



## MISSÃO

Desenvolver e promover informações científicas sobre o manejo responsável dos nutrientes das plantas para o benefício da família humana

# INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS

Nº 136 DEZEMBRO/2011

## CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-PECUÁRIA DE CORTE EM PLANTIO DIRETO E IMPLICAÇÕES NA ADUBAÇÃO<sup>1,2</sup>



*Ibanor Anghinoni<sup>3</sup>  
Joice Mari Assmann<sup>4</sup>*

### 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

No contexto da integração lavoura-pecuária, a ciclagem de nutrientes deve incluir aqueles elementos tradicionalmente considerados como essenciais às plantas, bem como aqueles essenciais aos seres vivos componentes do sistema. Assim, cromo (Cr), estanho (Sn), flúor (F), iodo (I), selênio (Se), silício (Si), sódio (Na) e vanádio (V), não tidos como essenciais às plantas, são, porém, essenciais aos seres vivos e passam a constituir parte do sistema. Nesta abordagem, alguns nutrientes – carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H) e nitrogênio (N) – são considerados construtores dos organismos, e os demais, em quantidades maiores, são definidos como macronutrientes, ou em quantidades menores, como micronutrientes.

Entende-se a ciclagem de nutrientes como o movimento (fluxo) dos elementos entre os diversos compartimentos do sistema de produção agropecuária (atmosfera-planta-animal-solo), em uma série de processos que ocorrem nos respectivos ciclos biogeoquímicos. A ciclagem envolve, então, a medição da quantidade e da velocidade de transferência dos elementos de um compartimento ao outro, chegando-se, ao final, no balanço de nutrientes do sistema. O pleno conhecimento da ciclagem é importante para o uso eficiente

dos nutrientes do solo, dos resíduos e dos fertilizantes, desde que se conheça a sincronia entre sua disponibilização e a demanda da cultura instalada, o que permite estabelecer a adubação para o sistema de produção.

Os nutrientes presentes nos ecossistemas se movimentam entre os diversos compartimentos em ciclos denominados biogeoquímicos, estudados pela Biogeoquímica – ciência que trata da troca ou da circulação de matéria e energia entre os componentes vivos e físico-químicos da biosfera. O componente biológico (bio) se relaciona aos organismos vivos interagindo no processo de síntese orgânica e decomposição das substâncias; o componente geológico (geo) se refere ao meio terrestre (mineral) como fonte dos elementos (nutrientes); e o componente químico considera propriamente os ciclos dos elementos. Desta forma, as plantas, absorvendo nutrientes e água do solo e incorporando carbono (via fotossíntese), promovem o crescimento e a produção de biomassa (parte aérea e raízes) que, após cumprirem sua finalidade, retornam ao solo na forma de resíduo vegetal. Na sua decomposição, liberam CO<sub>2</sub> e nutrientes ou, ainda, formam compostos orgânicos complexos (húmus) – a matéria orgânica estável do solo que, de forma lenta e gradativa, libera também CO<sub>2</sub> e nutrientes minerais.

**Abreviações:** Cr = cromo, F = flúor, I = iodo, N = nitrogênio, P = fósforo, K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, S = enxofre, Sn = estanho, B = boro, Cu = cobre, Fe = ferro, Mn = manganês, Na = sódio, Se = selênio, Si = silício, Zn = zinco, V = vanádio.

<sup>1</sup> Este trabalho foi submetido pelo autor seguindo as normas do Prêmio IPNI Brasil em Nutrição de Plantas, dentre as quais estabelece que o premiado deve escrever um artigo para o jornal Informações Agronômicas. Dr. Ibanor Anghinoni foi o escolhido para o Prêmio em 2011.

<sup>2</sup> Parte do trabalho apresentado no III Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, Pato Branco, PR, 05 a 07 de julho de 2011.

<sup>3</sup> Docente Convidado do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS; Consultor Técnico do IRGA; email: [ibanghi@ufrgs.br](mailto:ibanghi@ufrgs.br)

<sup>4</sup> Aluna de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS; email: [joiceassmann@hotmail.com](mailto:joiceassmann@hotmail.com)

**INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE - BRASIL**

Rua Alfredo Guedes, 1949 - Edifício Rácz Center, sala 701 - Fone/Fax: (19) 3433-3254 - Website: [www.ipni.org.br](http://www.ipni.org.br) - E-mail: [ipni@ipni.com.br](mailto:ipni@ipni.com.br)  
13416-901 Piracicaba-SP, Brasil

## INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS

Publicação trimestral gratuita do International Plant Nutrition Institute (IPNI), Programa Brasil. O jornal publica artigos técnico-científicos elaborados pela comunidade científica nacional e internacional, visando o manejo responsável dos nutrientes das plantas.

### COMISSÃO EDITORIAL

#### Editor

Luís Ignácio Prochnow

#### Editores Assistentes

Valter Casarin e Silvia Regina Stipp

#### Gerente de Distribuição

Evandro Luis Lavorenti

### INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE (IPNI)

#### Presidente do Conselho

Joachim Felker (K+S Group)

#### Vice-Presidente do Conselho

Stephen R. Wilson (CF Industries Holdings Inc.)

#### Tesoureiro

Mhamed Ibnabdeljalil (OCP Group)

#### Presidente

Terry L. Roberts

#### Vice-Presidente, Coordenador do Grupo da Ásia e África

Adrian M. Johnston

#### Vice-Presidente, Coordenadora do Grupo do Oeste Europeu/Ásia Central e Oriente Médio

Svetlana Ivanova

#### Vice-Presidente Senior, Diretor de Pesquisa e Coordenador do Grupo das Américas e Oceania

Paul E. Fixen

### PROGRAMA BRASIL

#### Diretor

Luís Ignácio Prochnow

#### Diretor Adjunto

Valter Casarin

#### Publicações

Silvia Regina Stipp

#### TI e Assistente Administrativo

Evandro Luis Lavorenti

#### Assistente Administrativo

Renata Fiuza

### ASSINATURAS

Assinaturas gratuitas são concedidas mediante aprovação prévia da diretoria. O cadastramento pode ser realizado no site do IPNI: [www.ipni.org.br](http://www.ipni.org.br)  
Mudanças de endereço podem ser solicitadas por email para: [rfiuza@ipni.net](mailto:rfiuza@ipni.net)

Esta publicação foi impressa e distribuída com o apoio financeiro parcial das seguintes instituições/empresas:

#### ABISOLO

FERTILIZANTES HERINGER S.A.  
YARA BRASIL FERTILIZANTES S.A.

Nº 136 DEZEMBRO/2011

## CONTEÚDO

### Ciclagem de nutrientes em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e implicações na adubação

*Ibanor Anghinoni, Joice Mari Assmann* ..... 1

### Ação do gesso e do calcário na relação Ca:Mg do solo e na produtividade da cana-de-açúcar

*José Luiz Ioriatti Demattê* ..... 11

IPNI em Destaque ..... 17

Divulgando a Pesquisa ..... 18

Painel Agrônomico ..... 20

Cursos, Simpósios e outros Eventos ..... 22

Publicações Recentes ..... 23

Ponto de Vista ..... 24

### NOTA DOS EDITORES

Todos os artigos publicados no Informações Agronômicas estão disponíveis em formato pdf no website do IPNI Brasil: [www.ipni.org.br](http://www.ipni.org.br)

Opiniões e conclusões expressas pelos autores nos artigos não refletem necessariamente as mesmas do IPNI ou dos editores deste jornal.

### FOTO DESTAQUE



A EQUIPE DO IPNI BRASIL DESEJA A TODOS UM FELIZ NATAL E UM 2012 REPLETO DE REALIZAÇÕES!

Dr. Luís Prochnow, Silvia Stipp, Dr. Valter Casarin, Renata Fiuza e Evandro Lavorenti

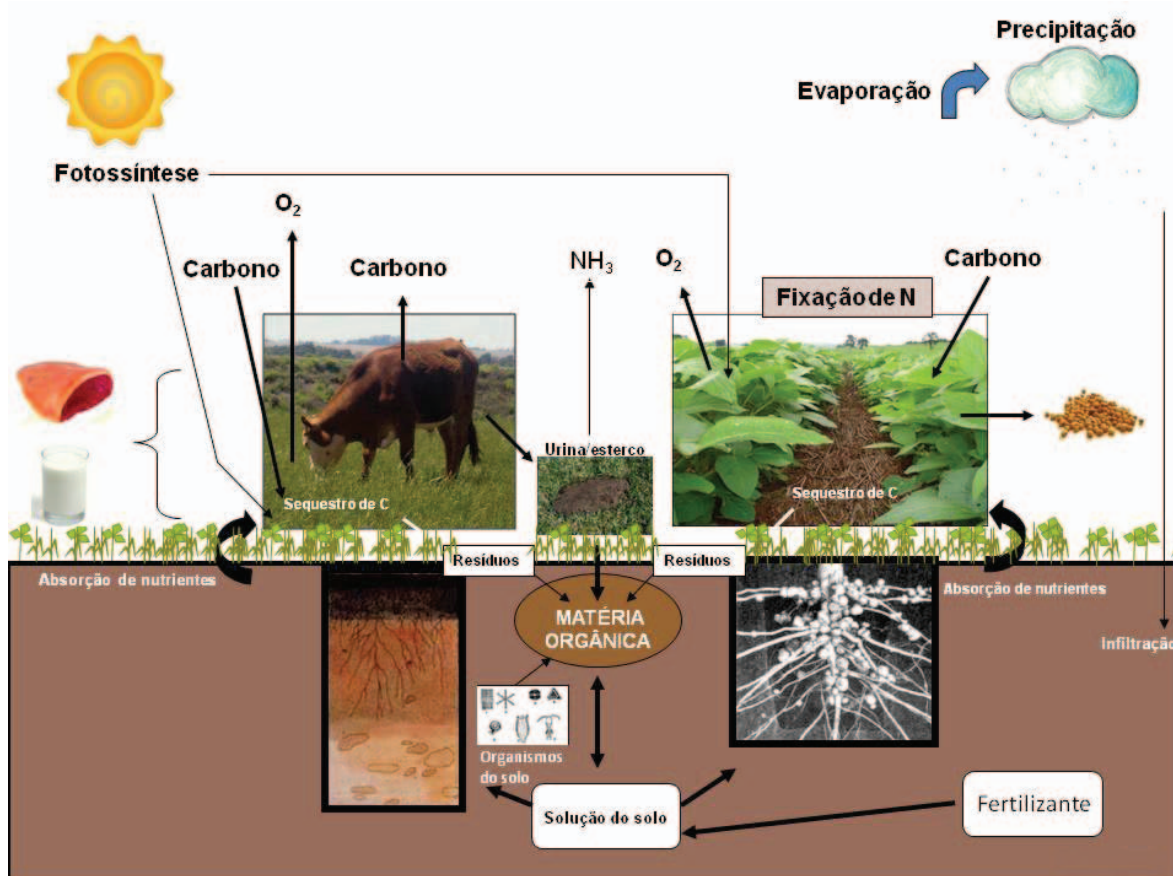
A entrada do animal no sistema produtivo modifica os fluxos entre os compartimentos, por haver ingestão de nutrientes, via consumo da forragem, sua digestão e posterior retorno ao sistema (CAVALCANTE, 2011). Além de impor heterogeneidade em uma série de variáveis, a presença do animal altera os fluxos de nutrientes, em sua natureza e magnitude, modificando o funcionamento do sistema. Neste particular, o solo pode ser considerado o compartimento centralizador de processos e aquele que captura o sentido, maior ou menor, das modificações do sistema (ANGHINONI et al., 2010; CARVALHO et al., 2010). Enquanto os cultivos se sucedem, tanto quanto a presença dos animais, o solo é o único compartimento a permanecer convergindo alterações em seus atributos e propriedades ao longo do tempo. O animal em pastejo, por sua vez, pode ser considerado o elemento catalisador que cicla e/ou recicla o material vegetal e modifica profundamente a dinâmica dos nutrientes nos diversos compartimentos do sistema, conforme ilustra a Figura 1.

As pesquisas sobre ciclagem de nutrientes em sistemas de integração lavoura-pecuária (ADAMI, 2009; KOSELINSKI, 2009; BORTOLLI, 2010) estão em franco progresso no Brasil, porém, são ainda incipientes e abordam o seu fluxo somente entre alguns dos compartimentos do sistema. Basicamente, consistem na decomposição de resíduos (palhada e excreta) e a consequente liberação de nutrientes, em sacos de decomposição (*litter bags*) no campo, na forma de taxas e tempos de meia-vida, pelo ajuste ( $R^2$ ) de modelos não lineares (WIEDER e LANG, 1982) em relação à natureza dos resíduos (lábil e recalcitrante). É, entretanto, importante conhecer a ciclagem dos nutrientes em sistemas integrados de longa duração e em plantio direto, pois as adições e as perdas de carbono e de energia modificam o estado de organização do solo e o próprio funcionamento do sistema agropecuário (MIELNICZUK et al., 2003).

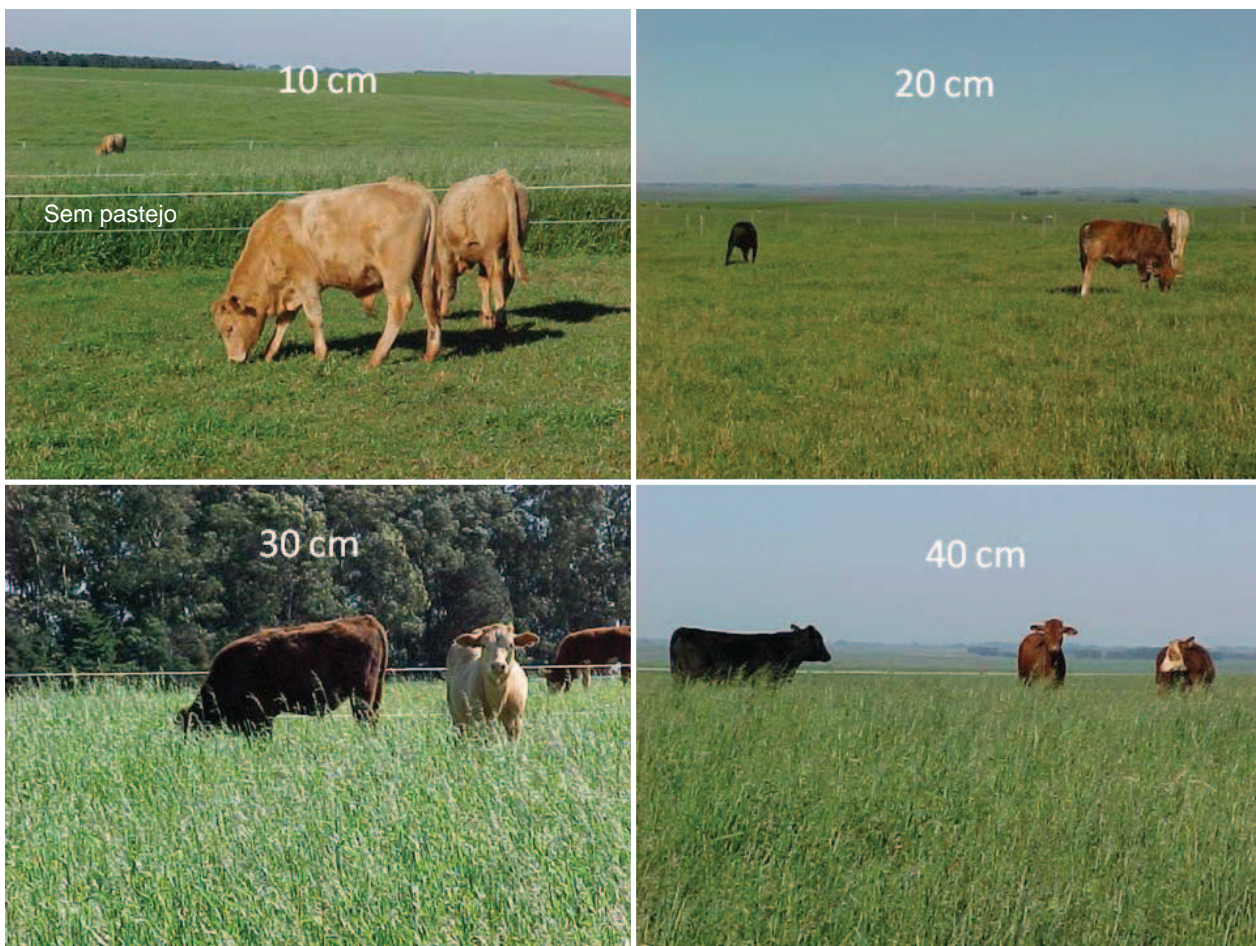
## 2. CICLAGEM DE FÓSFORO E DE POTÁSSIO NA INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE EM PLANTIO DIRETO

Para ilustrar essa temática, far-se-á o uso de um protocolo experimental de longa duração, instalado em 2001 em Latossolo Vermelho distroférico na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul (CASSOL, 2003). A área original (22 ha) de campo nativo foi convertida em lavoura, cultivada no sistema plantio direto a partir de 1993, para a produção de soja, no verão, e de sementes de aveia preta, no inverno. Os tratamentos constam de diferentes alturas (10 cm, 20 cm, 30 cm e 40 cm) de manejo do pasto (aveia preta mais azevém) e um tratamento de referência (sem pastejo), no inverno (Figura 2), e o cultivo da soja, no verão. Nesse contexto, a intensidade de pastejo é que determina a sustentabilidade do sistema, pois, ao manejar o número de animais por unidade de área e a sua distribuição no espaço, define-se a capacidade da fase pastagem em prover o balanço positivo ou negativo de carbono no sistema.

O manejo correto do pasto, o “bom pastejo”, conforme consta em Carvalho et al. (2011), é decisivo não somente para a obtenção de elevados rendimentos na fase de produção animal, mas também para garantir a alta produtividade da cultura de verão, no caso, a soja. Os animais devem ser colocados em áreas onde haja pasto em oferta adequada para que possam se alimentar de forma a não causarem prejuízos ao solo (compactação) e ao sistema. Se o objetivo é obter os produtos oriundos do animal, é fundamental ter como meta adequar a taxa de lotação à disponibilidade de forragem. Excesso de animais prejudica o crescimento do pasto e penaliza o seu desempenho, enquanto lotações muito baixas são ineficientes em transformar pasto em renda. O “bom pastejo” deve remover uma



**Figura 1.** Representação esquemática do ciclo biogeoquímico de nutrientes no sistema de integração soja-bovinos de corte.  
**Fonte:** Wesp (2010).



**Figura 2.** Alturas de manejo do pasto (aveia preta + azevém) em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto.  
**Fonte:** Cassol (2003).

quantidade de área foliar que não prejudique a interceptação da luz, além de otimizar o crescimento do pasto e a produção animal. No caso da presente integração soja-bovinos de corte, essa meta vai além, pois a área, depois de pastejada, deixa resíduos (pastagem e excretas) diferenciados, tanto em quantidade quanto em composição (lignina e celulose), que apresentarão diferentes taxas de decomposição e, portanto, de liberação de nutrientes para a cultura de soja. Esta, por sua vez, depois da colheita dos grãos, deixa resíduos de diferentes naturezas (folhas e caules), cuja quantidade e composição dependerá dos efeitos da intensidade de pastejo sobre seu desenvolvimento.

### 2.1. Decomposição dos resíduos do pastejo e da soja

As quantidades de resíduos gerados no ciclo (2010/11) bovinos de corte-soja (Tabela 1) foram elevadas, sendo as diferenças (de 7,47 t ha<sup>-1</sup> para 11,93 t ha<sup>-1</sup>) determinadas essencialmente pelos resíduos de pasto, mesmo que o esterco tenha variado em ordem inversa. Quanto aos resíduos de soja, estes não foram alterados com a intensidade de pastejo.

A dinâmica de decomposição dos resíduos foi, por sua vez, determinada pela natureza de seus constituintes, assim denominados: lábil e recalcitrante, isto é, de fácil e de difícil decomposição, respectivamente, determinados pelos teores de celulose e de lignina. A decomposição dessas formas pode ser concomitante ou de forma separada (primeiro, a lábil e, depois, a recalcitrante) e identificada pelo ajuste de equações não lineares (WIEDER e LANG, 1982). O tempo de meia vida (T<sup>1/2</sup>), isto é, o tempo

**Tabela 1.** Quantidade de resíduos produzidos nos diferentes compartimentos em um ciclo de pastejo-soja (junho/2009 a maio/2010).

Resíduo	Alturas de manejo do pasto (cm)				Sem pastejo
	10	20	30	40	
----- (t ha <sup>-1</sup> ) -----					
Pasto	1,33	3,24	4,64	6,24	6,14
Esterco	1,34	0,90	0,69	0,57	0,00
Soja - caules	2,71	2,81	2,87	2,56	2,87
Soja - folhas	2,09	2,39	2,59	2,56	2,85
Total	7,47	9,34	10,79	11,93	11,86

**Fonte:** Assmann (2011).

para decompor a metade do resíduo ou para liberar a metade do nutriente do resíduo, tem sido utilizado para comparar os efeitos do manejo do sistema na liberação dos nutrientes. Nessa perspectiva, quando o ajuste das funções for maior para a decomposição separada, resultará em um único T<sup>1/2</sup> (fração lábil) e, quando o ajuste indica decomposição conjunta, resultará em dois T<sup>1/2</sup> (fração lábil e recalcitrante).

Nota-se que o tempo de meia vida (T<sup>1/2</sup>) da fração recalcitrante dos diferentes resíduos é elevado (Tabela 2), porém, varia com as diferentes alturas de manejo de pasto, sendo menores nos resíduos de folhas de soja (142 a 149 dias), e maiores nos resíduos de esterco (179 a 303 dias) e de pasto (175 a 582 dias), indicando ser a sua de-

**Tabela 2.** Tempo de meia vida ( $T^{1/2}$ ) da decomposição dos resíduos nos diferentes compartimentos em um ciclo de pastejo-soja (junho/2009 a maio/2010).

Resíduo	Fração	Alturas de manejo do pasto (cm)				Sem pastejo
		10	20	30	40	
----- (dias) -----						
Pasto <sup>(1)</sup>	Lábil	25	13	13	40	25
	Recalcitrante	462	175	582	422	302
Esterco bovino <sup>(1)</sup>	Lábil	10	5	15	16	-
	Recalcitrante	303	179	266	294	-
Soja - folhas <sup>(2)</sup>	Lábil	16	18	23	18	18
	Recalcitrante	145	142	149	142	142
Soja - caules <sup>(2)</sup>	Lábil	58	58	61	58	66

<sup>(1)</sup> Coletado em novembro de 2009; <sup>(2)</sup> Coletado em abril de 2010.

Fonte: Assmann (2011).

composição mais importante no ciclo subsequente da própria cultura. A decomposição da fração lábil, entretanto, é rápida em todos os resíduos, sendo, porém, menor no esterco (5 a 16 dias), e maior nas folhas de soja (16 a 23 dias), no resíduo de pasto (13 a 40 dias) e, por fim, nos caules da soja (58 a 66 dias). Entretanto, essa fração (lábil) representa somente 8%, 35% e 38% do total do fósforo nas folhas de soja, no pasto e no esterco, respectivamente. No caso dos caules de soja, o tempo de meia-vida, considerando o ajuste único para a fração lábil, é relativamente elevado (58 a 66 dias).

Como visto anteriormente (Tabela 2), a decomposição do resíduo de pasto é mais demorada do que a do esterco e, em ambos os casos, com menor persistência nos pastejos moderados (20 e 30 cm de altura), considerando o tempo de meia vida ( $T^{1/2}$ ) da fração lábil, que foi menor e com ajuste único para a pastagem, indicando decomposição separada, iniciando pela fração lábil. O resíduo de pasto, em pastejo moderado, decompõe-se mais facilmente em função da constante rebrota e maior presença de folhas, colmos e perfilhos jovens, ao contrário do que ocorre em pastejo intenso ou sem pastejo, que resultam, de acordo com Assmann (2011), em acúmulo de componentes mais lignificados (em média 12%, contra 9% no pastejo moderado). A decomposição dos resíduos da soja, tanto da fração lábil (folhas e caules) quanto da fração recalcitrante (caules), não foi afetada pela intensidade de pastejo, sendo a fração lábil das folhas decomposta mais rapidamente do que a dos caules, e a fração recalcitrante das folhas, mais rapidamente do que a dos resíduos de pasto e de esterco.

## 2.2. Liberação de fósforo e de potássio pela decomposição dos resíduos

As quantidades de fósforo e de potássio dos resíduos (Tabela 3), liberadas a partir da sua decomposição (Tabela 1), também foram determinadas pelo ajuste a modelos de regressão não lineares aos valores observados, concomitante ou de forma separada (primeiro, a lábil e, depois, a recalcitrante). Nota-se que as quantidades de fósforo foram menores do que as de potássio nas culturas (pastagem e soja) e um pouco superiores no esterco (Tabela 3). Ambos os nutrientes (P e K) foram encontrados majoritariamente nos resíduos de pasto, que aumentaram com a diminuição da intensidade de pastejo (Tabela 1). As quantidades desses nutrientes liberadas pelos resíduos de soja não sofreram alteração sob a ação do pastejo anterior.

Para o fósforo (Tabela 4), exceção para sua liberação das folhas (decomposição separada, primeiro a fração lábil), o maior ajuste ocorreu para a decomposição conjunta dos constituintes (lábeis e recalcitrantes). O tempo de meia vida ( $T^{1/2}$ ) da fração recalcitrante dos diferentes resíduos é elevado, sendo, entretanto, menor nas folhas de soja (142 a 149 dias, entre as alturas de pastejo), seguido do esterco (179 a 303 dias) e do pasto (175 a 502 dias), indicando ser o suprimento de fósforo dessa forma, somente importante no ciclo subsequente da própria cultura. A decomposição da fração lábil, entretanto, é rápida para todos os resíduos, sendo, porém, menor para o esterco (5 a 16 dias),

**Tabela 3.** Quantidade de nutrientes nos diferentes resíduos das culturas e do esterco em um ciclo de pastejo-soja (junho/2009 a maio/2010).

Altura de manejo	Resíduo de pasto <sup>(1)</sup>		Resíduo de esterco <sup>(1)</sup>		Resíduo de folhas de soja <sup>(2)</sup>		Resíduo de caules de soja <sup>(2)</sup>	
	P	K	P	K	P	K	P	K
(cm)	----- (kg ha <sup>-1</sup> ) -----							
10	4	16	13	9	4	26	4	31
20	6	39	12	7	4	34	5	30
30	10	62	12	7	4	33	5	32
40	15	86	11	6	5	36	4	30
SP <sup>(3)</sup>	18	85	-	-	6	37	5	42

<sup>(1)</sup> Coletado em novembro de 2009; <sup>(2)</sup> Coletado em abril de 2010; <sup>(3)</sup> SP = sem pastejo.

Fonte: Assmann (2011).

**Tabela 4.** Tempo de meia vida ( $T^{1/2}$ ) do fósforo em frações e resíduos no sistema de integração soja-bovinos de corte sob diferentes intensidades de pastejo (junho/2009 a maio/2010).

Resíduo	Fração	Alturas de manejo do pasto (cm)				Sem pastejo
		10	20	30	40	
----- (dias) -----						
Pastagem <sup>(1)</sup>	Lábil	25	13	13	40	25
	Recalcitrante	462	175	582	422	302
Esterco bovino <sup>(1)</sup>	Lábil	10	5	15	16	-
	Recalcitrante	303	179	266	294	-
Soja - folhas <sup>(2)</sup>	Lábil	16	18	23	18	18
	Recalcitrante	145	142	149	142	142
Soja - caules <sup>(2)</sup>	Lábil	58	58	61	58	66

<sup>(1)</sup> Coletado em novembro de 2009; <sup>(2)</sup> Coletado em abril de 2010.

Fonte: Assmann (2011).

seguido das folhas de soja (16 a 23 dias), do resíduo de pasto (13 a 40 dias) e, por fim, do caule da soja (58 a 66 dias). Essa fração (lábil) representa somente 8%, 35% e 38% do total do fósforo nas folhas de soja e nos resíduos de pasto e do esterco, respectivamente. No caso dos caules de soja, o tempo de meia-vida, considerando o ajuste único para a fração lábil, é relativamente elevado (58 a 66 dias). O tempo de meia-vida mais baixo para a liberação de fósforo dessas frações (lábeis) está relacionado ao menor teor de lignina em relação à fração recalcitrante (ASSMANN, 2011).

Na liberação de potássio dos diferentes resíduos (Tabela 5), foi considerado unicamente o ajuste para a fração lábil, uma vez que o mesmo não faz parte de constituintes estruturais dos resíduos e é rapidamente disponibilizado. Isto pode ser verificado pelo tempo de meia-vida bastante baixo para todos os resíduos: folhas de soja (8–9 dias, entre as alturas de pastejo), esterco (11–12 dias), caules de soja (12–15 dias) e resíduo de pasto (15–18 dias) sendo, em todos os casos, pouco afetado pela intensidade de pastejo, o que indica a sua liberação imediata para a própria cultura (pastagem e soja) e ciclagem no sistema.

### 2.3. Suprimento de fósforo e potássio pela ciclagem dos resíduos

#### 2.3.1. Suprimento de fósforo dos resíduos do pastejo para a soja

A partir dos modelos ajustados para as frações lábeis e recalcitrantes, foram estimadas as quantidades de fósforo libera-

das ao longo do tempo de decomposição dos resíduos de pastejo (Figura 3). A quantidade total liberada a partir do final do pastejo (Figura 3C), resultante do somatório daquela proveniente do resíduo do pasto (Figura 3A) e do esterco (Figura 3B), foi de 6,8 kg ha<sup>-1</sup>, no pastejo a 10 cm, a 12,4 kg ha<sup>-1</sup>, a 40 cm. Essas quantidades, mesmo diferenciadas entre as alturas de manejo do pasto, são significativas, pois correspondem de 26% a 47% da dose indicada pela CQFS-RS/SC (2004), de 26,2 kg ha<sup>-1</sup> de P (60 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), para uma produtividade de soja de 4 t ha<sup>-1</sup>, em solos com teor disponível de fósforo na faixa de suficiência (acima do teor crítico). As quantidades liberadas desse nutriente – de 4,0 a 7,5 kg ha<sup>-1</sup> de P (11,6 a 16 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – entre os tratamentos, são também importantes para o estabelecimento da soja, que ocorre até aproximadamente 45 dias da retirada dos animais do pasto. Considerando que o fósforo se encontra na forma orgânica nos resíduos, a sua liberação gradativa restringe a possibilidade de sua retenção aos óxidos-hidróxidos de Fe e Al, elevados nesse solo, e pode levar a uma utilização mais eficiente pelas plantas, quando comparada à aplicação de adubos minerais prontamente solúveis.

#### 2.3.2. Suprimento de fósforo dos resíduos da soja para a pastagem

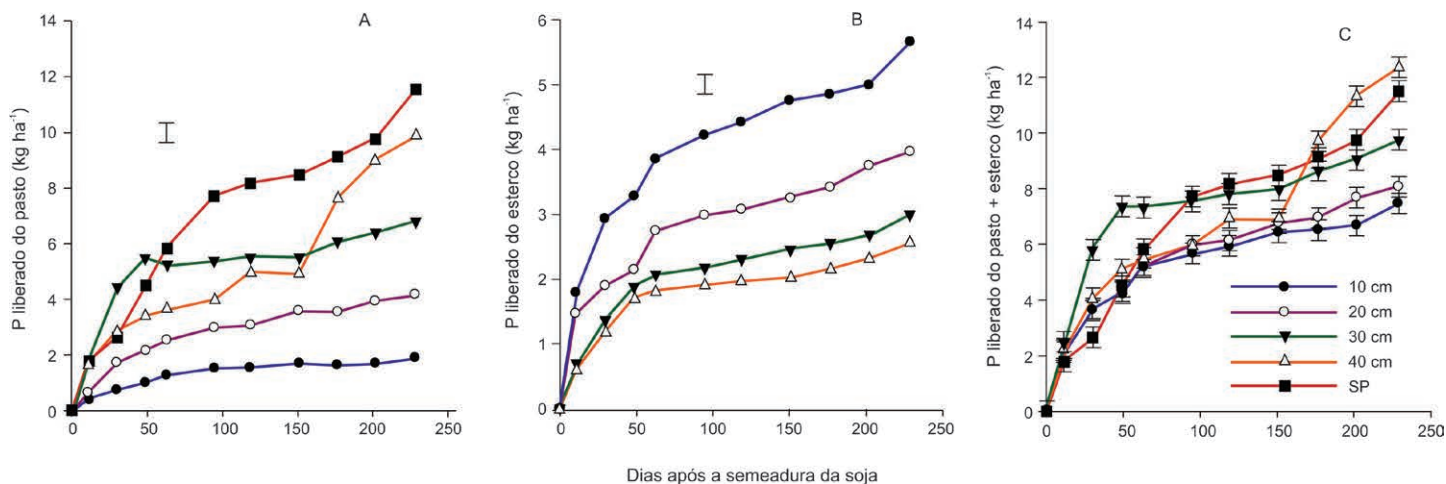
A liberação de fósforo dos resíduos da soja – folhas (Figura 4A) e caules (Figura 4B) – para a pastagem, cultivada na sequência, é relativamente pequena (Figura 4C) em relação à demanda, especialmente no período de seu estabelecimento, que ocorre em torno

**Tabela 5.** Tempo de meia vida ( $T^{1/2}$ ) de potássio em frações e resíduos no sistema de integração soja-bovinos de corte sob diferentes intensidades de pastejo (junho/2009 a maio/2010).

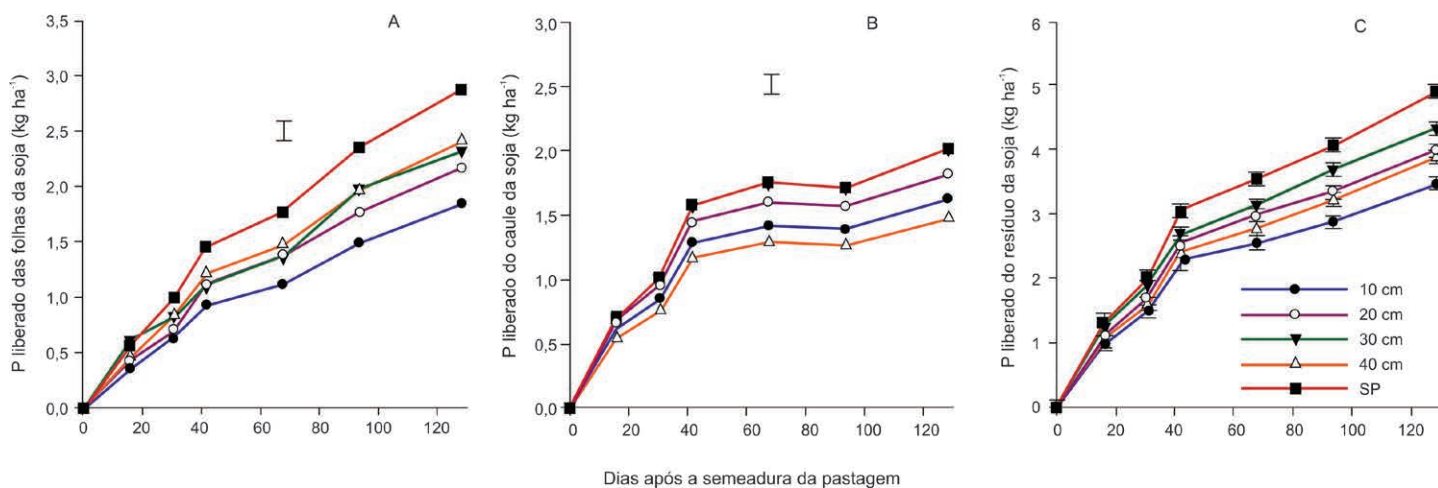
Resíduo	Fração	Alturas de manejo do pasto (cm)				Sem pastejo
		10	20	30	40	
----- (dias) -----						
Pastagem <sup>(1)</sup>	Lábil	15	18	18	18	15
Esterco bovino <sup>(1)</sup>	Lábil	11	11	12	11	-
Soja - folhas <sup>(2)</sup>	Lábil	9	9	8	8	8
Soja - caules <sup>(2)</sup>	Lábil	15	15	12	15	18

<sup>(1)</sup> Coletado em novembro de 2009; <sup>(2)</sup> Coletado em abril de 2010.

Fonte: Assmann (2011).



**Figura 3.** Liberação de fósforo dos resíduos de pastejo (A), de esterco (B) e quantidade acumulada do elemento (C) para a soja cultivada em sequência. **Fonte:** Assmann (2011).



**Figura 4.** Liberação de fósforo dos resíduos de folhas de soja (A), de caules (B) e quantidade acumulada do elemento (C) para o pasto cultivado em sequência. **Fonte:** Assmann (2011).

de um mês após a colheita da soja. Essa liberação, em função do manejo do pasto, pouco variou até o final do período de avaliação (150 dias) – de 3,0 kg ha<sup>-1</sup> no pastejo intenso (10 cm) a 5,0 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento sem pastejo (SP) –, como resultado da contribuição diferenciada da fração recalcitrante dos resíduos de pasto e de esterco (tempo longo de meia-vida), e não dos resíduos de soja, que não se diferenciaram entre as intensidades de pastejo (Tabela 5).

### 2.3.3. Suprimento de potássio dos resíduos do pastejo para a soja

A liberação acumulada de potássio pelos resíduos de pasto e de esterco (Figura 5C) é rápida e seguiu um padrão muito semelhante entre as intensidades de pastejo. As quantidades de potássio liberadas na decomposição do pasto (Figura 5A) e do esterco (Figura 5B), ao longo do tempo, foram elevadas, seguindo a ordem: SP, com 78 kg ha<sup>-1</sup>; no pastejo leve (30 cm), com 77 kg ha<sup>-1</sup>; no pastejo moderado (30 cm), com 70 kg ha<sup>-1</sup>; no pastejo moderado (20 cm), com 45 kg ha<sup>-1</sup>; e no pastejo intenso (10 cm), com 35 kg ha<sup>-1</sup>. Essas quantidades são relevantes, representando 99% (tratamento SP) a 44% (pastejo intenso - 10 cm) da quantidade de 79 kg ha<sup>-1</sup> de K (95 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O) para uma produtividade de 4 t ha<sup>-1</sup> de grãos de soja, considerando que os teores disponíveis no solo se encontram na

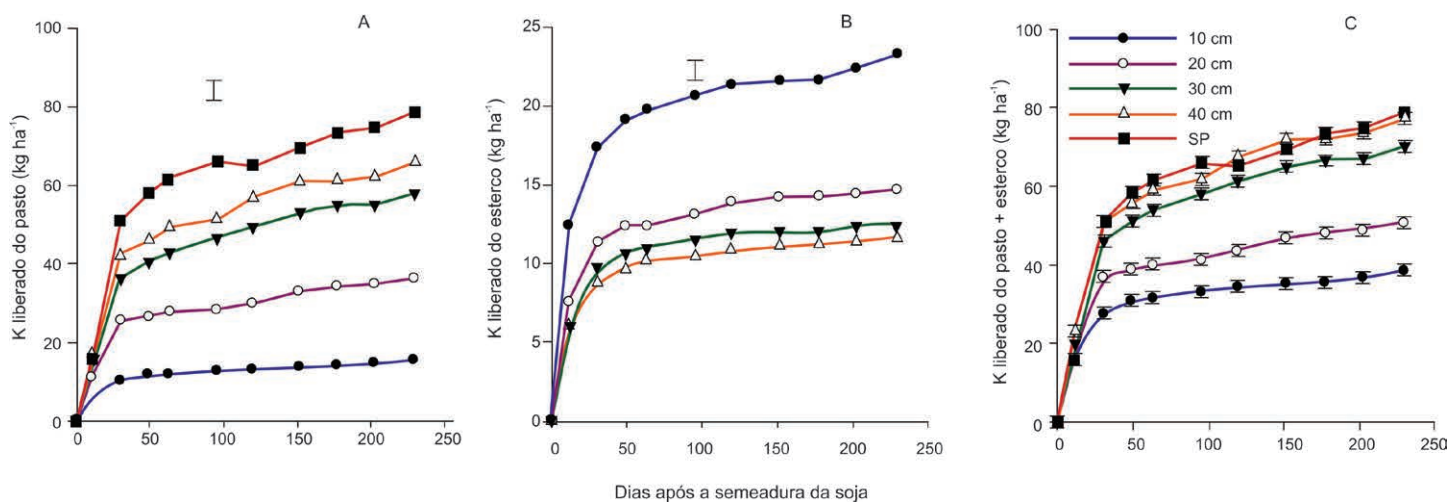
faixa de suficiência (CQFS-RS/SC, 2004). É importante também considerar que, em função da rápida liberação de potássio dos resíduos, quantidades elevadas, de 20 kg ha<sup>-1</sup>, no pastejo intenso, a 50 kg ha<sup>-1</sup>, no sem pastejo e pastejo leve (40 cm), são disponibilizadas na época do estabelecimento da soja.

### 2.3.4. Suprimento de potássio dos resíduos da soja para a pastagem

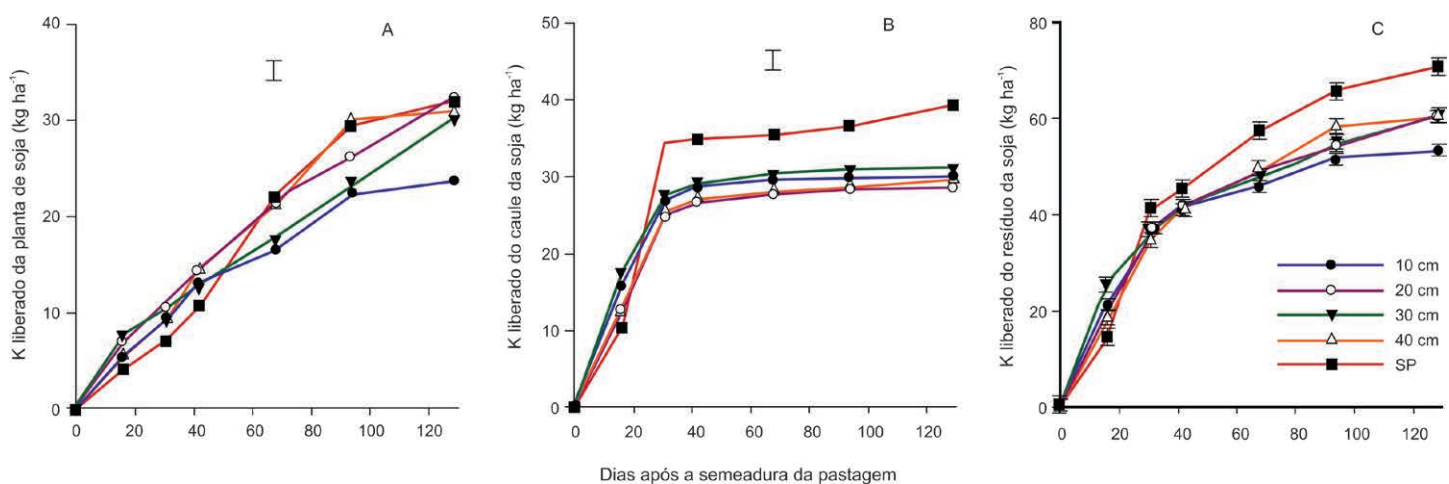
A liberação acumulada de potássio (Figura 6C) dos resíduos das folhas (Figura 6A) e dos caules (Figura 6B) foi rápida e em grandes quantidades, quer para o estabelecimento da pastagem (ao redor de 20 kg ha<sup>-1</sup>), quer no final do período de avaliação, chegando a 55 kg ha<sup>-1</sup> no pastejo intensivo e a 70 kg ha<sup>-1</sup> no sistema sem pastejo.

## 3. CICLAGEM DE FÓSFORO E DE POTÁSSIO E RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO PARA O SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Tendo em vista os valores dos indicadores de fertilidade do solo no experimento serem elevados (CARVALHO et al., 2011), conforme CQFS-RS/SC (2004), ou seja: matéria orgânica = 4,5%



**Figura 5.** Liberação de potássio dos resíduos de pasto (A), de esterco (B) e quantidade acumulada do elemento (C) para a soja cultivada em sequência. **Fonte:** Assmann (2011).



**Figura 6.** Liberação de potássio dos resíduos de folhas de soja (A), de caules (B) e quantidade acumulada do elemento (C) para o pasto cultivado em sequência. **Fonte:** Assmann (2011).

(médio/alto); P disponível = 25 mg dm<sup>-3</sup> (muito alto) e K = 120 mg dm<sup>-3</sup> (muito alto), e por se tratar de uma área cultivada por longo tempo, aplicou-se, a partir da safra 2005/06, somente nitrogênio (45 kg ha<sup>-1</sup>) em cobertura na pastagem (aveia preta + azevém), e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, na quantidade de 60 kg ha<sup>-1</sup>, de ambos, na sementeira da soja (Tabela 6). Considerando as características da área – plantio direto desde 1993, com integração soja-bovinos de corte desde 2011 – esperava-se uma contribuição significativa da ciclagem e, por isso, as adubações aplicadas foram menores do que as recomendadas pela CQFS-RS/SC para pastagem e para soja (Tabela 6).

No balanço anual do sistema, considerando-se somente as entradas (adubos) e saídas (produtos) dos nutrientes, tem-se:

$$P_2O_5 [60 \text{ kg ha}^{-1} - (35 \text{ kg ha}^{-1} + 6 \text{ kg ha}^{-1})] = + 17 \text{ kg ha}^{-1} \text{ e}$$

$$K_2O [60 \text{ kg ha}^{-1} - (63 \text{ kg ha}^{-1} + 0,6 \text{ kg ha}^{-1})] = -3,6 \text{ kg ha}^{-1}$$

Portanto, haveria um pequeno saldo de fósforo (+ 7 kg ha<sup>-1</sup>) e um pequeno déficit de potássio (-3,9), havendo exportação significativa de nutrientes somente via grãos retirados da lavoura, uma vez que as quantidades desses nutrientes removidas pelos animais são pequenas, especialmente de potássio.

O balanço desses nutrientes, entretanto, modifica-se consideravelmente quando se considera a sua liberação pela ciclagem durante o período de desenvolvimento das culturas: do pastejo para a soja, de 75 dias, e da soja para a pastagem, de 130 dias (Tabela 6). Verifica-se, nesse novo balanço, que o saldo é amplamente positivo para os dois nutrientes:

$$P_2O_5 (60 \text{ kg ha}^{-1} + 14 \text{ kg ha}^{-1} + 9 \text{ kg ha}^{-1}) - (35 \text{ kg ha}^{-1} + 6 \text{ kg ha}^{-1}) = 42 \text{ kg ha}^{-1} \text{ e}$$

$$K_2O (60 \text{ kg ha}^{-1} + 62 \text{ kg ha}^{-1} + 73 \text{ kg ha}^{-1}) - (63 \text{ kg ha}^{-1} + 0,6 \text{ kg ha}^{-1}) = 131,3 \text{ kg ha}^{-1}$$

A contribuição da ciclagem dos elementos no suprimento de nutrientes às plantas é grande e determinada pela quantidade elevada de resíduos no sistema (Tabela 1) e pelo conteúdo dos nutrientes nos diferentes resíduos (Tabela 3) e respectivas taxas de decomposição (Tabela 2, Tabela 4 e Tabela 5) e liberação para as plantas (Figura 3 a Figura 6). Os trabalhos de ciclagem devem incluir também a contribuição de outros compartimentos que participam do fluxo de nutrientes no sistema solo-planta-animal-atmosfera, quais sejam: urina, gases, raízes e a própria matéria orgânica estabilizada.

**Tabela 6.** Recomendação de adubação em função dos teores no solo (CQFS RS/SC, 2004), adubação utilizada na Fazenda, exportação pelos produtos e ciclagem dos nutrientes na safra 2009/10.

Cultura/Nutriente	Adubação		Exportação pelos produtos	Ciclagem <sup>2</sup>
	CQFS-RS/SC <sup>1</sup>	Fazenda		
----- (kg ha <sup>-1</sup> ) -----				
<b>Pastagem</b>			<b>Carne bovina<sup>1</sup></b>	<b>Pasto + esterco<sup>4</sup></b>
Nitrogênio (N)	70	45	14	- <sup>6</sup>
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	50	0	6	14
Potássio (K <sub>2</sub> O)	50	0	0,6	62
<b>Soja</b>			<b>Grãos<sup>3</sup></b>	<b>Folha + caule<sup>5</sup></b>
Nitrogênio (N)	0	0	167	- <sup>6</sup>
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	60	60	35	9
Potássio (K <sub>2</sub> O)	95	60	63	73

<sup>1</sup>Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004); <sup>2</sup>Quantidades exportadas por carga animal de 400 kg PV ha<sup>-1</sup> (média dos tratamentos de pastejo); <sup>3</sup>Quantidades exportadas por 2,8 t ha<sup>-1</sup> de grãos de soja (média de oito safras e dos tratamentos); <sup>4</sup>Quantidades liberadas até 75 dias a partir da semeadura da soja; <sup>5</sup>Quantidades liberadas até 130 dias a partir da semeadura da pastagem; <sup>6</sup>Não determinado.

Fonte: Adaptada de Assmann (2011).

Apesar dos aspectos positivos da inclusão da ciclagem de nutrientes na definição das recomendações de adubação, existe outro aspecto fundamental a ser considerado na produção integrada de sistemas agropecuários, em manejos conservacionistas de alta fertilidade do solo, que é a alteração do período de adubação. De fato, não é lógico aplicar, na semeadura da soja, grande quantidade de adubo (240 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 0-25-25 = 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O), após a saída dos animais que, na média de 10 anos e dos tratamentos de pastejo (PV = 400 kg ha<sup>-1</sup>), exportam somente 6 kg ha<sup>-1</sup> e 0,6 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente (Figura 7). Da mesma forma, não é lógico adubar a pastagem somente com nitrogênio, até a safra 2009/10 (dois sacos de uréia/ha = 45 kg ha<sup>-1</sup> de N), após a colheita da soja que, na média de oito safras, exportou 167 kg ha<sup>-1</sup>, 35 kg ha<sup>-1</sup> e 63 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O. Considerando o funcionamento do sistema, o ideal é modificar o sistema de adubação, ou seja, adubar mais a pastagem (N, P, K) e menos a soja (P, K), o que resultará em maior rendimento do pasto e do animal, os quais ciclam e reciclam quantidades de nutrientes superiores às demandas da cultura da soja.

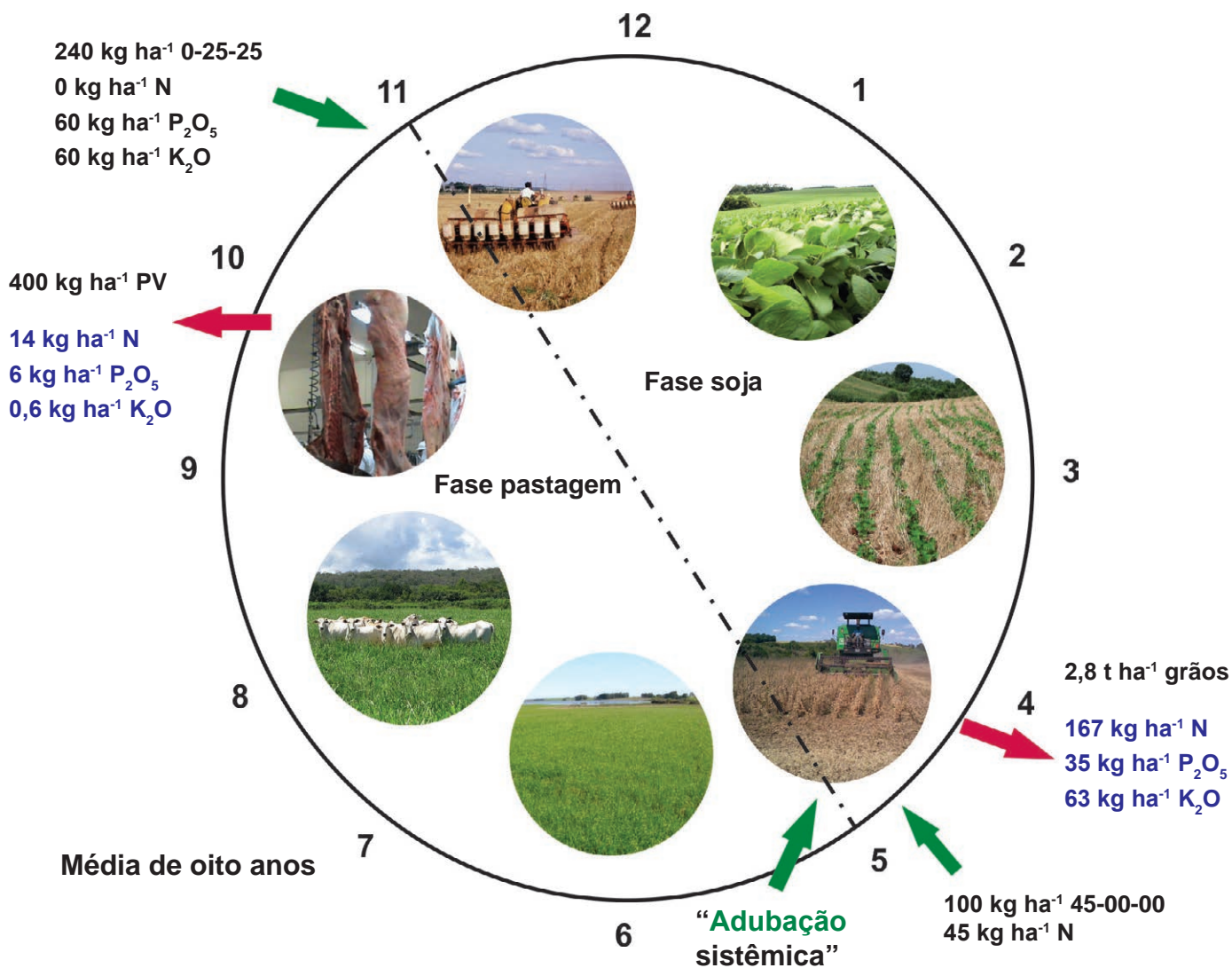
#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O movimento dos nutrientes entre os diversos compartimentos em sistemas que envolvem o solo, a planta e o animal é complexo. As pesquisas sobre a ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agrícola no Brasil estão em franco progresso, porém são ainda incipientes e abordam o fluxo de nutrientes somente entre alguns compartimentos do sistema. Há necessidade de se conhecer o fluxo e a dinâmica dos nutrientes entre todos os compartimentos do sistema, especialmente nos que ocorrem no perfil do solo (raízes e húmus), considerando ainda o estado de fertilidade do solo em sistemas de produção integrada com balanço positivo de carbono. As metas de um melhor aproveitamento dos nutrientes e do estabelecimento de adubação eficiente para os sistemas integrados somente serão atingidas com o entendimento e a quantificação dos processos que envolvem a ciclagem de nutrientes. A contribuição da ciclagem no suprimento de fósforo e de potássio é elevada, superando, em muitos casos, a adubação,

provocando balanços positivos. Entretanto, maior eficiência da adubação somente será obtida quando houver sincronia entre o suprimento de nutrientes pelo solo, pela ciclagem e pela adubação, e estiver privilegiando o sistema de produção como um todo (adubação de sistema).

#### 5. LITERATURA CITADA

- ADAMI, P. F. **Produção, qualidade e decomposição de papuã sob intensidades de pastejo e níveis de nitrogênio.** 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado)–Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2009.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A.; SOUZA, E. D.; CONTE, O.; LANG, C. R. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. In: FONSECA, A. F.; CAIRES, E. F.; BARTH, G. (Ed.). **Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto.** Ponta Grossa: AEAGPG, 2011. p. 272-309.
- ASSMANN, J. M. **Ciclagem e estoque de nutrientes em sistema de integração soja-bovinos de corte sob plantio direto.** 2011. 81 f. Exame de Qualificação–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.
- BORTOLLI, M. A. **Influência de períodos de pastejo em trigo duplo propósito sobre a decomposição e liberação de nutrientes da palhada em sistema de integração lavoura-pecuária.** 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado)–Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2010.
- CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; TAISE, R. K. et al. **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. 60 p. (Boletim Técnico)
- CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, p. 259-273, 2010.



**Figura 7.** Adubação, exportação e ciclagem de nutrientes no sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto no período 2001/2010. Fonte: Paulo Carvalho (Comunicação pessoal, 2011).

CASSOL, L. C. **Relação solo-planta-animal em um sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície.** 2003. 157 f. Tese (Doutorado)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003.

CAVALCANTE, M. A. B. **Reciclagem de excreções animais na pastagem.** 2001. Disponível em: <<http://www.forragicultura.com.br>>. Acesso em: 11 abril 2011.

CQFS-RS/SC. Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Porto Alegre: NRS/SBCS, 2004. 394 p.

KOZELINSKI, S. M. **Produção de trigo duplo propósito e ciclagem de nutrientes em sistema de integração lavoura pecuária.** 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado)–Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2009.

MENDES NETO, J. **Sustentabilidade dos sistemas de pastejo: conceitos, métodos e objetivos.** Tópicos especiais em forragicultura,

Viçosa, MG, 2000. Disponível em: <<http://www.forragicultura.com.br>> Acesso em: 11 abril 2011.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M. et al. Manejo do solo e de culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME L. R. G. (Ed.). **Tópicos especiais em Ciência do Solo.** Viçosa: SBCS, 2003. p. 209-278.

MIRANDA, C. H. B. **Ciclagem de nutrientes em pastagens com vistas à sustentabilidade do sistema.** Campo Grande, 2002. 16 p.

WESP, C. L. **Sistema de integração lavoura-pecuária: desempenho de novilhos superprecoce e variabilidade espacial do pasto.** 2010. 211 f. Dissertação (Mestrado)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2010.

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