes em pastagens cultivadas tem se intensificado em anos recentes (Mathews et al., 2004). Porém, o sistema de manejo adotado altera expressivamente a dinâmica dos nutrientes no solo, com reflexos bastante significativos a serem considerados nos padrões de adubação (Foloni & Rosolem, 2008). Diante do exposto, fica claro a relevância da dinâmica de K nos sistemas agrícolas, não só a curto, como também a longo prazo, com o objetivo de avaliar a sustentabilidade desses sistemas.

#### **2.4.2. Em integração lavoura-pecuária**

Os trabalhos de pesquisas relacionados à dinâmica de nutrientes em sistemas mais complexos, como o de integração lavoura-pecuária, são escassos, ou até mesmo inexistentes, principalmente no Brasil. Os sistemas de produção com base em pastejo são praticamente auto-sustentáveis, exigindo baixas quantidades de insumos (fertilizantes e corretivos) para repor as quantidades exportadas no produto animal. Assim, a continuidade da produtividade em tais sistemas parece ter condições de se manter em equilíbrio por um longo período de tempo, antes que seja necessária a reposição de nutrientes (Corsi & Martha Jr., 1997).

A ciclagem de nutrientes nos ecossistemas de pastagem é um processo dinâmico que envolve os componentes solo-planta-animal e o seu manejo. Os animais influenciam a ciclagem e a redistribuição de nutrientes pelo consumo dos mesmos, via desfolhação das plantas da pastagem, e pelo seu retorno para o solo, via excreção (Nascimento Jr. & Cavalcante, 2001). O manejo de nutrientes é mais complexo sob pastejo, por causa da distribuição heterogênea dos excrementos animais nas pastagens e os efeitos do pisoteio, que contribuem para a compactação do solo local, e incrementar as perdas de nutrientes (Haynes & Williams, 1993). Por outro lado, a ciclagem de potássio em sistemas mistos de produção é muito importante para o crescimento de plantas e para evitar perdas abaixo da camada superficial do solo (Garcia et al., 2008). Souto (2006) conclui que a presença dos animais (recebendo forragem de milho e ração na alimentação) em sistema de ILP resulta em redução dos teores de fósforo e magnésio e aumento nos teores de potássio, em dez meses de avaliação.

Os herbívoros aceleram a ciclagem de nutrientes através da decomposição e excreção de nutrientes de plantas e através dos efeitos do pastejo e excreta na biota do solo (Bardgett & Wardle, 2003). Nesse sentido, Barber (1968) destaca a importância da microbiota do solo na solubilização, mobilização e transporte de minerais, incluindo o K do solo, pela produção de ácidos orgânicos.

Os efeitos acumulativos das excreções nas propriedades dos solos sob pastagens não são bem descritos ainda, provavelmente pela dificuldade de separar estes efeitos de outras propriedades do sistema solo-planta-animal (Carran & Theobald, 2000). O principal impacto dos sistemas de pastejo e de manejo animal na ciclagem mineral é expresso pelas taxas de consumo da pastagem por unidade de área, distribuição das excretas e efeitos da desfolhação na rebrota do pasto e crescimento do sistema radicular. Sendo o animal móvel no sistema, a ciclagem de nutrientes nos resíduos animais será função dessa mobilidade (Wilkinson & Lowrey, 1973). O valor dos excrementos como fonte de nutrientes depende da distribuição nas pastagens, da categoria e da espécie animal, da quantidade consumida e da composição química das partes da planta que são ingeridas (Souto, 2006). Os nutrientes que retornam à pastagem por meio das fezes e da urina são distribuídos desuniformemente; portanto, esse retorno é influenciado pela taxa de lotação animal, pela forma de pastejo, pela área de descanso, pelo próprio animal (espécie, raça, sexo), pela quantidade e frequência de excreção, pelo sistema de manejo da pastagem, pela localização das aguadas, pela topografia do terreno e pela ocorrência de sombras (Rodrigues et al., 2008).

Cabe ressaltar também que, nesses sistemas de manejo com inserção do animal, como destacado por Monteiro & Werner (1997), a forragem não consumida pelos animais é também uma fonte importante de retorno de nutrientes para o sistema, destacando a distribuição uniforme das plantas na área da pastagem. Assim, as pastagens proporcionam não somente alta produção de massa seca, mas também, principalmente, grande absorção de nutrientes, especialmente de K, contribuindo, desta forma, para que menores perdas ocorram por lixiviação e/ou escoamento superficial, promovendo a ciclagem desse nutriente e, dessa maneira, fazendo com que haja uma contribuição no balanço do mesmo.

Com relação aos estudos sobre balanço de nutrientes em sistemas mais complexos, como integração lavoura-pecuária, no Brasil esses são também escassos ou, até mesmo, inexistentes e necessitam de serem feitos, para que se verifique a real contribuição do sistema, afim de que se possa saber se estão havendo incrementos, não somente econômicos, como também ambientais. Cálculos de fluxos e balanço de nutrientes em sistemas de produção agrícola fornecem informações básicas para a avaliação da sustentabilidade do sistema a longo prazo (Gustafson et al., 2006). Quando as saídas, de um elemento particular, na propriedade se igualam às entradas, esta é considerada ser uma situação sustentável para o ambiente a respeito de um específico elemento (Oenema et al., 2003). Para Krauss (2003), existe a necessidade de investigar o impacto de balanço negativo de nutrientes na condição de longo prazo de diferentes frações de K do solo.

No balanço de nutrientes, as entradas no sistema são derivadas de sementes, de fertilizantes, de deposições atmosféricas, de esterco e de urina de animais e de outros fluxos. Já os fluxos de saída, são oriundos de cortes de culturas, de lixiviação, da exportação pelos grãos e do pastejo dos animais, dentre outros. No estudo de Andrist-Rangel et al. (2007), em três locais no sul da Suécia, por 18 anos, encontraram um balanço negativo de K, em que as saídas foram bem maiores do que as entradas, para todos os locais, com um déficit de K variando entre - 27 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (sistema não orgânico) a - 96 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (sistema orgânico).

A produção de grãos também pode beneficiar-se do sistema de ILP, principalmente quando em pastejo direto em forragens anuais semeadas em áreas de produção de grãos, devido à melhoria do estado biológico do solo e ciclagem de nutrientes (Oliveira, 2008). Ruedell (1996) obteve aumento de até 24 % na produção de grãos em áreas pastejadas comparado com a produção de grãos em áreas não pastejadas. Consalter (1998) demonstra que a produtividade da soja não foi afetada com a entrada dos animais em pastejo no inverno em áreas destinadas à lavoura no verão.

Dessa maneira, em função dos benefícios e das particularidades advindos da adoção do sistema de ILP, a dinâmica do K deve ser mais bem estudada e entendida com vistas ao alcance da sustentabilidade desses sistemas de manejo.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Histórico do experimento**

##### **3.1.1. Implantação e condução**

O experimento está sendo conduzido desde 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 29° 03' 10" S, longitude 53° 50' 44" W e uma altitude de 465 m. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico (EMBRAPA, 2006), da unidade de mapeamento Santo Ângelo, profundo, bem drenado e textura muito argilosa (0,54 kg kg<sup>-1</sup> de argila, 0,27 kg kg<sup>-1</sup> de silte e 0,19 kg kg<sup>-1</sup> de areia). Possui como substrato rochas eruptivas básicas, principalmente basalto, clima subtropical úmido, sem estiagem, temperatura média de 19 °C e precipitação média anual de 1850 mm (Brasil, 1973). O relevo é ondulado a suavemente ondulado e a localização na paisagem é topo de colina, com declividade entre 0,02 a 0,10 m m<sup>-1</sup> (Conte, 2007). Previamente à instalação do experimento, a área experimental foi cultivada em sistema de plantio direto desde 1991, com a cultura da soja (*Glycine max*) para produção de grãos no verão e aveia preta (*Avena strigosa*) para produção de sementes no inverno.

O pastejo na área iniciou no outono de 2000, sendo semeada uma mistura de aveia + azevém (*Lolium multiflorum* L.) e, posteriormente, em novembro, foi efetuada amostragem do solo para sua caracterização física e química e implantada a cultura da soja. Após sua colheita, foi estabelecida

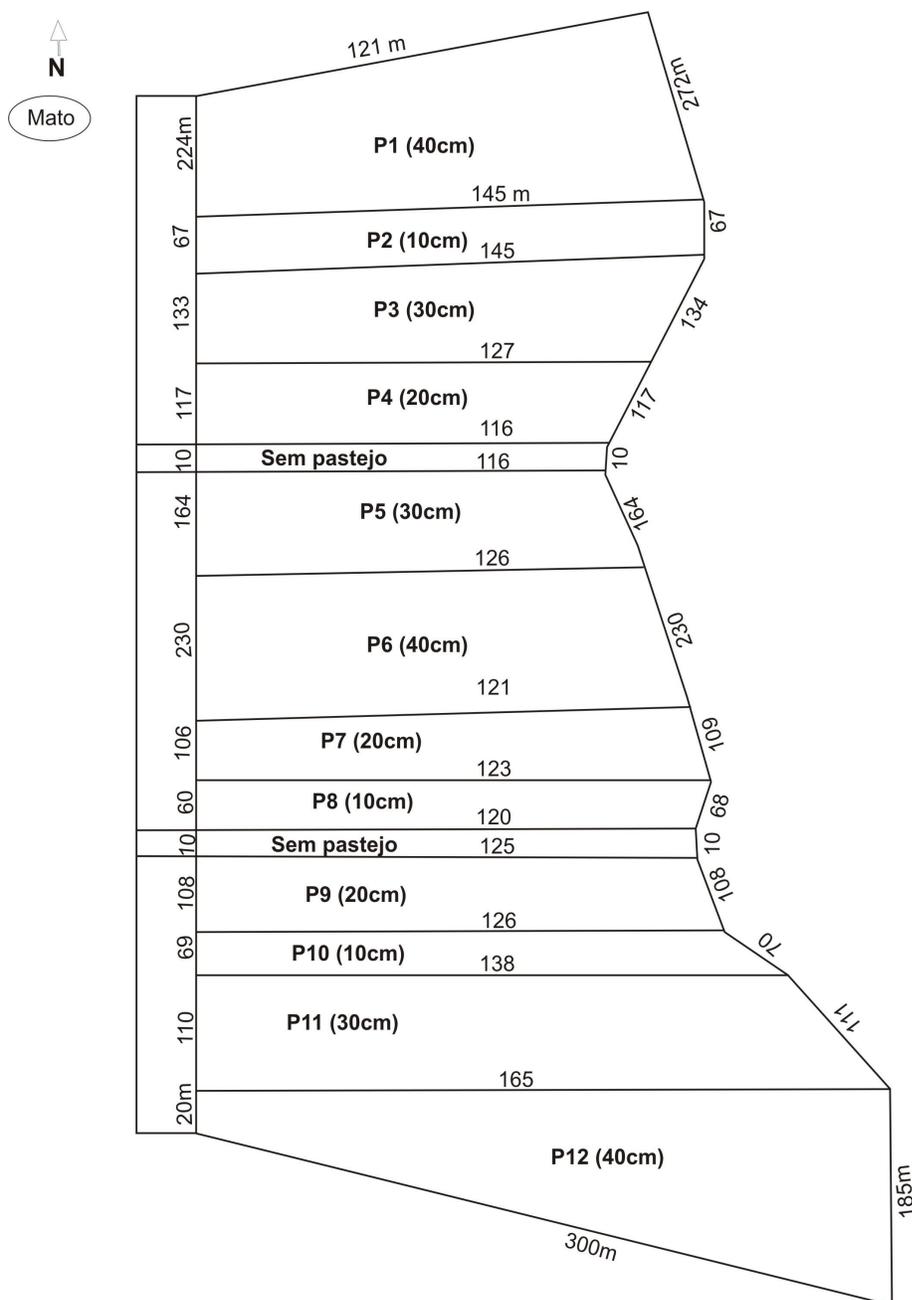
novamente a pastagem de aveia preta + azevém. Com isso, o experimento iniciou-se em maio de 2001 com a implantação das espécies de inverno: aveia preta ( $100 \text{ kg sementes ha}^{-1}$ ) em adição ao azevém (ressemeadura natural). A área experimental (Figura 1) total é de aproximadamente 22 hectares, com a divisão da mesma em 12 parcelas (P), com áreas que variam de 0,9 a 3,5 hectares, aproximadamente, em função dos tratamentos aplicados.



**FIGURA 1.** Vista geral da área experimental, Fazenda do Espinilho em São Miguel das Missões/ RS.

### 3.1.2. Tratamentos

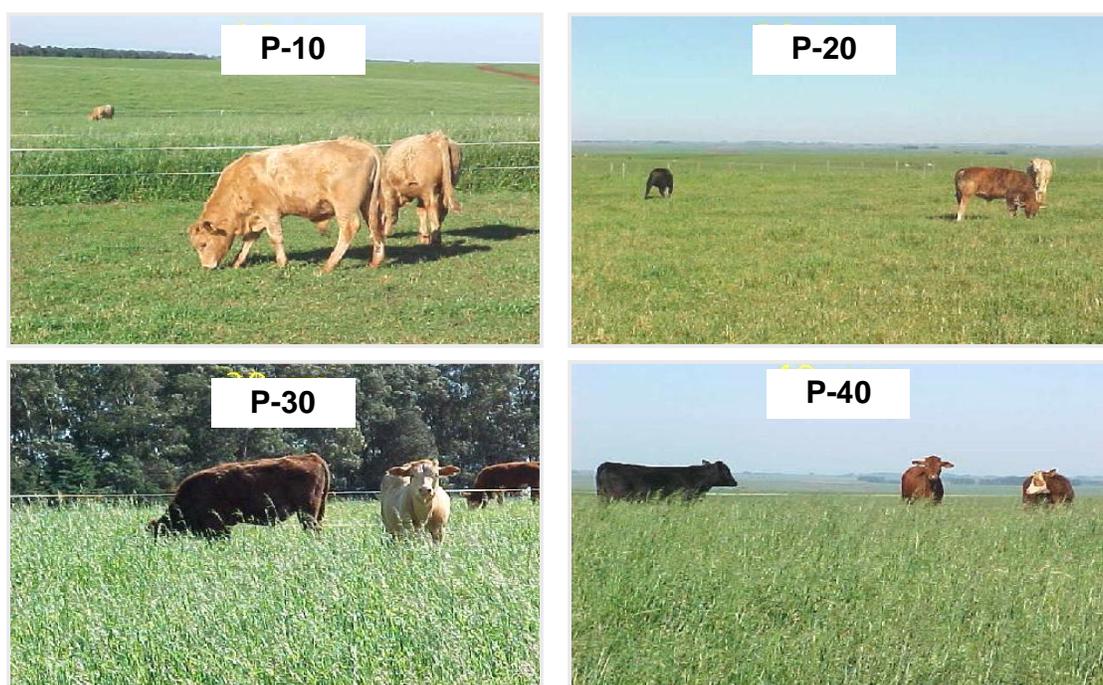
Os tratamentos constam de diferentes intensidades de pastejo: altura de pasto a 10 cm (P-10), a 20 cm (P-20), a 30 cm (P-30) e a 40 cm (P-40), distribuídos num delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições (Figura 2). As intensidades de pastejo são obtidas variando-se a carga animal, conforme as alturas obtidas: retirando-se animais das parcelas quando a altura real está menor que a pretendida e vice-versa. Como testemunha, utilizam-se as áreas entre os blocos em que são aplicados os tratamentos, sendo o pastejo excluído dessas áreas.



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

Têm-se utilizado bovinos jovens (Figura 3), com idade ao redor 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 ao redor de 190 kg (Lopes et al., 2008). A altura do pasto é determinada por meio de um bastão graduado (*Sward stick*), cujo marcador corre por uma “régua” até tocar a primeira lâmina foliar, procedendo-se então à leitura da

altura (Barthram, 1981). O controle da altura do pasto é feito em intervalos de 15 dias aproximadamente. A leitura é realizada em 100 pontos dentro de cada parcela, em caminhamento aleatório, a fim de definir a altura média do pasto. O método de pastejo adotado é o contínuo com lotação variável, composta por três animais-teste por parcela e animais reguladores, técnica *put-and-take* (Mott & Lucas, 1952). Os animais entram na área quando a pastagem atinge um acúmulo médio de aproximadamente 1,50 Mg de MS ha<sup>-1</sup>. De maneira geral, os animais iniciam o ciclo de pastejo na primeira quinzena de julho, que se estende até a primeira quinzena de novembro.



**FIGURA 3.** Intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) bovino em uma pastagem de aveia preta + azevém em plantio direto. Foto: Cassol (2003).

Após o término de cada ciclo de pastejo e a cada ciclo da cultura da soja, são realizadas amostragens de solo para avaliação de atributos químicos e físicos do solo, as quais ocorrem nos meses de maio e de novembro. Esse cronograma tem sido executado desde maio de 2002.

### 3.1.3. Calagem e adubação

As características químicas iniciais do solo da área experimental estão apresentadas na Tabela 1. Antes da implantação do primeiro ciclo da cultura da soja, em novembro de 2001, foi feita uma aplicação superficial de calcário em toda área, na dosagem equivalente a 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> (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.

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

Camada cm	pH- H <sub>2</sub> O	Índice SMP	CO <sup>(1)</sup> G kg <sup>-1</sup>	Cátions trocáveis <sup>(2)</sup>				P <sup>(3)</sup> .. mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>(3)</sup>
				Ca	Mg	Al	H+Al		
0,0-5,0	4,9	5,2	42,2	6,20	1,26	0,30	8,68	13,4	240
5,0-10,0	4,6	5,1	34,8	4,80	1,78	0,59	9,72	9,8	119
10,0-15,0	4,6	5,1	25,5	4,10	2,15	0,72	9,72	5,2	88
15,0-20,0	4,6	5,0	25,5	4,00	1,1	1,01	10,1	3,7	55

<sup>(1)</sup> Carbono orgânico; <sup>(2)</sup> Extração com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>(3)</sup> Método Mehlich 1. Fonte: Cassol (2003).

As adubações constam, basicamente, da aplicação de fósforo e nitrogênio na pastagem e de fósforo e potássio para uma produtividade de soja de 4,0 Mg ha<sup>-1</sup> (CQFS-RS/SC, 2004), considerando-se os valores de análise do solo. Na implantação da pastagem (maio/2001), não se procedeu nenhum tipo de adubação de base, apenas aproveitando-se o residual da adubação fornecida para a soja na safra anterior (2000/01). Uma adubação nitrogenada de cobertura foi realizada 40 dias após a implantação da pastagem, utilizando-se 45 kg de N ha<sup>-1</sup> tendo como fonte a uréia. Em dezembro de 2001, procedeu-se a semeadura da soja, com sementes inoculadas com Seltec, um inoculante líquido, utilizando-se uma dose por saca de 60 kg de soja. Nesse momento, fez-se a adubação de base, utilizando-se 300 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples. Na introdução do segundo cultivo da pastagem, em maio de 2002, a adubação de base foi de 300 kg de superfosfato simples ha<sup>-1</sup> e, 40 dias após a semeadura da mesma, fez-se uma adubação nitrogenada de cobertura aplicando-se 45 kg de N ha<sup>-1</sup> na forma de uréia. Em dezembro de 2002, foi iniciado o segundo cultivo da soja, utilizando-se uma adubação de base de 300

kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 0-20-30 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) e a adição de inoculante às sementes. Nas safras 2003/04, 2004/05 e 2005/06 foram utilizados 300 kg ha<sup>-1</sup> das fórmulas 5-20-20, 0-20-30 e 0-20-30, respectivamente, mais a adição de inoculante às sementes. A partir da safra 2006/07, as adubações foram as seguintes: 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 0-20-20 na implantação da cultura da soja (novembro) mais a utilização do inoculante junto às sementes e, passou-se a não realizar mais adubação na implantação da pastagem (maio), utilizando somente 45 kg de N ha<sup>-1</sup> de cobertura na forma de uréia.

### **3.2. Etapa experimental referente ao presente trabalho**

#### **3.2.1. Condução da pastagem**

Uma semana depois de colhida a soja (maio de 2007) foi implantada, em semeadura direta, a pastagem de inverno, composta por 100 kg ha<sup>-1</sup> de aveia preta (cultivar IAPAR-61) e 25 kg ha<sup>-1</sup> de azevém (comum), utilizando um espaçamento de 17 cm. Não se procedeu nenhuma adubação na implementação da pastagem, porém, foram aplicados 45 kg de N ha<sup>-1</sup>, na forma de uréia, em cobertura (40 dias após o plantio).

O início do pastejo na área experimental ocorreu no dia 14/07/07, momento em que a pastagem apresentava um acúmulo de massa seca de 1,28 Mg ha<sup>-1</sup>, e se estendeu até 09/11/07, totalizando 118 dias, quando os animais foram retirados, pesados e abatidos. O método de pastejo adotado foi o contínuo, utilizando-se bovinos machos com idade média inicial de dez meses, com peso inicial ao redor de 190 kg, sem raça definida, oriundos da própria fazenda.

#### **3.2.2. Condução da soja**

A cultura da soja foi implantada na segunda quinzena do mês de novembro de 2007, em semeadura direta, em que foi utilizada uma adubação de base com 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 0-20-20 mais o inoculante junto às sementes. A cultivar de soja utilizada foi a *Iguaçu*, caracterizada por apresentar ciclo precoce e crescimento indeterminado, que foi colhida na primeira

quinzena do mês de maio 2008. O espaçamento utilizado na cultura foi de 0,45 m, com 18 sementes por metro linear, totalizando 400 mil sementes por hectare. A condução e os tratos culturais da soja seguiram as recomendações técnicas (REUNIÃO, 2004).

### **3.2.3. Amostragens, análises e determinações**

#### **3.2.3.1. Solo**

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

A amostragem de solo foi feita em oito pontos por parcela, formando, assim, uma amostra composta representativa do tratamento, o qual tem três repetições de campo. Para a coleta dessas amostras de solo foram utilizados uma pá de corte até a profundidade de 20 cm e um trado holandês para a coleta de 20 a 40 cm de profundidade. Após a coleta, as amostras foram transportadas em sacos plásticos até o Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRGS, secas ao ar, passadas em peneiras de 2 mm. Foram avaliados os teores de K, Ca e Mg trocáveis, índice SMP e o teor de carbono orgânico do solo. O K foi extraído com a solução de duplo ácido (Mehlich 1) e determinado no fotômetro de chama; já o Ca e Mg foram extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinados por espectrometria de absorção atômica. O índice SMP foi determinado em solução tampão SMP utilizando-se potenciômetro, conforme metodologia proposta por Shoemaker et al. (1961). Com os valores de índice SMP, foram estimados os valores de H+Al pela equação ( $\log(H + Al) = 3,020 - 0,371 \text{ SMP}$ ) sugerida por Kaminski et al. (2002). Com os resultados dos teores de Ca, Mg, H+Al (Apêndice 2) e K obteve-se a capacidade de troca de cátions do solo ( $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ ). O carbono orgânico (CO) do solo foi determinado pelo

método Walkley-Black (com calor externo), através da titulação com  $\text{FeSO}_4$   $0,25 \text{ mol}_c \text{ L}^{-1}$ , descrito por Allison (1965). Todas essas determinações foram efetuadas conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

Para avaliação do K disponível do solo no tempo, utilizou-se os teores até a profundidade de 20 cm, pois em maio de 2001 e de 2007 só haviam sido realizadas coletas de amostras até a profundidade de 25 e 20 cm, respectivamente. Também, nessa análise temporal, não foram incluídos os teores de K do tratamento 30 cm (P-30), pois não foi feita a coleta das amostras desse tratamento em maio de 2007.

### **3.2.3.2. Pastagem**

Em novembro de 2007, foram coletadas amostras de material vegetal da pastagem (aveia preta + azevém) e do mantilho remanescente, para determinação dos respectivos rendimentos de massa seca, utilizando um quadrado de área conhecida ( $0,25 \text{ m}^2$ ) em cinco pontos por parcela. Nessas amostras, após secas em estufa a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  até peso constante e moídas, foram determinados os teores de potássio por fotometria de chama, após digestão do tecido vegetal com  $\text{H}_2\text{O}_2$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e diluição do extrato. As análises de tecido vegetal foram realizadas conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

Para o cálculo da produção acumulada de massa seca da parte aérea da pastagem, utilizaram-se as amostras coletadas em gaiolas, isoladas do pastejo, e fora das mesmas, em quatro épocas (julho, setembro, outubro e novembro) no período de pastejo. Com posse dos valores de produção acumulada de cada tratamento, multiplicaram-se os mesmos pelos respectivos teores de K encontrados na massa seca da pastagem coletada em novembro de 2007, obtendo-se assim a quantidade de K acumulada em cada parcela durante todo o período de pastejo.

### 3.2.3.3. Animais e dejetos

Para se obter as quantidades de K exportadas pelos animais, considerou-se o ganho de peso vivo dos mesmos em cada tratamento ( $\text{kg PV ha}^{-1}$ ) e um teor médio de K no tecido animal ( $3,5 \text{ g K kg}^{-1} \text{ PV}$ ) obtido em Price & Schweigert (1994). Considerou-se, conforme Wilkinson & Lowrey (1973), que os valores estimados das quantidades de K exportadas pelos animais representariam 10 % de todo o K ingerido. Dessa forma, calculou-se, a partir desses valores, que 90 % do K ingerido estaria sendo retornado pelos animais através das fezes e urina, obtendo-se as quantidades acumuladas nos dejetos animais.

### 3.2.3.4. Soja

Foram realizadas coletas de amostras de soja em maio de 2007 (safra 2006/07) e em maio de 2008 (safra 2007/08), perfazendo a avaliação de um ciclo de integração lavoura-pecuária (2007/08).

Nas amostras de soja, no final do seu ciclo, foram determinados o rendimento de grãos e a produção de massa seca da parte aérea. Nessas amostras, foram determinados os teores de potássio, tanto na parte aérea, para conhecer a quantidade de K que retorna ao sistema através dos resíduos, quanto nos grãos, a fim de saber a quantidade exportada. Foram amostradas plantas contidas em um metro linear e este procedimento foi repetido por dez vezes em cada parcela. Os grãos foram trilhados e secos em estufa a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  até peso constante e determinado seu rendimento com relação à sua massa com teor de umidade ajustado para 13 %. Tanto na massa seca da parte aérea como na dos grãos da soja, foram determinados os teores de K por digestão das amostras de tecido vegetal com  $\text{H}_2\text{O}_2$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e determinados por fotometria de chama, após diluição do extrato. As análises de tecido vegetal foram realizadas conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

### **3.2.3.5. Balanço de potássio no sistema**

Para o cálculo do balanço de K no sistema de ILP considerou-se duas situações. A primeira foi considerada como sendo um “balanço na propriedade”, em que foi contabilizado como entrada, o K advindo das adubações, e, como saídas, o K exportado pelos grãos de soja (safra 2007/08) e pelos animais. Na segunda situação, considerada como sendo “balanço no campo”, em que se considerou o K inicial, do solo da camada de 0 a 20 cm mais o K presente na massa seca da parte aérea da soja (maio de 2007), e o K final, do solo mais o K presente na massa seca da parte aérea da soja (maio de 2008). Em ambas avaliações de balanço, foi excluído o tratamento 30 cm (P-30), pois em maio de 2007 não houve amostragem de solo nessa parcela.

### **3.2.3.6. Análises estatísticas**

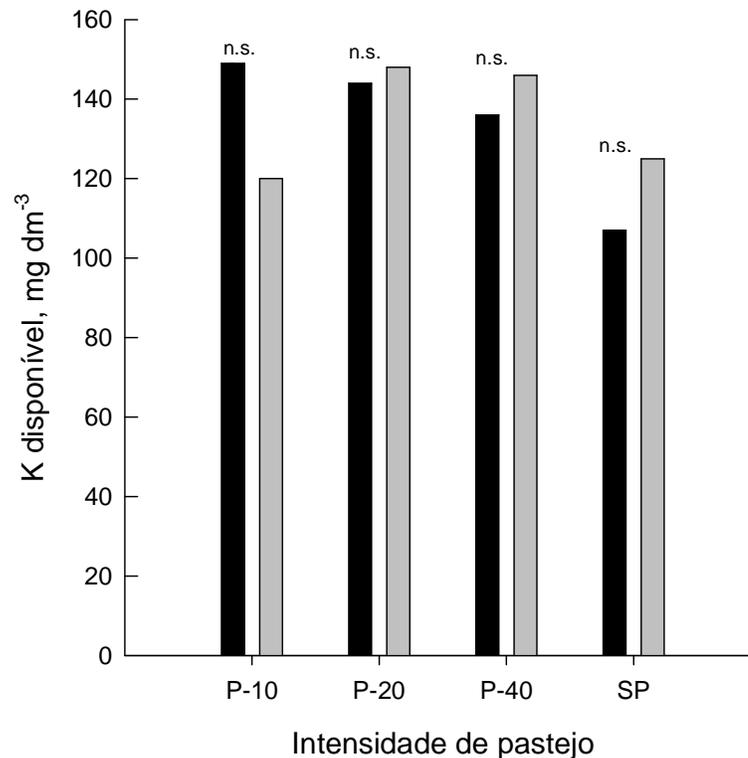
Os resultados obtidos, quando pertinente, foram submetidos à análise de variância (Teste F) e teste de comparação de médias (Tukey 5 %), utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000). Para as variáveis de solo (K, CTC e carbono orgânico), avaliaram-se os efeitos simples e a interação entre os tratamentos (intensidades de pastejo) e as profundidades, em cada época. No caso da avaliação das variáveis no tempo, fez-se a comparação de cada tratamento nas diferentes épocas de estudo.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Evolução de potássio do solo no sistema**

#### **4.1.1. Ao longo do tempo**

Os teores de K disponível no solo eram originalmente altos ( $> 90 \text{ mg dm}^{-3}$  de K), conforme a CQFS RS/SC (2004) e assim se mantiveram ao longo do tempo de execução do trabalho (Figura 4). Com exceção do tratamento com maior intensidade de pastejo (P-10), que apresentou tendência de redução ( $P>0,05$ ), todos os outros apresentaram valores numericamente mais elevados ( $P>0,05$ ) no teor de potássio disponível no solo ao longo do tempo.. Essa “redução” verificada no tratamento P-10 deve, possivelmente, ser resultado do manejo mais agressivo ao sistema nesse tratamento, o que pode ter causado perdas do elemento. Menores teores de K extraível do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária com pastagens de inverno em relação a sistemas que mantinham apenas culturas de grãos foram observados por Fontaneli et al. (2000). Estes autores atribuíram o fato, à absorção e à exportação de nutrientes pela forragem consumida pelos animais durante os pastejos realizados no inverno. Porém, a exportação de K da forragem via carcaça dos animais é pequena, pois, como salientado por Wilkinson & Lowrey (1973), uma alta fração de K ingerido (90 %) é excretada na urina.

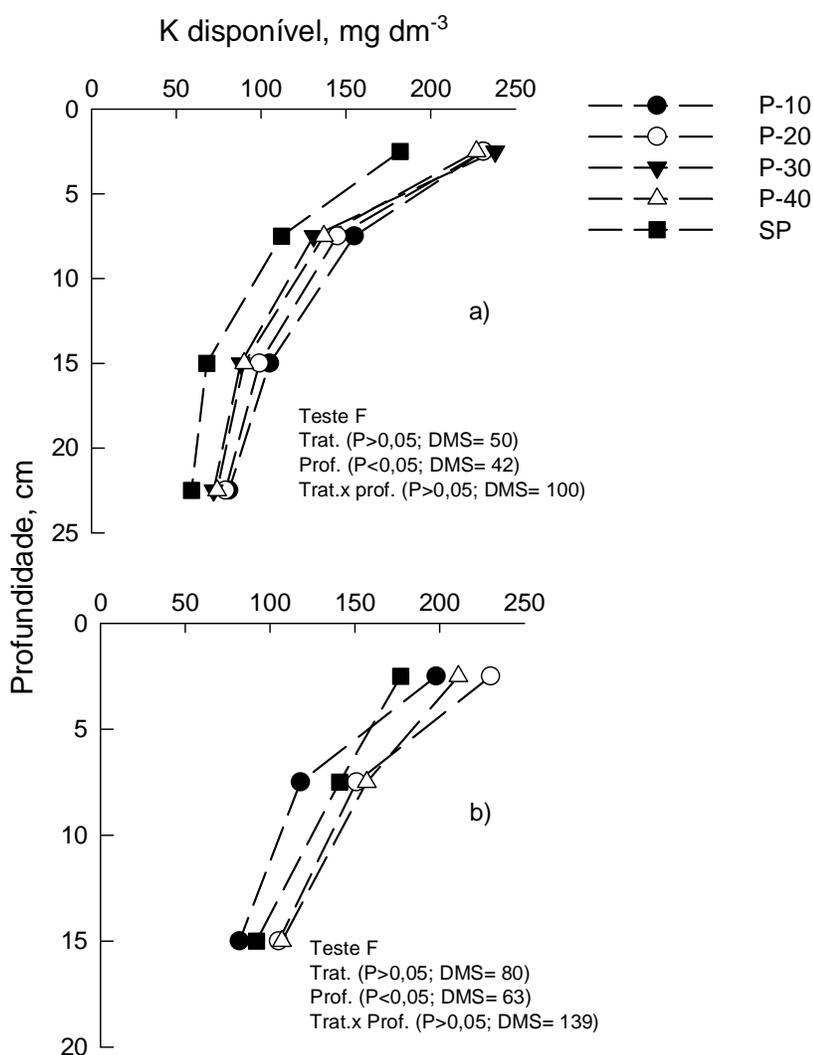


**FIGURA 4.** Teores de potássio disponível (Mehlich 1) na camada de 0-20 cm sob intensidades de pastejo (P-10; P-20 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em maio de 2001 e de 2007. n.s.= não significativo ( $P>0,05$ ), dentro de cada tratamento, pelo teste F.

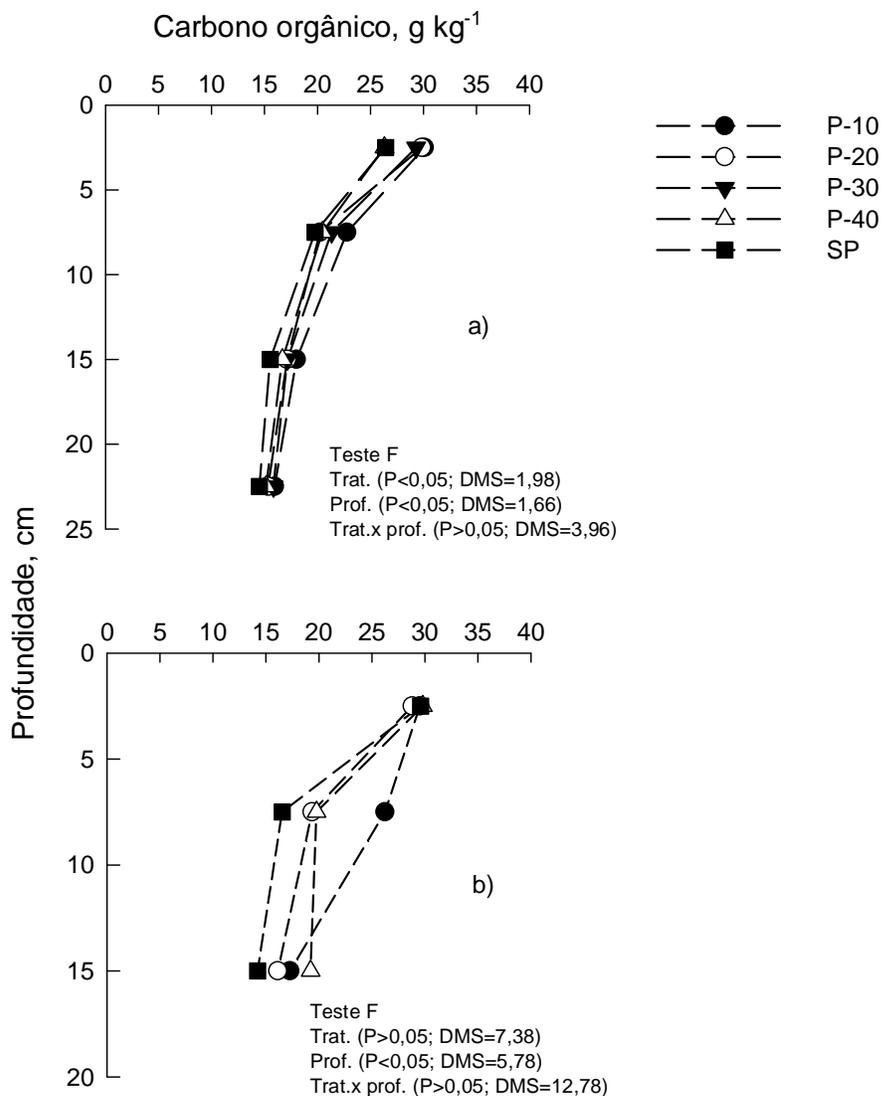
O tratamento P-10 é o que apresenta um maior número de animais por área e também um dos de maior retorno de K via dejetos, principalmente pela urina. Esse nutriente, estando na forma iônica, solúvel em água, é prontamente disponível para absorção das plantas (Haynes & Williams, 1993) e está também mais susceptível a perdas, por erosão ou lixiviação, uma vez que praticamente todo potássio das fezes de bovinos é solúvel em água (Davies, 1962), citado por Haynes & Williams (1993). Lustosa (1998), por sua vez, encontrou um acúmulo grande de potássio no solo de um ano para o outro, especialmente nos locais de concentração dos dejetos, cujos teores praticamente dobraram, inclusive em profundidade, sugerindo que podem ocorrer lixiviação do elemento em áreas de pastejo intenso, como deve ter ocorrido no tratamento P-10 no presente trabalho.

Menores teores de potássio em profundidade ocorreram em todas as intensidades de pastejo e também na área sem pastejo, nas duas épocas de avaliação, formando gradientes acentuados de K a partir da superfície do solo

(Figuras 5a, b). Esta é uma característica comum em sistemas plantio direto consolidado, como no presente caso, que acontece paralelamente ao gradiente de carbono orgânico (Figuras 6a, b), que se forma nesse sistema e é função do gradiente de capacidade de troca de cátions (Figuras 7a, b), como também mencionado por Mielniczuk (2005) e Anghinoni (2007).

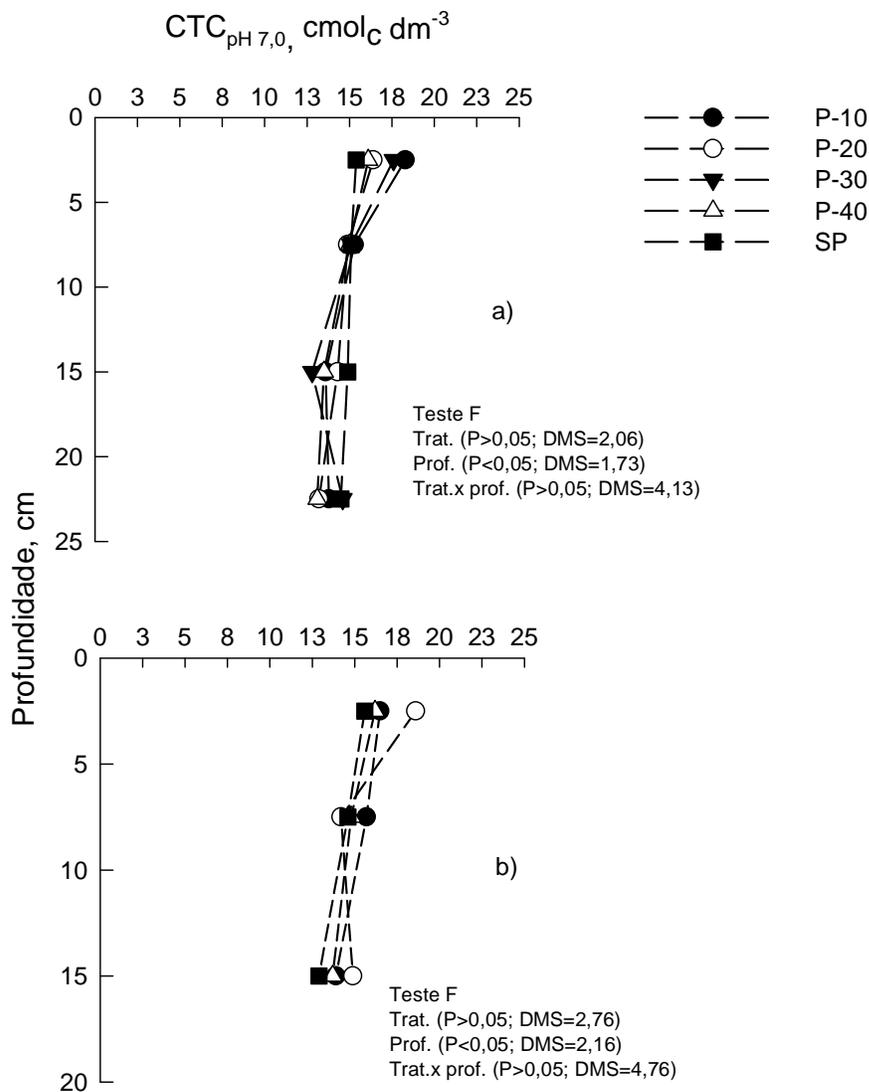


**FIGURA 5.** Teores de potássio disponível (Mehlich 1) no perfil do solo sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em (a) maio de 2001 e (b) maio de 2007. Trat.= tratamento; Prof.= profundidade; DMS= diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.



**FIGURA 6.** Teores de carbono orgânico no perfil do solo sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em (a) maio de 2001 e (b) maio de 2007. Trat.= tratamento; Prof.= profundidade; DMS= diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Vale ressaltar que no início do experimento (maio de 2001), o teor de potássio no tratamento testemunha (sem pastejo-SP) era de 33 mg dm<sup>-3</sup> mais baixo em todo o perfil do solo (P>0,05) que a média dos demais tratamentos (Figura 5a). 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 (22 ha), que pode ser considerada grande.



**FIGURA 7.** Capacidade de troca de cátions ( $CTC_{pH\ 7,0}$ ) no perfil do solo sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em (a) maio de 2001 e (b) maio de 2007. Trat.= tratamento; Prof.= profundidade; DMS= diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Com relação à influência das intensidades de pastejo nos teores de potássio disponível no perfil do solo (Figura 5), somente na coleta de maio de 2007 (Figura 5b), esses eram aparentemente menores nas camadas mais inferiores no tratamento com maior intensidade de pastejo (P-10). Por outro lado, os valores foram numericamente maiores nos tratamentos de intensidade leve (P-40) e moderada (P-20), principalmente nas camadas superficiais do solo (0-5 e 5-10 cm). No estudo de Santos et al. (2003), os teores de K trocável do solo diferiram entre sistemas de produção, sendo mais elevados nas

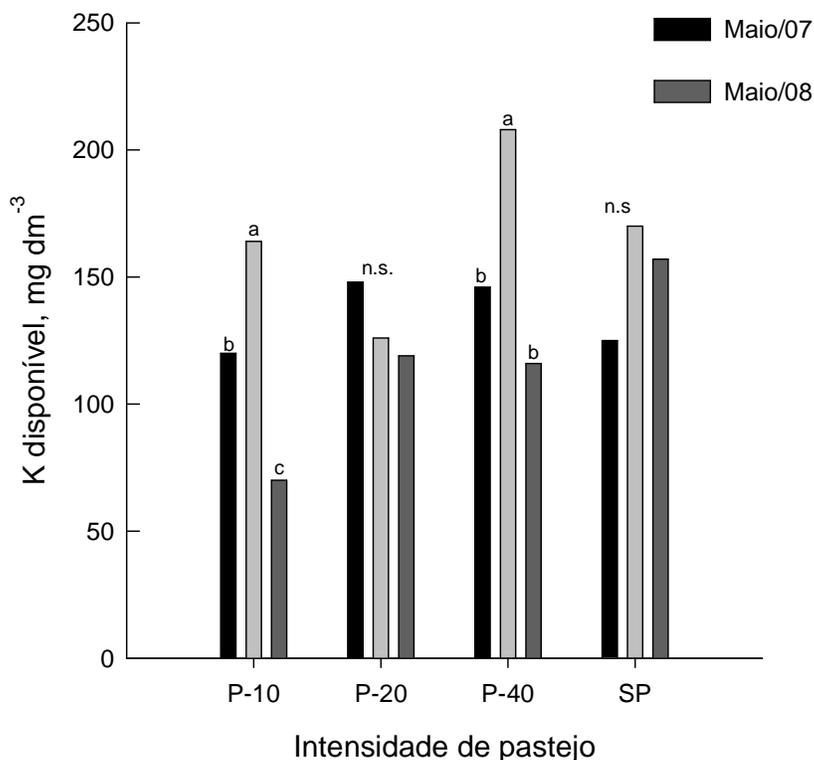
camadas de 0-5 a 10-15 cm no sistema com alfafa em relação a outras pastagens anuais de inverno e pastagens perenes, após oito anos de cultivo. Os autores relacionaram a superioridade apresentada pelo sistema com alfafa à adubação de manutenção ou pelo resíduo cultural dessa leguminosa. Verificaram, também, diferenças no teor de K trocável entre todas as profundidades de amostragem de solo de todos os sistemas de produção avaliados.

#### **4.1.2. Em um ciclo de integração lavoura-pecuária**

Na comparação dos teores de K, nas diferentes intensidades de pastejo, em maio, após soja, e novembro, após pastejo, em 2007 (Figura 8), observa-se que, com exceção do tratamento P-20, todos os demais apresentaram aumento (P-10 e P-40) ou tendência de aumento (SP). O comportamento diferenciado de redução numérica apresentado pelo tratamento P-20, não era esperado visto que, pela dinâmica do nutriente no sistema pastagem-animal, haveria aumento do seu teor no solo ao final do ciclo da pastagem. A possibilidade de erro analítico foi descartada, pela repetição dos valores dos dados na re-análise das amostras, o que leva a crer que pode ter ocorrido algum problema na amostragem nesse tratamento (P-20), o que indica a necessidade da continuidade do presente trabalho ao longo do tempo.

Vale destacar que os teores mais elevados de K para a maioria dos tratamentos na época de retirada dos animais da pastagem (novembro de 2007), em relação aos coletados imediatamente após a colheita da soja (maio de 2007), evidencia a grande capacidade das pastagens e também, provavelmente, o próprio efeito dos animais, na ciclagem do K, como também demonstrado por Braz et al. (2002). Neste trabalho, com *Brachiaria decumbens*, na Zona da Mata de Minas Gerais, as concentrações de potássio nas fezes de novilhas foram em torno de  $3,1 \text{ g kg}^{-1}$  e o retorno diário do nutriente pelas mesmas foi estimado em  $6,12 \text{ g animal}^{-1}$ . Da mesma forma, Santos et al. (2003) observaram aumento nos teores de potássio trocável em sistemas que utilizavam pastagem. Correa & Reichardt (1995) também destacam que as concentrações de potássio são altas no solo sob pastagem quando comparadas ao solo sob floresta. E, por fim, para enfatizar a importância das pastagens na ciclagem de potássio, Garcia et al. (2008)

destacam que as pastagens usadas como plantas de cobertura são eficientes na extração de K do solo e na ciclagem em sistemas de rotação de culturas.



**FIGURA 8.** Teores de potássio disponível (Mehlich 1) na camada de 0-20 cm sob intensidades de pastejo (P-10; P-20 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) nos meses de maio e novembro de 2007 e maio de 2008.  $P < 0,05$  (P-10 e P-40) e n.s. (não significativo)- $P > 0,05$  (P-20 e SP) pelo teste F; Médias com a mesma letra, em cada tratamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Comparando-se, na Figura 8, os teores de K após o ciclo de pastejo (novembro de 2007) com os teores encontrados após o ciclo da soja (maio de 2008), verifica-se uma redução em alguns tratamentos (P-10 e P-40).. Isto 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 observar que no tratamento sem pastejo (SP), ao contrário dos demais, os teores de K tiveram uma tendência contrária (Figura 8), quando comparados com os do início (maio de 2007) e no final do ano de avaliação (maio de 2008). Apesar do tratamento sem pastejo (SP) apresentar

uma produção similar de massa seca da parte aérea da pastagem (Tabela 2), devem estar ocorrendo menores perdas nesse tratamento.

**TABELA 2.** Produção acumulada de massa seca da parte aérea (MSPA) e do mantilho (MSMANT) e teores de K na parte aérea (K PA) e no mantilho (K MANT) da pastagem sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em novembro de 2007

Intensidade de pastejo	Pastagem			
	MSPA P>0,05	MSMANT P>0,05	K PA P<0,05	K MANT P>0,05
	----- Mg ha <sup>-1</sup> -----		----- g kg <sup>-1</sup> -----	
P-10	7,85	1,87	22,33 a	2,00
P-20	7,19	2,07	15,33 ab	2,67
P-30	6,92	2,26	10,67 b	3,00
P-40	7,68	2,39	9,67 b	4,67
SP	6,06	2,90	9,33 b	2,33
Média	7,14	2,30	13,47	2,93
DMS	3,44	1,22	7,41	4,26
CV (%)	17,09	18,84	19,51	51,51

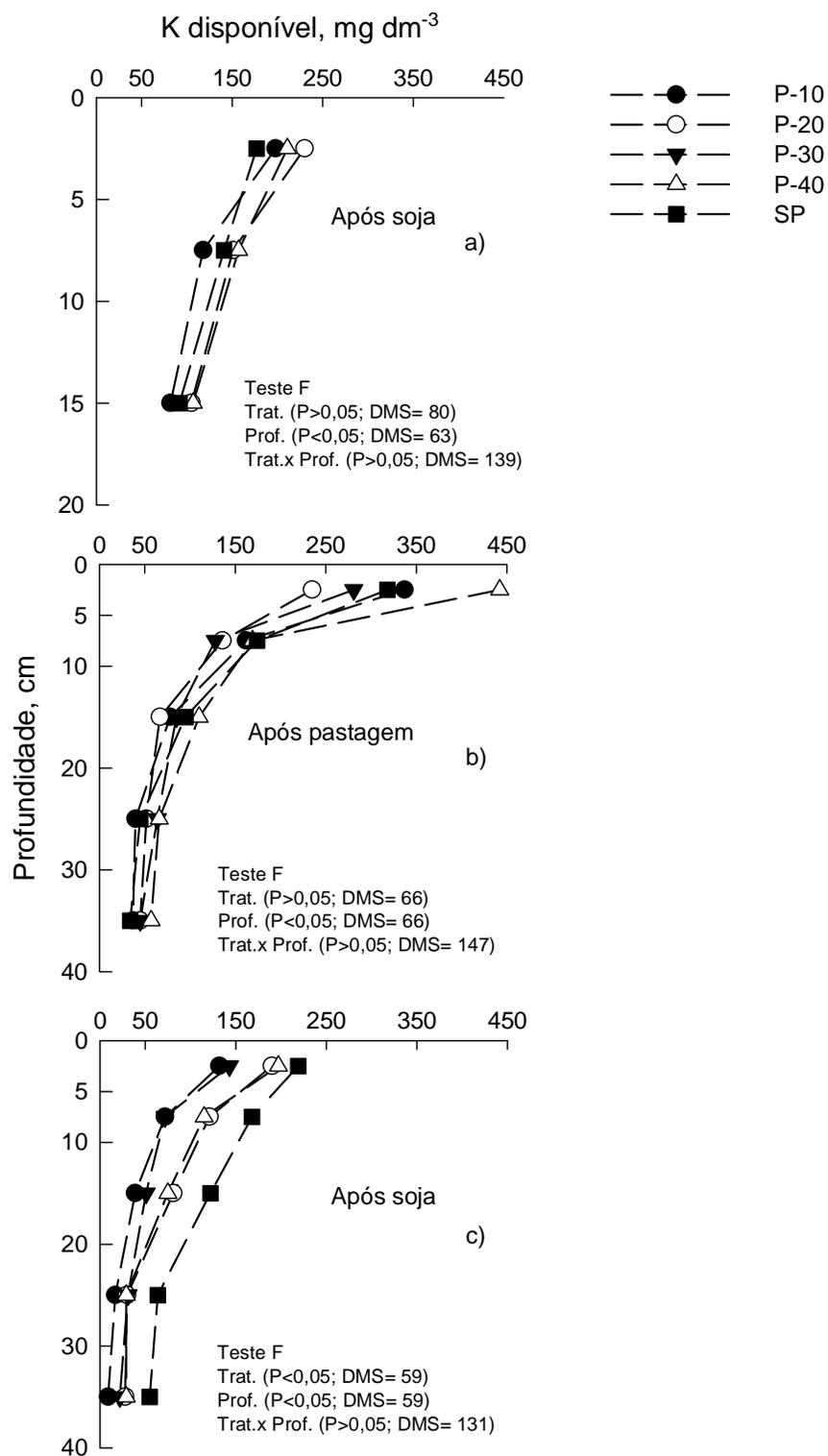
P= significância pelo teste F. Médias de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

As perdas de K podem ocorrer por lixiviação, água de escoamento ou erosão; no caso da área sem pastejo (SP) pode estar ocorrendo menores perdas do nutriente, pois nas áreas que possuem animais ocorre uma maior concentração de K, sendo que esse 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 uma maior cobertura do solo 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 forragem não consumida pelos animais é uma fonte importante de retorno de nutrientes para o sistema, destacando a distribuição uniforme das plantas na área da pastagem.

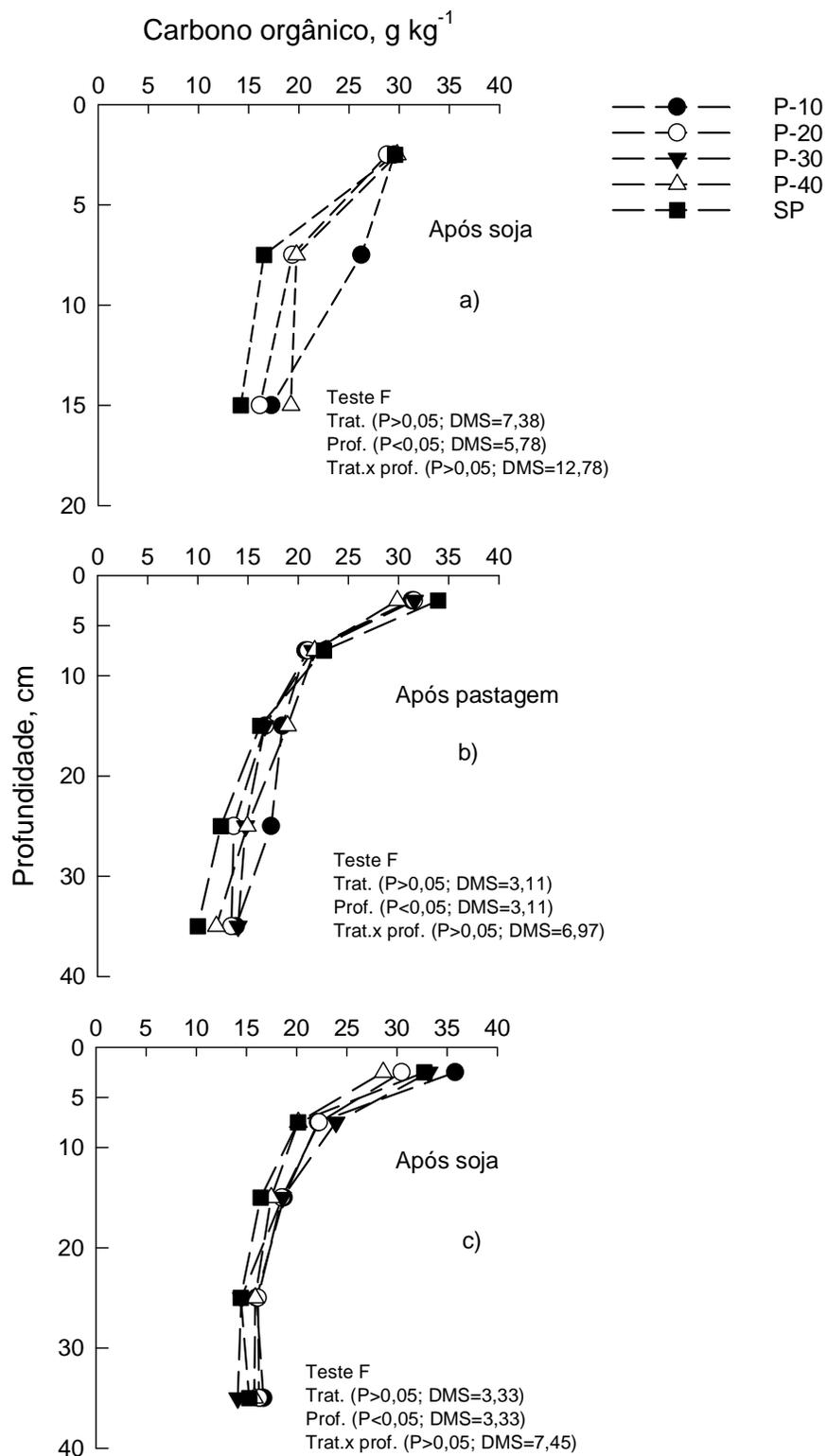
Com relação à distribuição dos teores de K no perfil do solo, nas três épocas de avaliação (Figura 9), verifica-se gradientes de concentração diferenciados, sendo maiores após o ciclo da pastagem (Figura 9b) em relação ao final do ciclo da soja (Figuras 9a, c). Conforme visto anteriormente e citado

por Mielniczuk (2005) e Anghinoni (2007), os gradientes formados ocorrem em paralelo aos gradientes de carbono orgânico (Figuras 10a, b e c), que se formam no sistema de plantio direto, como no presente caso, e estão relacionados à capacidade de troca de cátions, porém não claramente evidenciados no caso presente (Figura 11a, b e c). Incrementos no teor de matéria orgânica resultam em aumento da capacidade dos solos para reter cátions que podem lixiviar, porém disponibilizando-os para absorção das plantas (Wilkinson & Lowrey, 1973). A matéria orgânica do solo é responsável por grande parte (até 70 %) da capacidade de troca de cátions dos solos tropicais (Silva et al., 2004). Bayer & Mielniczuk (1997) constataram, nas áreas manejadas no SPD, maiores concentrações de K trocável e de matéria orgânica nas camadas mais superficiais do solo. Esse gradiente de concentração, característico do SPD, é resultante da aplicação superficial de fertilizantes, do não revolvimento do solo e da manutenção da palhada na superfície do mesmo. As plantas de cobertura podem ser também importantes na ciclagem de potássio que chega ao solo pela lavagem do dossel pelas chuvas (Garcia et al., 2008); isto 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 a formação de um maior gradiente de concentração de K no perfil do solo em sistema misto (milho com braquiária) em relação ao milho solteiro.

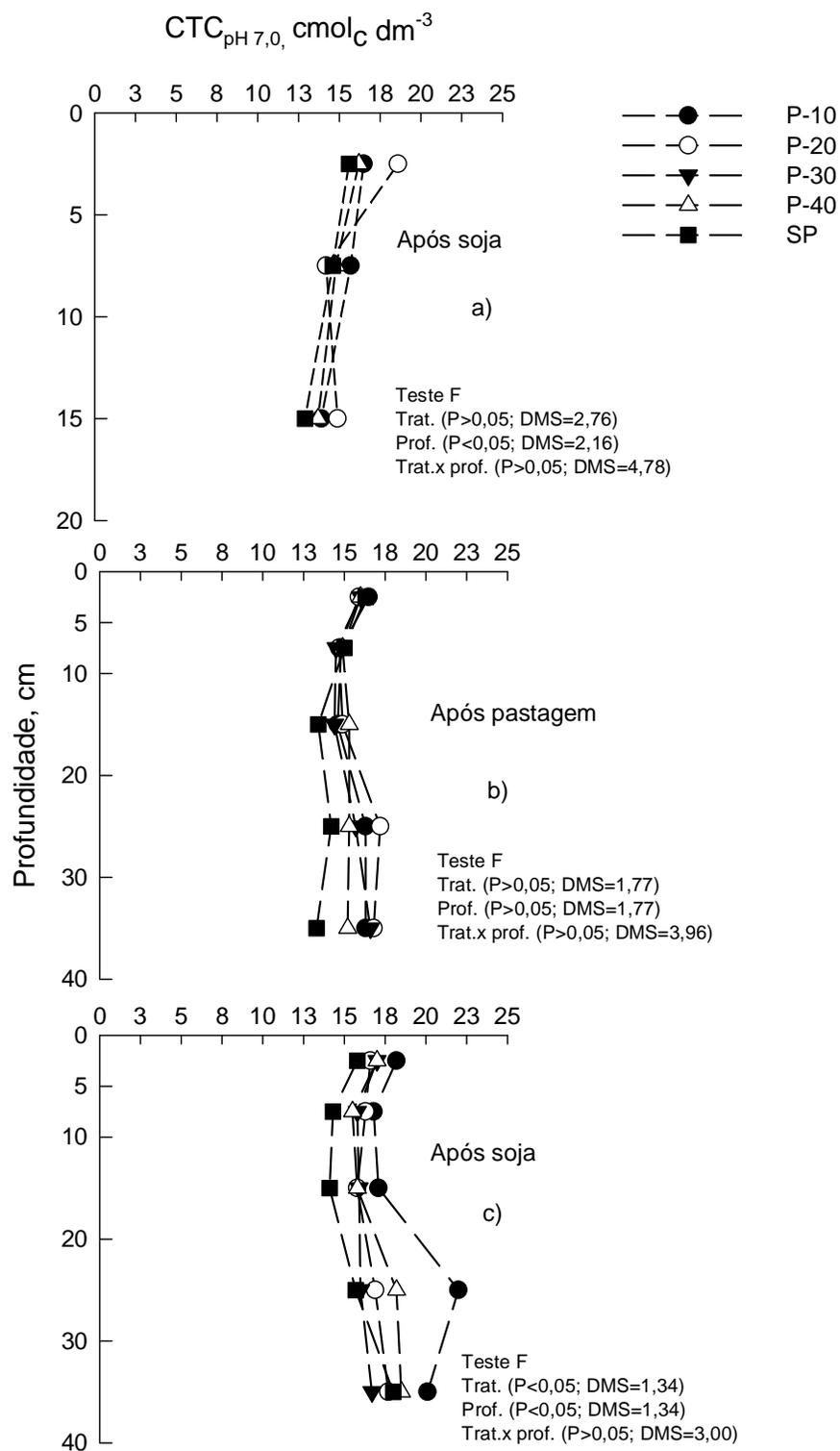
Ao analisar o efeito das intensidades de pastejo nos teores de potássio disponível no perfil do solo (Figura 9), somente na coleta após o pastejo (Figura 9b), se observa uma certa diferenciação ( $P > 0,05$ ) no tratamento com menor intensidade de pastejo (P-40), seguido pelo de maior intensidade (P-10), principalmente na camada superficial do solo (0-5 cm). Nesses tratamentos, apesar do valor mais elevado de produção acumulada de massa seca da parte aérea da pastagem, não se diferencia ( $P > 0,05$ ) dos demais (Tabela 2). mesmo que o P-10, com o maior número de animais e, segundo Conte (2007) e Souza (2008), aquele com maior massa de raízes, fazendo com que haja um maior retorno de K via produção de dejetos e de raízes.



**FIGURA 9.** Teores de potássio disponível (Mehlich 1) no perfil do solo sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em (a) maio e (b) novembro de 2007 e (c) maio de 2008. Trat.= tratamento; Prof.= profundidade; DMS= diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.



**FIGURA 10.** Teores de carbono orgânico no perfil do solo sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em (a) maio e (b) novembro de 2007 e (c) maio de 2008. Trat.= tratamento; Prof.= profundidade; DMS= diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.



**FIGURA 11.** Capacidade de troca de cátions ( $CTC_{pH\ 7,0}$ ) no perfil do solo sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em (a) maio e (b) novembro de 2007 e (c) maio de 2008. Trat.= tratamento; Prof.= profundidade; DMS= diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Nas avaliações após o ciclo da soja (maio de 2007 e 2008), não se observam efeitos ou tendências concordantes em relação aos efeitos das intensidades de pastejo nos teores de K no perfil do solo nas duas épocas de avaliação. Enquanto em maio de 2007 não houve efeito desses tratamentos na distribuição de potássio no perfil do solo (Figura 9a), em maio de 2008 esse efeito ocorreu ( $P < 0,05$ ) (Figura 9c). Nesta amostragem, o tratamento sem pastejo (SP) apresentou teores mais altos em todas as profundidades analisadas, seguido do P-20 e P-40. Novamente, apesar da produção acumulada de massa seca da pastagem, no tratamento sem pastejo ter sido similar (Tabela 2) devem ter havido menores perdas do elemento.. Conforme Williams et al. (1990), as perdas indiretas provocadas pelos animais, associadas com a deposição de placas de urina e esterco de forma altamente heterogênea, são altas.

De forma geral, fazendo-se uma análise mais ampla e prática da influência das intensidades de pastejo nos teores de K no perfil do solo em todas as épocas avaliadas, excetuando-se a análise da camada superficial (0-5 cm) após o pastejo, parece que na área em que o pastejo é mais intenso (P-10) seja mais problemática à manutenção e/ou melhoria do estado de disponibilidade do elemento no solo no sistema de integração lavoura-pecuária. O que parece ter sido determinante para tal fato foi a maior quantidade de animais por área, pois é o que sofre as maiores reduções dos seus teores no solo, indicando que ocorrem grandes perdas nesse sistema. Por outro lado, Siqueira Jr. (2005) atribui à presença de gramíneas, principalmente sob pastejo, os seus maiores teores no perfil do solo. A interação entre o pastejo dos animais e o sistema radicular das gramíneas possibilita o melhor aproveitamento do potássio, evitando uma perda maior por lixiviação (Garcia et al., 2008). Isso, sobretudo, em intensidades moderadas e leves de pastejo, não como no tratamento P-10.

A energia de retenção de cátions trocáveis, como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , nos colóides dos solos segue a série liotrópica, onde o primeiro e principal fator é a energia de atração da carga e, o segundo, é o tamanho dos íons hidratados (Raij, 1991). Mas, mesmo o  $\text{K}^+$  tendo uma menor atração que o  $\text{Ca}^{+2}$  e o  $\text{Mg}^{+2}$  pelos colóides do solo e estando presente em grandes quantidades e o solo apresentando altos valores de CTC (Figura 11a, b e c), por efeito de massa,

pode deslocar outros cátions, como o  $\text{Ca}^{+2}$  e o  $\text{Mg}^{+2}$  e, assim, diminuir suas perdas por lixiviação. Por outro lado, a grande quantidade de K no solo indica que perdas por lixiviação podem ser altas, chegando a  $139 \text{ kg K ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Wilkinson & Lowrey, 1973). Nesse contexto, Kayser & Isselstein (2005) salientam que a lixiviação de K em pastagens é normalmente baixa, mas altos níveis de K disponível no solo e alta entrada de K via fertilizante ou via urina, levam a incrementos de perdas. Perdas por lixiviação são, principalmente, influenciadas pela quantidade de K trocável no solo (Kayser, 2003), teor de argila e textura, e variam com o tipo de solo, quantidade e tempo de aplicação de fertilizante, idade e manejo da pastagem (Alfaro et al., 2004). Fluxos preferenciais parecem ter um papel no movimento inicial de K em profundidade depois de uma urinação (Kayser & Isselstein, 2005). Esses autores comentam que, no experimento de Williams et al. (1990), as perdas de K por lixiviação ocorreram primeiramente como resultado de fluxo de urina nos macroporos abaixo da profundidade das raízes, que podem ser de até 74 % do K da urina que se move preferencialmente abaixo de 15 cm da superfície do solo. Neste caso, o movimento preferencial é mais dependente de propriedades físicas do solo, como condições de superfície, do que propriamente de características químicas e minerais do solo. No entanto, Conte (2007), trabalhando na mesma área do presente estudo, concluiu que os atributos físicos do solo, como a densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, se mostraram pouco sensíveis para detectar o efeito do aumento do tráfego de animais sobre o solo.

A grande e desigual distribuição no retorno de K imediatamente disponível da urina pode, no entanto, levar a uma ineficiente ciclagem do nutriente e apresenta maior potencial para perdas. Prevalecendo altas condições de chuva, perdas anuais por lixiviação são variáveis e vão de < 2 até  $66 \text{ kg K ha}^{-1}$  (Early et al., 1998). Na verdade, pouco se sabe 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 acionar descidas, por altas concentrações de K na solução do solo, depois de uma urinação (Monaghan et al., 1999).

Na mais alta intensidade de pastejo (P-10) pode estar havendo uma distribuição mais heterogênea do K na área e este nutriente dos dejetos, sendo

considerado solúvel em água, é prontamente disponível para absorção pelas plantas (Haynes & Williams, 1993). Assim, altas quantidades de K advindas de um maior número de animais por unidade de área podem favorecer a um incremento das perdas do elemento, seja por lixiviação, erosão ou escoamento superficial, principalmente, em locais de alta precipitação pluviométrica no período de pastejo (Apêndice 1) e de solo com características de boa drenagem, como no presente caso.

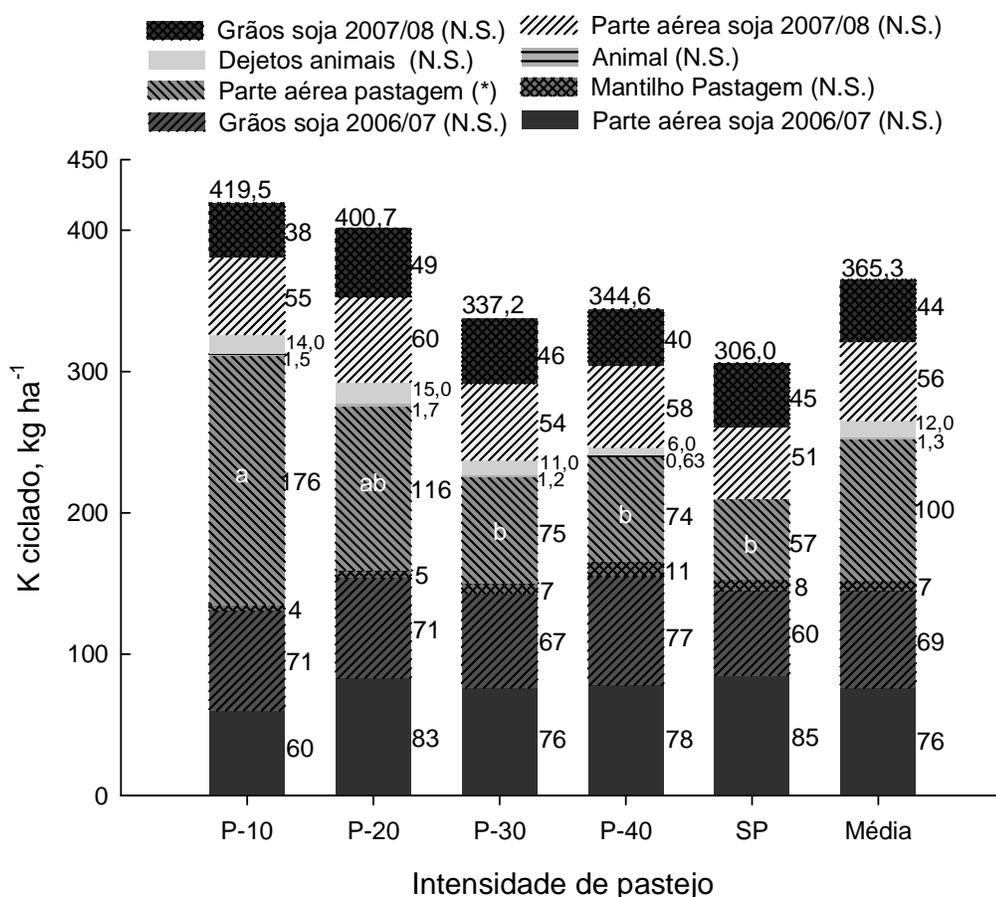
#### **4.2. Ciclagem de potássio no sistema**

As quantidades de K acumuladas nos diferentes compartimentos (soja, pastagem e animais) em um ciclo de integração lavoura-pecuária são elevadas (Figura 12), sendo muito superiores às necessidades das culturas, pois, como salientado por Mielniczuk (2005), mais de 80 % do K contido nos resíduos é liberado em menos de 30 dias. A ciclagem desse nutriente é, então, indispensável à sustentabilidade do sistema, evitando as suas perdas no solo e a poluição do lençol freático, favorecendo a eficiência de seu uso pelas plantas e a redução dos custos com fertilizantes (Aguinaga, 2005).

A menor quantidade de potássio ciclada ( $306 \text{ kg ha}^{-1}$ ) ocorreu no tratamento sem pastejo (SP), ao passo que o outro extremo ( $419,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) ocorreu na área de maior intensidade de pastejo (P-10). Esses valores são compatíveis com os encontrados por Rossato (2004), em um sistema com milho, trigo e aveia sem a adição de nitrogênio ( $389 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e quando houve adição de  $180 \text{ kg de N ha}^{-1}$  desse nutriente ( $483 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Quando da inclusão do nabo forrageiro como planta recicladora no sistema, as quantidades encontradas pelo autor foram superiores às do presente trabalho e passaram para  $608$  e  $770 \text{ kg ha}^{-1}$  sem e com aplicação de N, respectivamente. Já se esperava que o tratamento com maior intensidade de pastejo (P-10) fosse o que proporcionasse a maior ciclagem de potássio, pois é o que apresenta numericamente a maior produção acumulada de massa seca da pastagem com maior concentração de K no tecido da mesma (Tabela 2) e também o maior número de animais por unidade de área. Na área onde o pastejo foi excluído (SP), o que mais influenciou para a menor quantidade de K circulada foi a

menor tendência de produção acumulada de massa seca da pastagem com menor concentração de K no tecido da mesma (Tabela 2).

Pastagens usadas como plantas de cobertura são eficientes na extração de K do solo e na ciclagem em sistemas de rotação de culturas (Garcia et al., 2008). A ciclagem de K pela aveia preta é uma importante estratégia de redução de perdas desse nutriente por lixiviação na entressafra das culturas comerciais (Santi et al., 2003). Apesar desses benefícios, Kayser & Isselstein (2005) salientam que a ciclagem de potássio em sistemas de pastagens tem recebido pouca atenção da pesquisa.



**FIGURA 12.** Potássio ciclado em diferentes compartimentos da pastagem, da soja, nos animais e nos seus dejetos, sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em diferentes épocas. \*, N.S., significativo e não significativo pelo teste F ( $P < 0,05$ ), respectivamente. Médias de mesma letra, dentro do mesmo compartimento, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Em termos práticos e com uma abordagem mais sistêmica, considerando outros benefícios proporcionados pelas áreas com pastejo

moderado, (P-20), há nesta, também uma grande ciclagem de K nos diferentes compartimentos do sistema, chegando a  $400,7 \text{ kg ha}^{-1}$  de K, sendo próxima da quantidade circulada no tratamento de manejo mais intenso (P-10). Mesmo sendo grandes as quantidades de K circuladas na parte aérea da pastagem, até  $176 \text{ kg ha}^{-1}$  na parcela com maior intensidade de pastejo (P-10), acredita-se que os valores reais sejam mais altos, devido à época em que foi feita a coleta do tecido vegetal da pastagem para a análise. Essa coleta foi realizada no final do ciclo da pastagem e, dessa forma, principalmente na menor intensidade (P-40) e sem pastejo (SP) em que o florescimento ocorre antes do que nos outros tratamentos, devem ter ocorrido perdas de K, pela lavagem do tecido aéreo da pastagem, até o final do ciclo, fazendo com que as parcelas apresentassem menores teores de K (Tabela 2). Mecanismos físicos (chuva) e químicos (qualidade do resíduo) estão envolvidos na liberação do nutriente e que, em razão da elevada taxa de liberação de K dos resíduos das culturas, parte dele poderá ser perdida no solo pela lixiviação (Schomberg & Steiner, 1999). Isso ocorre, porque na época do florescimento é quando ocorre o pico de absorção de nutrientes e, como o K é livre nos tecidos, quanto mais adiante dessa fase, maiores serão as perdas do elemento, que resultarão em menores teores no tecido. No entanto, deve-se salientar que é difícil de se fazer a coleta no mesmo estágio de desenvolvimento da pastagem (recomendado no florescimento), uma vez que o mesmo varia com as diferentes intensidades de pastejo. Além disto, por se tratar de uma pastagem formada por um consórcio de espécies gramíneas (aveia preta + azevém), cada uma apresenta uma época diferente de florescimento.

Os teores de K na parte aérea (folha + colmo) da pastagem (Tabela 2), com exceção do tratamento com maior intensidade de pastejo (P-10) que apresentou o maior teor ( $22,33 \text{ g kg}^{-1}$ ), variaram de  $9,33$  (SP) a um máximo de  $15,33 \text{ g kg}^{-1}$  (P-20), estando abaixo da faixa considerada como adequada para folhas de azevém pela CQFS-RS/SC (2004), que é de 20 a  $25 \text{ g kg}^{-1}$ . Na média de todos os tratamentos (Figura 12), verificou-se um acúmulo de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de K na massa seca da parte aérea da pastagem. Para o mantilho, esse acúmulo médio foi de  $7 \text{ kg ha}^{-1}$ , quantidade considerada baixa; isto em função do baixo teor médio de K encontrado, que foi de  $2,93 \text{ g kg}^{-1}$  (Tabela 2), devido a maior parte do nutriente já ter sido removida pela lavagem dos tecidos.

Os teores e as quantidades de potássio cicladas na parte aérea da pastagem em intensidades de pastejo moderadas (P-20 e P-30) (em média, 13,0 g kg<sup>-1</sup> – Tabela 2; 95,5 kg ha<sup>-1</sup> – Figura 12, respectivamente), são compatíveis com os encontrados por Nakagawa & Rosolem (2005), de 11,62 a 13,01 g kg<sup>-1</sup> de K na folha bandeira de aveia preta e, por Giacomini et al. (2003a,b), de 76 a 91 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

A coleta do tecido da parte aérea da soja foi realizada no final do ciclo da cultura; desta forma, as quantidades de K contidas na massa seca da parte aérea também devem estar abaixo daquelas que existiam na época do florescimento, pois uma parte é perdida pela lavagem natural do tecido e a outra é translocada para os grãos. Conforme Foloni & Rosolem (2008), os picos de acúmulo de K nessa cultura ocorrem entre os 50 e 75 dias após emergência das plantas. Como resultado dos menores teores de K encontrados na parte aérea da cultura no final do ciclo, a proporção exportada pelos grãos da cultura deve aumentar, em relação àquela que retorna pela parte aérea (Figura 12). Assim, nas safras de 2006/07 e 2007/08 as frações de K exportadas pelos grãos da cultura representaram, na média de todos os tratamentos, respectivamente, 47,53 e 43,95 % do total absorvido pelas plantas de soja. Essas porcentagens de K exportadas, em relação ao total absorvido pela cultura, são consideradas altas, pois, conforme comenta Mielniczuk (2005), embora a quantidade de K absorvida seja grande, a fração retirada pelos grãos é pequena (cerca de 20 %).

Os teores de K encontrados na parte aérea da soja variaram de 11,07 a 15,79 g kg<sup>-1</sup> (safra 2006/07) (Tabela 3) e de 11,87 a 13,60 g kg<sup>-1</sup> (safra 2007/08) (Tabela 4). Tais valores estão abaixo da faixa de suficiência adotada pela CQFS-RS/SC (2004), que é de 17 a 25 g kg<sup>-1</sup>, e do valor encontrado por Mascarenhas et al. (1981), de 21,40 g kg<sup>-1</sup> de K nas folhas no florescimento da cultura, com aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, no primeiro ano de avaliação. São também inferiores aos da faixa de suficiência estabelecida por Borkert et al. (1993) para folhas de soja, cujos valores são de 17,1 a 25,0 g kg<sup>-1</sup> de K. Já, nos grãos, os teores de K encontrados foram de 20,69 a 23,31 g kg<sup>-1</sup> (safra 2006/07) (Tabela 3) e 17,41 a 21,39 g kg<sup>-1</sup> (safra 2007/08) (Tabela 4). Deve-se salientar que, mesmo existindo faixas de suficiência para teores de nutrientes, essas devem ser utilizadas para comparações com certo cuidado, pois os

teores de nutrientes no tecido vegetal variam, para a mesma espécie vegetal, entre cultivares, órgãos e épocas de avaliação, dentre outros fatores.

**TABELA 3.** Massa 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 (safra 2006/07) sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP)

Intensidade de pastejo	MSPA	MSG	K PA	K G
	P>0,05	P>0,05	P>0,05	P>0,05
	----- Mg ha <sup>-1</sup> -----		----- g kg <sup>-1</sup> -----	
P-10	5,59	3,14	11,07	22,61
P-20	5,97	3,12	13,69	22,96
P-30	5,95	3,02	12,65	22,26
P-40	5,33	3,31	14,22	23,31
SP	5,66	2,91	15,79	20,69
Média	5,70	3,10	13,48	22,37
DMS	4,59	0,84	10,35	3,01
CV (%)	28,55	9,65	27,21	4,77

P= significância pelo teste F.

**TABELA 4.** Massa 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 (safra 2007/08) sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP)

Intensidade de pasteo	MSPA	MSG	K PA	K G
	P>0,05	P>0,05	P>0,05	P>0,05
	----- Mg ha <sup>-1</sup> -----		----- g kg <sup>-1</sup> -----	
P-10	4,24	2,14	12,73	17,41
P-20	4,38	2,41	13,60	20,35
P-30	4,03	2,25	13,43	20,18
P-40	4,26	2,21	13,60	18,10
SP	4,34	2,13	11,87	21,39
Média	4,26	2,23	13,05	19,49
DMS	1,36	0,96	5,75	6,38
CV (%)	11,30	15,19	15,63	11,60

P= significância pelo teste F.

A quantidade de K absorvida pela soja (parte aérea + grãos) foi diferenciada, na média dos tratamentos, nas duas safras: foi maior na safra 2006/07 (145 kg ha<sup>-1</sup>) do que na safra 2007/08 (100 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 12). Isto ocorreu devido a uma estiagem ocorrida na época do florescimento e enchimento de grãos (de janeiro a abril) no ano de 2008 (Apêndice 1). Esse período é crítico ao déficit hídrico para cultura, fazendo com que houvesse uma

redução do rendimento de massa seca da parte aérea (Tabela 4), em relação à produção da safra de 2006/07 (Tabela 3). Foloni & Rosolem (2008) encontraram um acúmulo máximo de 120 kg de K ha<sup>-1</sup> pela soja com a adição de 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na soja. No segundo ano de avaliação desse trabalho, as quantidades de K absorvidas pela soja foram, em média, menores do que no primeiro ano, provavelmente por problemas de tratos culturais e, ou de condições climáticas desfavoráveis, segundo os autores.

As exportações de K via carcaça animal são baixas, quando comparadas às exportações pelos grãos de soja, apresentando uma média 1,3 kg ha<sup>-1</sup>. As quantidades de K excretadas pelos dejetos animais foram estimadas considerando um retorno de 90 % do elemento consumido pelo animal (a partir de um teor médio de 3,5 g de K kg<sup>-1</sup> PV, obtido de Price & Schweigert (1994) e o ganho de peso vivo ha<sup>-1</sup>, que representaram 10 % do K consumido pelos animais). Acredita-se que a quantidade real excretada seja superior à estimada, pois, segundo Rodrigues et al. (2008), somente em um dia a quantidade de potássio, na média, verificada na urina e nas fezes de bovinos foi de 105 e 40 g animal<sup>-1</sup>, respectivamente, e o retorno pela excreção animal contribuiu, no período experimental (sete meses), com 87 kg de K ha<sup>-1</sup>. Em dois sistemas de produção de leite durante três anos, foram verificados valores de 21 g de K kg<sup>-1</sup> de massa seca de esterco e 219 g de K kg<sup>-1</sup> de urina (Gustafson et al., 2006). Assim, verifica-se, na literatura, que as concentrações e as quantidades de K retornadas pelos dejetos animais são altas, estando as do presente estudo subestimadas. Nascimento Jr. & Cavalcante (2001) relatam que a deposição de elementos fertilizantes pela excreta pode contribuir eficazmente para a fertilidade da pastagem por longos períodos de tempo. Contudo, a má distribuição, bem como as perdas de nutrientes decorrentes da volatilização, desnitrificação, fixação, etc., limitam sua eficiência como fertilizante.

Além dessas quantidades encontradas ciclando nos diferentes compartimentos do sistema, deve-se somar as quantidades de K acumuladas no sistema radicular pois, conforme Malavolta et al. (1997), de um modo geral, as raízes contém cerca de 16 % do K total da planta. Assim, na média de todos os tratamentos, as raízes podem ter acumulado 27,73, 18,97 e 18,90 kg ha<sup>-1</sup>,

na cultura da soja (safra 2006/07), na pastagem e na soja (safra 2007/08), respectivamente.

Realizadas todas essas ressalvas, pode-se afirmar que os sistemas de pastagens com inserção animal e os que incluem a soja em sucessão são capazes de acumular e ciclar grandes quantidades de K, mesmo que os resultados apresentados nesse estudo, pelas razões expostas, estejam em alguns casos subestimados.

#### **4.3. Balanço de potássio no sistema**

O balanço de potássio que considera as entradas na lavoura, na forma de fertilizante, e as saídas, na carcaça animal e grãos de soja, foi denominado, no presente trabalho, de “balanço na propriedade”. A entrada de K, via fertilizante, na soja foi a mesma para todos os tratamentos ( $49,8 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Já as exportações de K pelos animais, foram em quantidades consideradas pequenas (máximo de  $1,72 \text{ kg ha}^{-1}$ ), como destacado por Rotz et al. (2005) e, com exceção do tratamento de maior intensidade de pastejo (P-10), diminuíram com a redução da intensidade de pastejo. Apesar dos valores de exportação de K via animal serem próximos entre os tratamentos, houve uma pequena inversão para os tratamentos P-10 e P-20. Esperava-se que o tratamento com maior intensidade de pastejo (P-10), que possui o maior número de animais, fosse o que exportasse a maior quantidade de K, pois foi considerado o mesmo valor de teor do elemento na carcaça dos animais para todos tratamentos. Provavelmente, deve ter ocorrido um problema de controle da altura real da pastagem com a altura pretendida. Assim, no caso do tratamento P-20, a altura real pode ter ficado maior do que a pretendida (20 cm) e, posteriormente deve ter sido colocado um maior número de animais nesse tratamento, fazendo com que o mesmo apresentasse um maior ganho de peso vivo animal e conseqüentemente, uma maior exportação de K que o tratamento com maior intensidade de pastejo (P-10).

Os valores estimados de exportação de K pelos animais nesse estudo estão bem próximos do citado por Hogan & Nierman (1927), que é de  $1,1 \text{ kg de K ha}^{-1}$  com animal de aproximadamente 500 kg, citados por Wilkinson & Lowrey (1973). A exportação de K via animal pode ser compensada até

mesmo por deposições atmosféricas que, de acordo com Wilkinson & Lowrey (1973), foram estimadas em 1,2 kg de K ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (baseado em 0,1 mg de K L<sup>-1</sup> de chuva) e, segundo Persson et al. (2004), na ordem de 1 a 2 kg K ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, citados por Andrist-Rangel et al. (2007).

Por outro lado, a cultura da soja exporta K, via grãos, em quantidades bem maiores que a exportação animal. Na maior (P-10) e na menor (P-40) intensidades de pastejo, em que a produção de massa seca dos grãos de soja foi relativamente menor (Tabela 4), dentre as áreas pastejadas, a exportação de K também foi baixa (38,0 e 40,0 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente), fazendo com que nesse tipo de balanço esses tratamentos apresentassem saldos positivos (+10,27 e + 9,17 kg de K ha<sup>-1</sup>, respectivamente) (Tabela 5). Na ausência de pastejo (SP), também ocorreu uma baixa produção de massa seca de grãos de soja, no entanto, esse comportamento foi compensado pelo elevado teor de K (21,39 g kg<sup>-1</sup>) verificado nos grãos desse tratamento (Tabela 4), fazendo com que a mesma apresentasse a segunda maior exportação de K via grãos de soja, e com isso, um menor saldo positivo (+4,80 kg de K ha<sup>-1</sup>). No caso da área com pastejo a 20 cm (P-20), em que houve numericamente uma maior produção de massa seca de grãos de soja (2,41 Mg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 4), com conseqüente maior exportação de K, o balanço apresentou um pequeno saldo negativo (-0,91 kg de K ha<sup>-1</sup>) (Tabela 5).

**TABELA 5.** Balanço de K, na propriedade, em sistema integração lavoura-pecuária em plantio direto sob intensidades de pastejo (P-10; P-20 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) (ano agrícola 2007/08)

Balanço	Intensidades de pastejo			
	P-10	P-20	P-40	SP
	-----K, kg ha <sup>-1</sup> -----			
<b>Entrada</b>				
Fertilizante da soja <sup>1</sup>	49,8	49,8	49,8	49,8
<b>Saída</b>				
Animal <sup>2</sup>	1,53	1,72	0,64	-
Grãos de soja	38,0	49,0	40,0	45,0
<b>Saldo</b> <sup>3</sup>	+10,27	-0,91	+9,17	+4,80

<sup>1</sup> 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 0-20-20; <sup>2</sup> considerando 3,5 g K kg<sup>-1</sup> PV; <sup>3</sup> Entrada – Saída.

Assim, verifica-se que a quantidade de K exportada via grãos de soja nesse sistema de ILP foi mais dependente da produtividade da cultura que do teor do elemento presente no grão. O saldo desse tipo de balanço,

considerado na propriedade, foi determinado não pelas entradas de K, que foram iguais em todos os tratamentos, mas sim pelas exportações via colheita de grãos da soja, em que o tratamento que exportou uma menor quantidade de K (P-10), foi o que apresentou um saldo mais positivo, e o que exportou uma quantidade maior (P-20), apresentou um pequeno saldo negativo (Tabela 5). Santos et al. (2008) avaliaram o balanço de K na camada de 0 a 30 cm de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso do Cerrado em plantio direto com soja-milho no verão e milheto no inverno, durante oito anos. Obtiveram um balanço positivo para todos os tratamentos estudados (fontes e modos de aplicação de P), sendo que o rendimento de grãos das culturas foi responsável pela variação entre os tratamentos, dos percentuais de balanço de K, onde na testemunha em que se produziu menos milho e soja, com menor exportação de K, o saldo foi mais positivo.

No segundo tipo de balanço, agora “no campo”, foi considerado o K inicial (K do solo e da parte aérea da soja em maio de 2007) e o K final (K do solo e da parte aérea da soja em maio de 2008), perfazendo um ciclo de ILP (Tabela 6). O valor mais baixo de K do solo, tanto em maio de 2007, como em maio de 2008, ocorreu na maior intensidade de pastejo (P-10). O mesmo comportamento ocorreu com o K acumulado na massa seca da parte aérea da soja, em maio de 2007. Dessa forma, nos demais tratamentos verificaram-se maiores quantidades totais de K no início e no final do período de avaliação, resultando na maior intensidade de pastejo (P-10) e na sem pastejo (SP) como as que, nesse tipo de balanço, apresentaram o saldo mais negativo e o positivo, respectivamente. O fato determinante para tal comportamento foi a grande redução do K do solo verificada no tratamento P-10 (240 para 141 kg ha<sup>-1</sup>) e o aumento do mesmo na parcela SP (251 para 316 kg ha<sup>-1</sup>), no período avaliado.

No caso da área mais intensivamente pastejada (P-10), esperava-se que alguma redução ocorresse, visto o comportamento das outras áreas com presença animal, mas que não fosse de tal magnitude. Uma primeira hipótese, para tentar explicar essa redução dos teores de K do solo, seria a fixação de potássio por argilominerais do tipo 2:1. Apesar da constatação da presença desses argilominerais em pequena fração na unidade de mapeamento em foco (Santo Ângelo) (Möller, 1981), considera-se não ter sido essa a causa, pois,

redução do teor de potássio no solo também teria ocorrido em outras parcelas experimentais do estudo e não somente no tratamento P-10. Dessa maneira, devem ter ocorrido maiores perdas de K nesse tratamento, por erosão, escoamento superficial ou lixiviação, visto que é uma área que apresenta um maior número de animais e, com isso, uma maior ciclagem de K (Figura 12). Tais perdas podem ter sido favorecidas pela grande precipitação pluviométrica ocorrida no local do experimento no período do pastejo (julho a novembro de 2007), conforme verificado no Apêndice 1.

**TABELA 6.** Balanço de K, no campo, em sistema integração lavoura-pecuária em plantio direto sob intensidades de pastejo (P-10; P-20 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) (ano agrícola 2007/08)

Época	Intensidades de pastejo			
	P-10	P-20	P-40	SP
	------(K, kg ha <sup>-1</sup> )-----			
<b>Maio/07</b>				
K solo <sup>1</sup>	240	296	291	251
K parte aérea soja	60	83	78	85
Total (1) <sup>2</sup>	300	379	369	336
<b>Maio/08</b>				
K solo <sup>1</sup>	141	237	231	316
K parte aérea soja	55	60	58	51
Total (2) <sup>3</sup>	196	297	289	367
<b>Saldo<sup>4</sup></b>	-104	-82	-80	+31

<sup>1</sup>Na camada de 0 a 20 cm de profundidade; <sup>2</sup> K inicial; <sup>3</sup> K final; <sup>4</sup> Total (2) – Total (1).

A recuperação dos nutrientes pelas plantas varia grandemente devido à distribuição heterogênea de excretas e, potencialmente, ampla variação em perdas de nutrientes devido à lixiviação, volatilização e imobilização (White et al., 2001). As retiradas diretas de potássio no sistema, através de produtos animais, são muito mais baixas (0,12 a 0,18 kg K por 100 kg de produto animal) que as perdas indiretas associadas com a deposição de placas de urina e 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<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Castilla et al., 1995). Normalmente uma aplicação de urina imediatamente incrementará as concentrações de nutrientes como N, S e, especialmente, K na pastagem (Sakadevan et al., 1993). A entrada de K em placas de urina tem sido estimada como sendo equivalente a uma aplicação de 500 a 1000 kg K ha<sup>-1</sup>, que está longe e em excesso do imediato requerimento das plantas (Early et al., 1998).

Os excedentes de K são provavelmente perdidos no ambiente ou particularmente retidos no solo (Jarvis, 2000). Lustosa (1998) encontrou um acúmulo grande de potássio de um ano para o outro de avaliação e cita que nos locais de concentração de dejetos os teores praticamente dobraram, observando ainda que, nesses locais, ocorreu um aumento considerável nos teores de potássio em profundidade, apontando que podem ocorrer grandes perdas por lixiviação em áreas de pastejo. Dependendo do tipo de solo, clima, sistema de cultura e práticas de manejo de nutriente, a lixiviação de K pode chegar até  $46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Alfaro et al., 2003).

Na ausência do pastejo (SP), esperava-se que houvesse o aumento do K do solo de um ano para o outro, mas que não fosse de tal ordem – de 251 para  $316 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tabela 6). Dessa maneira, torna-se necessário que as avaliações continuem para verificar se realmente esse comportamento se mantém em outros anos.

Como na maior intensidade de pastejo (P-10) houve um saldo positivo no “balanço na propriedade” (Tabela 5), não por que entrou mais K via fertilizante e sim por que saiu menos K pelos grãos da soja, esperava-se que no balanço no campo (Tabela 6) houvesse um saldo menos negativo ( $-104 \text{ kg ha}^{-1}$ ), assim pode-se inferir que estão ocorrendo perdas acentuadas de K nesse tratamento. Já na ausência de pastejo, o saldo, sendo positivo no “balanço no campo” foi compatível com o saldo positivo verificado no “balanço na propriedade”; no entanto, a pequena magnitude deste saldo ( $+4,80 \text{ kg ha}^{-1}$ ) não é suficiente para explicar o maior saldo positivo ( $+31 \text{ kg ha}^{-1}$ ) verificado no campo. Desta forma, deve estar vindo K de outras áreas (adjacentes) para essa parcela. Andrist-Rangel et al. (2007) verificaram um déficit total de K ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ 18 anos}^{-1}$ ) variando de  $-1087$  a  $-385$  em sistema não orgânico. Garcia et al. (2008), estudando balanço de K em sistemas de produção com aplicação de doses de N, verificaram um balanço negativo de K trocável no sistema com milho, tanto sem aplicação de N ( $-40 \text{ kg de K ha}^{-1}$ ), como com a aplicação de  $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$  ( $-47 \text{ kg de K ha}^{-1}$ ). Já no sistema com milho mais braquiária, o balanço foi positivo com um saldo de  $245 \text{ kg de K ha}^{-1}$  (sem N) e de  $101 \text{ kg de K ha}^{-1}$  (com a aplicação de  $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ).

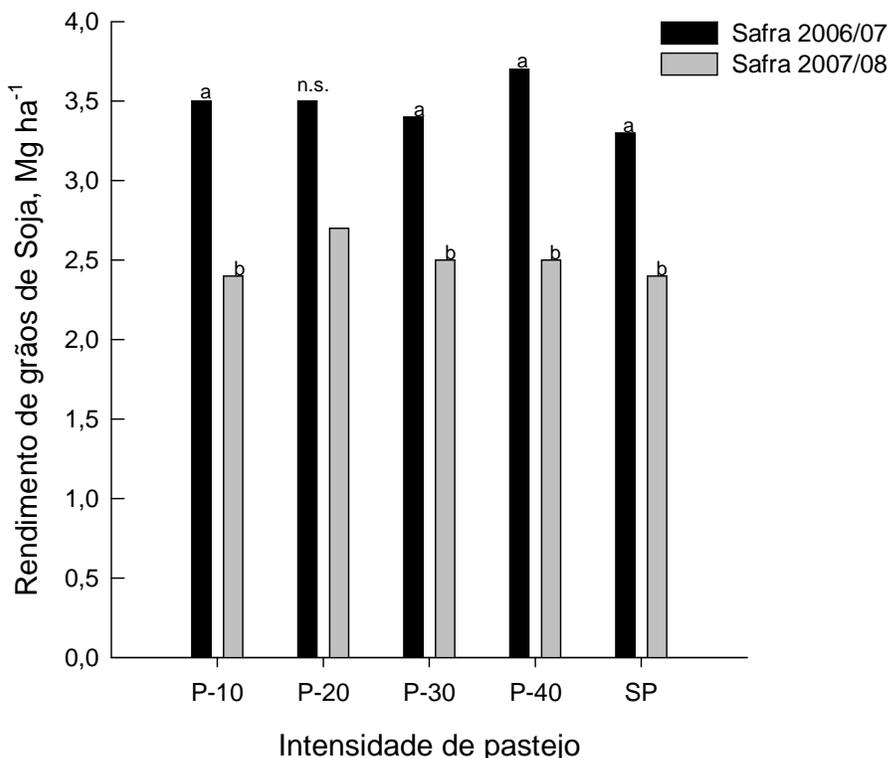
Por fim, deve-se destacar a importância em se fazer avaliação de balanços de nutrientes, não só para a nutrição de plantas, como também para

a avaliação da qualidade ambiental, visando promover a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. Observa-se que os saldos de balanços de K variam grandemente, devido às diferenças nos sistemas de manejos adotados e no próprio tipo de balanço considerado. Dessa maneira, deve-se ter cuidado ao se comparar resultados de diferentes estudos, devido às particularidades de cada tipo de balanço (Gustafson et al., 2003).

#### **4.4. Rendimento de grãos de soja no sistema**

O rendimento de grãos das culturas é afetado por diversos fatores, como radiação solar, ataque de pragas e doenças, compactação do solo, disponibilidade de água, presença de elementos tóxicos e disponibilidade de nutrientes, como o K, dentre outros. Assim, procurou-se verificar a possível influência da dinâmica do K no rendimento de grãos da soja. Não houve diferenças ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos, dentro de cada ano de avaliação, porém, ao se comparar os rendimentos de cada tratamento de um ano para o outro (Figura 13), se observam diferenças. Os rendimentos de grãos foram menores (P-10, P-30, P-40 e SP) ou tenderam a ser menores (P-20) da safra 2006/07 para safra 2007/08, cuja média passou de 3,5 para 2,5 Mg ha<sup>-1</sup>.

Acredita-se que as diferenças no rendimento da soja nas diferentes safras não estejam relacionadas com a dinâmica e a disponibilidade de potássio no solo, uma vez que os teores do elemento se mantiveram altos. Assim, com exceção do tratamento com maior intensidade de pastejo (P-10), na amostragem de maio de 2008, todos os outros apresentaram teores (Figura 8) acima do nível crítico para esse solo (90 mg de K dm<sup>-3</sup>), que apresenta CTC acima de 15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (Figura 11c) (média de todas as profundidades). Dessa forma, o que explicaria a redução no rendimento de grãos da soja de um ano para o outro de avaliação seriam as condições climáticas, especificamente, a precipitação pluviométrica, pois houve uma menor quantidade de chuva nos quatro primeiros meses do ano de 2008 em relação ao ocorrido na mesma época de 2007 (Apêndice 1). Esse período abrangeu os estádios de florescimento e de enchimento de grãos, considerados críticos para a cultura, o que determinou a redução no rendimento de grãos da cultura na safra de 2007/08 (Figura 13).



**FIGURA 13.** Rendimento de grãos de soja sob intensidades de pastejo (P-10; P-20; P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP) em sistema de ILP em plantio direto, em diferentes safras.  $P < 0,05$  (P-10; P-30; P-40 e SP) e n.s. (não significativo)- $P > 0,05$  (P-20) pelo teste F; Médias com a mesma letra, em cada tratamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Cabe destacar também que o rendimento da soja não foi influenciado pela presença animal nesse sistema de ILP em plantio direto, a exemplo do anteriormente verificado por outros autores (Cassol, 2003; Flores, 2004; Conte, 2007 e Flores, 2008) na mesma área. O mesmo ocorreu em sistema de ILP com milho no verão, com ausência ou presença de trevo branco, nas áreas que receberam adubação nitrogenada no inverno (Assmann et al., 2003). E, por fim, Consalter (1998) também constatou que o rendimento de grãos de soja não foi afetado pela presença dos animais em pastejo no inverno em áreas destinadas à lavoura no verão, apontando para uma solução para a perda de peso dos animais de julho a novembro na região de Guarapuava (PR), onde, inclusive, foram obtidos elevados valores de ganho médio diário (1,098 a 1,272 kg animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) e ganho de peso vivo por hectare (612 a 748 kg ha<sup>-1</sup>).

## 5. CONCLUSÕES

1) Os teores de potássio disponível são originalmente altos e assim se mantiveram ao longo do tempo nesse sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto;

2) Em todas as situações, ocorre a formação de um gradiente de concentração de potássio a partir da superfície, cuja distribuição no perfil do solo é diferenciada entre a pastagem e a soja sem, porém, haver relação com as diferentes intensidades de pastejo;

3) A ciclagem de potássio tende a aumentar com o aumento da intensidade de pastejo, sendo determinada pela produção acumulada de massa seca da pastagem e pelo teor de K na mesma sem, porém, influenciar o rendimento de grãos da soja em sucessão;

4) O balanço de potássio no campo nesse sistema de integração lavoura-pecuária é negativo ( $K_{final} < K_{inicial}$ ), com o maior déficit verificado na maior intensidade de pastejo onde, possivelmente, ocorrem perdas do elemento no solo e;

5) Apesar do balanço negativo de potássio quando da presença dos animais, os teores disponíveis desse nutriente se mantêm altos e não influenciam o rendimento de grãos da soja.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUINAGA, A.A.Q. **Relações planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária**. 2005. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

AITA, C.; FRIES, M.R.; GIACOMINI, S.J. Ciclagem de nutrientes no solo com plantas de cobertura e dejetos de animais. In: FERTBIO, 2., 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2000. CD-ROM.

ALFARO, M.A.; JARVIS, S.C.; GREGORY, P.J. Potassium budgets in grassland systems as affected by nitrogen and drainage. **Soil Use and Management**, Hoboken, v.19, 2, p.89-95, 2003.

ALFARO, M.A.; JARVIS, S.C.; GREGORY, P.J. Factors affecting potassium leaching in different soils. **Soil Use and Management**, Hoboken, v.20, 2, p.182-189, 2004.

ANDRIST-RANGEL, Y. et al. Long-term K dynamics in organic and conventional mixed cropping systems as related to management and soil properties. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.122, n.4, p.413-426, 2007.

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

ASSMANN, T.S. et al. 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.675-683, 2003.

BACON, S.C.; LANYON, L.E.; SCHLAUDER JR.; R.M. Plant nutrient flow in the managed pathways of an intensive dairy farm. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, n.4, p. 755-761, 1990.

BARBER, D.A. Microorganisms and the inorganic nutrition of higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, California, v.19, 1968. Disponível em: <<http://arjournals.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.pp.19.060168.000443>>. Acesso em: 15 set. 2008.

BARDGETT, R.D.; WARDLE, D.A. Herbivore-mediated linkages between aboveground and belowground communities. **Ecology**, Detroit, v.84, n.9, p. 2258-2268, 2003.

BARTHAM, G.T. Sward structure and the depth of the grazed horizon. **Grass and Forage Science**, New York, v.36, n.2, p.130-131, 1981.

BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A. **Absorção de nutrientes pela soja**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1977. 36p. (Boletim Técnico, 41)

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p.105-112, 1997.

BORKERT, C.M. et al. Resposta da soja à adubação e disponibilidade de potássio em latossolo roxo eutrófico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.10, p.1-17, 1997.

BORKERT, C.M. et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.1, p.143-153, 2003.

BORKERT, C.M.; SILVA, D.N da; SFREDO, G.J. Calibração de potássio nas folhas de soja em Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.227-230, 1993.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431 p. (Boletim técnico, 30)

BRAZ, S.P. et al. Aspectos quantitativos do processo de reciclagem de nutrientes pelas fezes de bovinos sob pastejo em pastagem de *Brachiaria decumbens* na zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n.2 supl., p.858-865, 2002.

BRUNETTO, G. et al. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.4, p.565-571, 2005.

BUCHMAN, H.O; BRADY, N.C. **The nature and properties of soils**. 6<sup>th</sup> edition. New York: Macmillan, 1968. 567p.

CALEGARI, A. O uso de plantas de cobertura e a rotação de culturas visando alto rendimento. In: IV CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE

FERTILIDADE DE SOLO EM PLANTIO DIRETO, 4., 2001, Ijuí. **Resumos de palestras...** Passo Fundo: Aldeia Norte, 2001. p.5-20.

CARRAN, R.A.; THEOBALD, P.W. Effects of excreta return on properties of a grazed pasture soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.56, n.2, p.79-85, 2000.

CASSOL, L.C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 143 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

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. et al. (Eds.). **Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa**. Addis Ababa (Ethiopia): International Livestock Centre for África (ILCA,), 1995. p.191-210.

CHEN, J.; GABELMAN, W.H. Morphological and physiological characteristics of tomato roots associated with potassium acquisition efficiency. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.83, n.3, p.213-225, 2000.

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. 400p.

CONAB. 2008. Sexto levantamento de avaliação da safra 2007/08 – Março de 2008. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 20 mar. 2008.

CONSALTER, M.A.S. **Sistema integrado lavoura-pecuária e compactação em latossolo bruno**. 1998. 105 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

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 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

CORREA, J.C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso de pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da Amazônia central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.1, p.107-114, 1995.

CORSI, M.; MARTHA JR., G.B. Manutenção da fertilidade do solo em sistemas intensivos de pastejo rotacionado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. p.161-192.

COTTICA, R.L. et al. Persistência de cobertura morta e liberação de nutrientes de palhada de aveia preta em Latossolo Roxo cultivado com milho em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Programas e Resumos**. Viçosa: SBCS, 1999.

DORAN J.W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.88, n.2, p.119-127, 2002.

DUBEUX JR et al. Nutrient cycling in warm-climate grasslands. **Crop Science**, Madison, v.47, n.3, p.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 Journal of Agricultural Research**, Thorndon, v.41, n.1, p.117-124, 1998.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas** (Princípios e perspectivas). Londrina: Planta, 2006. 401p. (Trad. Nunes, M.E.T.)

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p.551-594.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL/ FAEPE, 1994. 227p.

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

FLORES, J.P.C. **Atributos de solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo em plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. 2004. 74 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

FLORES, J.P.C. **Atributos físicos e químicos do solo e rendimento de soja sob integração lavoura-pecuária em sistemas de manejo**. 2008. 114 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

FLOSS, E.L. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.6, n.3, p.25-29, 2000.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Cidade, v.32, n.4, p.1549-1561, 2008.

FONTANELI, R.S. et al. **Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, sob plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 84p. (Circular Técnica, 6).

FURTINI NETO, A.E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/ FAEPE, 2001. 252p.

GARCIA, R.A. et al. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.28, n.4, p.579-585, 2008.

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

GIACOMINI, S.J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v.27, n.2, p.325-334, 2003b.

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. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.119, n.2, p.160-170, 2006.

GUSTAFSON, G.M. et al. Fluxes of K, P, and Zn in a conventional and an organic dairy farming system through feed, animals, manure, and urine—a case study at Ojebyn, Sweden. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam v.20, n.1, p.89-99, 2003.

HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, Madison, v.49, n.1, p.119-199, 1993.

JARVIS, S.C. Progress in studies of nitrate leaching from grassland soils. **Soil Use and Management**, Hoboken, v.16, n.1, p.152-156, 2000.

JOHNSTON, A.E. Understanding potassium and its use in agriculture. 2003. Disponível em: [http://www.efma.org/EPUB/easnet.dll/ExecReq/Page?eas:template\\_im=000BC2&eas:dat\\_im=000C23](http://www.efma.org/EPUB/easnet.dll/ExecReq/Page?eas:template_im=000BC2&eas:dat_im=000C23)>. Acesso em: 10 jun. 2008.

KAMINSKI, J. et al. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no cálculo da necessidade de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.1107-1113, 2002.

KAMINSKI, J...[et al.]. Dinâmica da disponibilidade de potássio em solo arenoso. In: Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, 13., 1996, Águas de Lindóia-SP. **Anais...** Disponível em: <http://coralx.ufsm.br/ppgcs/congressos>>. Acesso em 20 ago. 2007.

KAYSER, M. **Nitrogen and potassium leaching from grassland**: the effect of fertilizer regime and application of cattle urine. 2003. Thesis (Ph.D.) – Georg-August-University Gottingen, Germany, 2003.

KAYSER, M.; ISSELSTEIN, J. Potassium cycling and losses in grassland systems: A Review. **Grass and Forage Science**, New York, v.60, n.3, p. 213-224, 2005.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, n.3, p.395-401, 1995.

KRAUSS, A. Assessing soil potassium in view of contemporary crop production. 2003. Disponível em: < <http://www.ipipotash.org/presentn/aspivoccp.html> >. Acesso em: 17 nov. 2008.

LAL, R. Sustainable land use systems and soil resilience. In: Greenland, D.J.; Szabolcs, I. (Eds.). **Soil resilience and sustainable land use**. Budapest: SWCS, 1994. p.41-67.

LOPES, A.S. Mineralogia do potássio em solos do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1982, Londrina. **Anais...** Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.51-65.

LOPES, M.L.T. et al. Sistema de integração lavoura-pecuária: desempenho e qualidade da carcaça de novilhos superprecoce terminados em pastagem de aveia e azevém manejada sob diferentes alturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.1, p.178-184, 2008.

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**. 1998. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**: colheitas econômicas máximas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, C.G.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E.A. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

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

MASCARENHAS, H.A.A. et al. Adubação potássica na produção de soja, nos teores de potássio nas folhas e na disponibilidade de potássio em latossolo roxo distrófico de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v.40, n.12, p.125-134, 1981.

MATHEWS, B.W.; MIYASAKA, S.C.; TRITSCHLER, J.P. Mineral nutrition of C4 forage grasses. In: MOSER, L.E.; BURSON, B.L.; SOLLENBERGER, L.E. (Eds.). **Warm-season (C4) grasses**. Madison (WI): ASA, CSSA, and SSSA, 2004. p.217-265.

MATHEWS, B.W.; SOLLENBERGER, L.E.; TRITSCHLER, J.P. Grazing systems and spatial distribution of nutrients in pastures: soil considerations. In: **NUTRIENT CYCLING IN FORAGE SYSTEMS**, 2., 1996, Columbia. **Proceedings...** Columbia: University of Missouri, 1996. p.213-229.

MELLO, J.S. Fundamentos para integração lavoura-pecuária no sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.2, n.36, p.12-13, 1996.

MELO, V.F. et al. Importância das espécies minerais no potássio total da fração argila de solos do triângulo mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Cidade, v.27, n.5, p. 807-819, 2003.

MEURER, E.J.; ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.3, p.377-382, 1993.

MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração - experiências brasileiras. In: YAMADA, T. et al. (Eds.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p.289-303.

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. (Eds.). **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 2005. p.165-178.

MÖLLER, M.R.F. **Identificação, gênese e quantificação de argilominerais em latossolos**. 1981. 74 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1981.

MONAGHAN, R.M. et al. Depth distribution of simulated urine in a range of soils soon after deposition. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Thorndon, v.42, n.4, p.501-511, 1999.

MONTEIRO, F. A.; WERNER, J. C. Reciclagem de nutrientes nas pastagens. In: **SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM**, 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p.55-84.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626p. Cap.7: Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos do solo.

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, 1952. p.1380-1395.

NACHTIGALL, G.R.; RAIJ, B.V. Análise e interpretação do potássio no solo. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. (Eds.). **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafós, 2005. p.93-113.

NACHTIGALL, G.R.; VAHL, L.C. Formas de potássio em solos da região sul do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Cidade, v.13, n.1, p.7-12, 1989.

NACHTIGALL, G.R.; VAHL, L.C. Dinâmica de liberação de potássio dos solos da região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.1, p.43-47, 1991.

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**, Campinas, v.64, n.3, p.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.

NICOLOSO, R.S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. 2005. 149 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

NOGUEIRA, F.D.; SILVA, E.B.; GUIMARÃES, P.T.G. **Adubação potássica no cafeeiro- sulfato de potássio**. Washington (DC): SOPIB, 2001. 81p.

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

OLIVEIRA, E. de. Opções de forrageiras de entressafra e inverno em sistema de integração lavoura e pecuária. Disponível em: <http://www.nupel.uem.br/forrageiras.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2008.

OLIVEIRA, R.H.; ROSOLEM, C.A.; TRIGUEIRO, R.M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p. 439-445, 2004.

PETERSON, P.R.; GUERRISH, J.R. Grazing systems and spatial distribution of nutrients in pastures: Livestock management considerations. In: JOOST, R.E.;

ROBERTS, C.A. (ed.). NUTRIENT CYCLING IN FORAGE SYSTEMS, 1996, Columbia. **Proceedings...** Columbia: University of Missouri, 1996. p.203-211.

PRICE, J.F.; SCHWEIGERT, B.S. **Ciência de la carne y de los productos cárnicos**. Zaragoza: Acribia, 1994. 581p.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B.V. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo Fundação IAC, 1996. 285p.

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. et al. Concentrações e quantidades de macronutrientes na excreção de animais em pastagem de capim-mombaça fertilizada com fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, n.6, p.990-997, 2008.

ROSOLEM, C.A; BESSA, A.M.; PEREIRA, H.F.M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.9, p.1045-1054, 1993.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.355-362, 2003.

ROSOLEM, C.A. et al. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.1033-1040, 2006.

ROSSATO, R.R. **Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo sob plantio direto**. 2004. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

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

RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta**. Cruz Alta: FUNDACEP, 1996. 134p.

RUIZ, H.A.; MIRANDA, J.; CONCEIÇÃO, J.C.S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca, Mg às plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.4, p.1015-1018, 1999.

SÁ, J.C.M. Manejo de nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto. In: **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: Escola Superior Luiz de Queiroz, 1997.

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. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.31, p.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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.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. In: Simpósio nacional cerrado, 9., Simpósio internacional savanas tropicais, 2., 2008, Brasília. **Anais...** Disponível em: <http://www.cpac.embrapa.br/download/499/t>. Acesso em: 10 dez. 2008.

SANTOS, H.P. et al. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.545-552, 2003.

SCHOMBERG, H.H.; STEINER, J.L. Nutrient dynamics of crop residues decomposing on a fallow no-till soil surface. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n.3, p.607-613, 1999.

SCHROEDER, D. Relationship between soil potassium and the potassium nutrition of the plant. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 11., 1978, Bern. **Proceedings...** Bern: International Potash Institute, 1979. p.43-63.

SILVA, J.R.T.; MEURER, E.J. Disponibilidade de potássio para as plantas em solos do Rio Grande do Sul em função da capacidade de troca de cátions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.1, p.137-142, 1988.

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. de. **Alterações de características do solo na implantação de um sistema de integração agricultura-pecuária leiteira**. 93 f. 2005. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SOUTO, M.S. **Pastagem de aveia e azevém na integração lavoura-pecuária: produção de leite e características do solo**. 80 f. 2006. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia –

Produção Vegetal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SOUZA, E.D. de. **Evolução da matéria orgânica, do fósforo e da agregação do solo em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo.** 2008. 163 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SPARKS, D.L. Bioavailability of soil potassium. In: SUMNER, M.E. (Ed.). **Handbok of soil science.** Boca Raton: CRC Press, 2000. p.38-52.

SPARKS, D.L.; HUANG, P.M. Physical chemistry of soil potassium. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in agriculture.** Madison: American Society of Agronomy, 1985. p.201-276.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2.ed. ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p.

TEIXEIRA, L.B. **Dinâmica do ecossistema de pastagem cultivada em área de floresta na Amazônia Central.** 100 f. 1987. Tese (Doutorado) – Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, 1987.

VEDUIM, J.V.R. **Estimativa da disponibilidade de potássio em solo arenoso.** 1994. 43 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1994.

WANG X.; GONG Z. Assessment of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. **Geoderma**, Amsterdam, v.81, n.3-4, p. 339-355, 1998.

WHITE, S.L. et al. Spatial and time distribution of dairy cattle excreta in an intensive pasture systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.30, n.6, p.2180–2187, 2001.

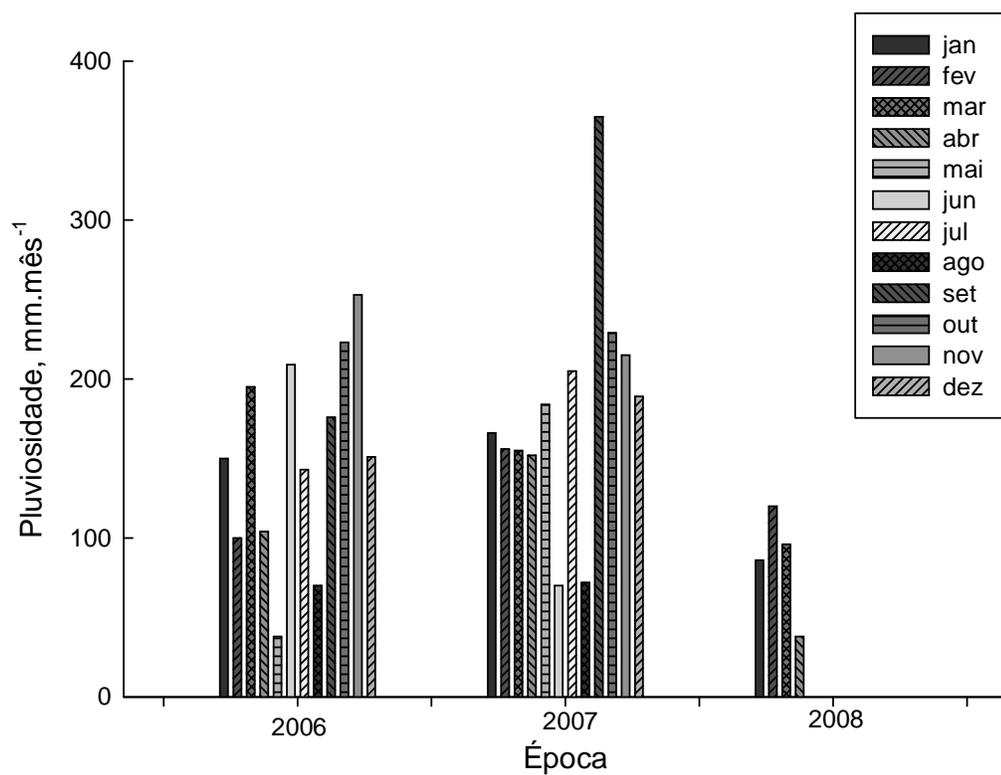
WHITEHEAD, D.C. **Nutrient elements in grassland: Soil–Plant–Animal Relationships.** Wallingford (UK): CAB International, 2000. 369p.

WILKINSON, S.R.; LOWREY, 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 Journal of Agricultural Research**, Thorndon, v.33, p.489-495, 1990.

WITTER, E.; JOHANSSON, G. Potassium uptake from the subsoil by green manure crops. **Biology Agriculture and Horticulture**, [S.l.], v.19, p.127-141, 2001.

## 7. APÊNDICES



**APÊNDICE 1.** Distribuição mensal de chuvas nos anos de 2006, 2007 e parte de 2008, na área experimental da Fazenda do Espinilho (São Miguel das Missões-RS).

**APÊNDICE 2.** Teores de Ca, Mg e H+Al (utilizados no cálculo da  $CTC_{pH\ 7,0}$ ) nas camadas amostradas, em diferentes épocas, em um Latossolo Vermelho distroférico sob intensidades de pastejo (P-10, P-20, P-30 e P-40 cm) e sem pastejo (SP), em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto

Trat.	Época	Rep.	Prof.	Ca	Mg	H+Al	
				.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....			
	Maio/2001						
P-10		1	0-5,0	8,0	4,5	5,7	
		2		7,4	4,0	6,4	
		3		6,1	3,1	7,4	
		1	5,0-10,0	3,6	2,0	9,5	
		2		3,9	1,8	8,4	
		3		5,3	2,5	7,7	
		1	10,0-20,0	2,7	1,5	9,8	
		2		4,0	1,9	6,9	
		3		4,1	2,0	7,3	
	1	20,0-25,0	1,9	1,1	10,7		
	2		2,6	1,2	10,1		
	3		3,0	1,5	8,8		
	P-20		1	0-5,0	6,0	3,3	5,9
			2		6,3	2,7	6,6
			3		5,3	2,8	8,5
1			5,0-10,0	3,3	1,8	9,0	
2				3,7	1,8	9,4	
3				2,8	1,3	10,7	
1			10,0-20,0	2,7	1,3	8,2	
2				2,5	1,3	11,0	
3				2,5	1,2	11,6	
1		20,0-25,0	1,7	0,8	9,0		
2			1,9	0,9	8,5		
3			1,7	0,7	13,7		
P-30			1	0-5,0	6,6	3,7	7,6

Continuação...

continuação...

	2		5,0	2,8	7,1
	3		6,5	3,7	8,7
	1	5,0-10,0	3,0	1,6	11,2
	2		2,8	1,4	8,5
	3		3,7	1,8	10,3
	1	10,0-20,0	2,6	1,3	9,3
	2		2,2	1,1	8,6
	3		2,1	1,1	9,4
	1	20,0-25,0	1,8	0,9	14,9
	2		1,5	0,7	11,6
	3		2,0	1,0	8,9
P-40	1	0-5,0	6,8	4,4	5,7
	2		5,6	3,1	6,6
	3		4,5	2,4	7,6
	1	5,0-10,0	4,0	2,1	11,3
	2		3,4	1,8	8,2
	3		2,9	1,6	8,8
	1	10,0-20,0	3,6	1,8	10,6
	2		2,8	1,4	8,0
	3		2,3	1,3	8,1
	1	20,0-25,0	2,2	1,1	13,2
	2		2,0	1,0	8,2
	3		1,3	0,6	8,9
SP	1	0-5,0	6,5	3,6	7,3
	2		5,4	3,4	6,8
	3		0,7	3,8	7,4
	1	5,0-10,0	5,7	3,1	6,9
	2		2,5	1,3	8,9
	3		4,4	2,2	9,4
	1	10,0-20,0	3,9	2,2	8,2
	2		1,7	0,8	10,1
	3		3,8	1,9	11,5

Continuação...

continuação...

	1	20,0-25,0	2,1	1,1	9,2
	2		1,1	0,5	13,5
	3		2,3	1,3	11,8
	Maio/2007				
P-10	1	0-5,0	6,1	3,3	6,6
	2		6,5	3,5	5,3
	3		5,4	2,8	8,5
	1	5,0-10,0	4,2	2,4	8,8
	2		5,4	2,8	7,3
	3		4,6	2,3	8,5
	1	10,0-20,0	2,3	1,5	10,0
	2		2,9	1,7	8,3
	3		3,6	2,0	8,8
P-20	1	0-5,0	6,1	3,4	5,2
	2		7,8	4,0	12,0
	3		5,5	2,8	7,0
	1	5,0-10,0	3,4	2,1	7,3
	2		5,7	2,9	6,5
	3		3,6	1,8	8,2
	1	10,0-20,0	2,0	1,3	9,4
	2		4,0	2,3	8,0
	3		5,9	1,2	9,8
P-40	1	0-5,0	7,0	3,7	6,0
	2		7,6	4,1	4,2
	3		4,9	2,4	7,2
	1	5,0-10,0	4,9	2,7	8,8
	2		5,2	3,0	5,2
	3		3,4	2,0	8,3
	1	10,0-20,0	4,2	2,1	8,4
	2		3,6	2,2	6,1
	3		1,4	0,9	11,2
SP	1	0-5,0	4,6	2,7	6,0

Continuação...

continuação...

		2		4,8	2,5	7,2
		3		5,3	2,6	9,8
		1	5,0-10,0	4,0	2,4	8,2
		2		2,7	1,6	8,9
		3		4,2	2,1	8,6
		1	10,0-20,0	2,7	1,8	7,5
		2		1,9	1,3	9,3
		3		2,8	1,6	9,0
	Nov./2007					
P-10		1	0-5,0	5,7	3,1	6,4
		2		5,5	2,9	6,7
		3		6,1	3,0	7,5
		1	5,0-10,0	4,4	2,6	7,3
		2		4,1	2,2	8,2
		3		4,2	2,1	8,0
		1	10,0-20,0	2,9	1,9	10,1
		2		2,7	1,5	9,5
		3		2,6	1,4	10,8
		1	20,0-30,0	1,5	0,9	15,3
		2		1,7	0,9	13,7
		3		1,6	0,7	13,3
		1	30,0-40,0	1,3	0,8	16,3
		2		1,6	0,8	11,7
		3		1,5	0,6	13,9
P-20		1	0-5,0	5,5	3,1	5,8
		2		6,4	3,2	5,9
		3		5,7	3,1	7,2
		1	5,0-10,0	4,0	2,5	7,6
		2		5,1	2,8	6,1
		3		4,4	2,4	8,2
		1	10,0-20,0	2,5	1,6	10,7
		2		3,2	1,8	10,8

Continuação...

continuação...

	3		2,5	1,5	9,6
	1	20,0-30,0	1,3	0,6	11,9
	2		1,7	0,9	18,3
	3		1,6	0,7	14,4
	1	30,0-40,0	1,1	0,6	12,5
	2		1,5	0,8	16,6
	3		1,4	0,6	15,0
P-30	1	0-5,0	5,4	2,9	7,2
	2		6,2	3,1	6,5
	3		5,6	3,1	5,8
	1	5,0-10,0	4,2	2,4	8,1
	2		4,4	2,2	7,2
	3		4,4	2,4	7,3
	1	10,0-20,0	2,4	1,5	11,1
	2		3,2	1,8	9,8
	3		2,7	1,5	8,4
	1	20,0-30,0	1,4	0,8	15,4
	2		1,9	1,1	10,8
	3		1,6	0,8	12,9
	1	30,0-40,0	1,1	0,6	16,2
	2		1,5	0,9	13,9
	3		1,3	0,6	13,1
P-40	1	0-5,0	7,6	4,3	4,6
	2		5,3	2,4	7,3
	3		4,7	2,4	6,2
	1	5,0-10,0	4,5	2,7	7,8
	2		4,4	2,3	8,0
	3		3,2	1,6	8,8
	1	10,0-20,0	3,2	2,1	11,4
	2		2,4	1,3	9,5
	3		2,0	1,0	12,1
	1	20,0-30,0	2,0	1,2	13,5

Continuação...

continuação...					
	2		1,6	0,9	10,8
	3		1,5	0,7	13,2
	1	30,0-40,0	2,0	1,1	13,2
	2		1,9	1,1	12,1
	3		1,1	0,6	11,9
SP	1	0-5,0	6,5	3,3	5,2
	2		5,1	2,6	6,5
	3		6,1	2,9	8,2
	1	5,0-10,0	6,2	3,3	5,0
	2		3,8	2,0	7,3
	3		4,0	2,0	10,1
	1	10,0-20,0	3,7	2,2	5,6
	2		2,0	1,1	10,2
	3		3,9	2,0	8,9
	1	20,0-30,0	1,3	0,9	8,5
	2		5,4	0,9	11,6
	3		1,8	1,0	10,9
	1	30,0-40,0	0,9	0,5	10,0
	2		1,6	0,7	11,3
	3		1,7	1,0	12,1
		Maio/2008			
P-10	1	0-5,0	6,1	3,2	9,5
	2		5,3	2,9	9,0
	3		6,4	3,1	7,9
	1	5,0-10,0	4,2	2,4	10,0
	2		3,7	2,1	10,6
	3		5,1	2,7	9,1
	1	10,0-20,0	2,9	1,7	12,0
	2		2,6	1,5	13,9
	3		3,3	1,9	11,3
	1	20,0-30,0	1,5	1,0	19,1
	2		1,5	0,8	18,1
	3		6,5	1,5	16,1

Continuação...

continuação...					
	1	30,0-40,0	1,4	1,0	17,8
	2		2,1	1,1	17,1
	3		2,3	1,4	16,1
P-20	1	0-5,0	5,7	3,1	6,8
	2		5,7	2,9	8,0
	3		4,5	2,5	9,2
	1	5,0-10,0	3,9	2,4	8,3
	2		4,9	2,7	9,3
	3		4,0	2,2	10,4
	1	10,0-20,0	3,1	2,0	8,7
	2		3,9	2,2	9,9
	3		3,0	1,8	12,3
	1	20,0-30,0	1,4	0,9	13,0
	2		2,2	1,4	13,9
	3		1,8	0,9	15,1
	1	30,0-40,0	1,2	0,8	14,1
	2		1,6	1,0	14,9
	3		1,4	0,7	17,5
P-30	1	0-5,0	5,9	3,2	7,9
	2		5,9	2,9	7,1
	3		5,1	2,8	9,1
	1	5,0-10,0	4,8	2,6	8,5
	2		4,0	2,2	8,5
	3		2,9	1,8	11,5
	1	10,0-20,0	2,7	1,7	11,5
	2		3,0	1,8	9,1
	3		2,1	1,3	14,0
	1	20,0-30,0	1,6	1,1	13,4
	2		1,9	1,3	10,5
	3		1,6	1,0	15,5
	1	30,0-40,0	1,4	1,0	15,1
	2		1,4	1,2	11,5

Continuação...

continuação...

	3		1,5	0,9	15,8
P-40	1	0-5,0	6,7	3,9	6,8
	2		6,3	3,4	6,1
	3		4,0	2,3	9,9
	1	5,0-10,0	5,1	2,8	8,1
	2		5,0	2,9	6,3
	3		2,6	1,7	10,9
	1	10,0-20,0	3,4	1,5	11,9
	2		3,3	2,0	9,2
	3		1,5	1,1	12,9
	1	20,0-30,0	1,8	1,2	16,5
	2		1,9	1,2	14,6
	3		0,8	0,6	15,8
	1	30,0-40,0	1,6	1,1	16,9
	2		1,6	1,1	15,7
	3		0,8	0,6	15,9
SP	1	0-5,0	5,6	3,2	6,0
	2		6,5	3,8	4,9
	3		3,9	2,1	9,5
	1	5,0-10,0	4,0	2,5	7,6
	2		4,4	2,8	4,8
	3		3,3	2,0	10,0
	1	10,0-20,0	2,6	1,7	9,1
	2		1,9	1,5	9,1
	3		1,9	1,3	12,3
	1	20,0-30,0	1,3	1,0	11,6
	2		0,6	0,5	14,5
	3		1,0	0,7	15,3
	1	30,0-40,0	1,3	0,9	13,7
	2		0,7	0,4	16,5
	3		1,0	0,7	18,4

---

 Trat.= tratamento; Rep.= repetição; Prof.= profundidade.