

CICLAGEM DE NUTRIENTES EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA⁽¹⁾

Ibanor Anghinoni⁽²⁾, Joice Mari Assmann⁽³⁾, Amanda Posselt Martins⁽⁴⁾, Sérgio Ely Costa⁽³⁾, Paulo Cesar F. Carvalho⁽²⁾

(1) Trabalho apresentado no III Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, Pato Branco-PR. 05 a 07 de julho de 2011. (2) Professor da Faculdade de Agronomia/UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre-RS, CEP 91501-970. Bolsista CNPq e-mail: ibanghi@ufrgs.br; paulocfc.@ufrgs.br. (3) Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo/UFRGS. e-mail: joiceassman@hotmail.com; sergioelycosta2011@hotmail.com. (4) Graduanda em Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Bolsista FAPERGS. e-mail: amandaposselt@gmail.com.



Resumo - 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 sul do Brasil estão em franco progresso, porém são ainda incipientes e abordam o fluxo de nutrientes somente entre alguns dos compartimentos do sistema. Há necessidade de se conhecer o fluxo e a dinâmica dos nutrientes entre todos os compartimentos do sistema, especialmente dos que ocorrem no perfil do solo (raízes e húmus), considerando ainda o estado de fertilidade (organização) 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 de produção agropecuária somente serão atingidas com o entendimento e a quantificação dos processos que envolvem a sua ciclagem. A partir da análise dos resíduos remanescentes ao longo do período de avaliação no sistema pastejo bovinos de corte-soja, verificou-se uma decomposição mais rápida da pastagem em relação ao esterco, e em ambos os casos, com menor persistência desses resíduos nos pastejos moderados (20 e 30 cm de altura) com consequente liberação mais rápida de fósforo. Entretanto, a quantidade total de fósforo e de potássio liberada foi dependente da quantidade existente nos resíduos.

Palavras-Chave: adubação, dinâmica de nutriente, perdas de nutriente

NUTRIENT CYCLING IN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS

Abstract - The nutrient movement through different compartments involving soil, plant and animal is very complex. Researches related to nutrient cycling in crop-livestock integrated systems in southern Brazil are progressing lately, however they are still in early stages and consider nutrient fluxes among some of the compartments of the system. There is a real necessity to know the flux and the dynamics

of the nutrients among all of the components of the system, especially of those inside the soil (roots and humus), and should consider also the soil fertility status (organization) is integrated production systems with positive balance of carbon. High efficiency of fertilization for integrated production systems only will be achieved by understanding and quantifying all nutrient cycling processes. The analysis of the remaining residues of a long term integration soybean-livestock system, indicated a faster pasture residue decomposition than bovine litter decomposition and, in both, with a lesser persistence of those residues at moderate grazing (20 and 30 cm heights), with faster release of phosphorus. However, the total amount of phosphorus and potassium release was determined by the total amount of them in such residues.

KeyWord: fertilization, nutrient dynamic, nutrient losses

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

No contexto da integração lavoura-pecuária, a ciclagem de nutrientes deve incluir aqueles tradicionalmente considerados como essenciais às plantas, assim como aqueles essenciais aos seres vivos componentes do sistema. Nesse contexto, os elementos cromo (Cr), estanho (Sn), flúor (F), iodo (I), selênio (Se), silício (Si), sódio (Na) e vanádio (V), não tidos como essenciais às plantas, são essenciais aos seres vivos e passam a constituir parte do sistema (Tabela 1). Nessa abordagem, alguns dos nutrientes (C, O, H e N) são considerados construtores dos organismos e os demais, em quantidades maiores, como macronutrientes, ou menores, como micronutrientes, tendo como limite, a concentração de 0,2 % do peso orgânico seco.

Tabela 1. Elementos essenciais aos seres vivos

Construtores	Macro	Micro
C;O;H;N	P;K;Ca;Mg;S;Na;Cl	Cu;Fe;Mn;Mo;Zn;Cl;Cr;F;I;Ni;Se;Si;Sn;V

Entende-se a ciclagem, como o movimento (fluxo) dos nutrientes entre os diversos compartimentos (atmosfera-planta-animal-solo) do sistema de produção agropecuária, em uma série de processos nos respectivos ciclos biogeoquímicos. Nesse contexto, a ciclagem envolve a medição da quantidade e da velocidade de transferência de nutrientes de um compartimento para outro (fluxos e taxas), chegando-se, finalmente, ao seu balanço no sistema. O pleno conhecimento da ciclagem é importante para o uso eficiente dos nutrientes do solo, dos resíduos e dos fertilizantes. Nesse contexto, é importante estabelecer uma sincronia de

sua disponibilização pelas diferentes fontes com a demanda da cultura instalada, para estabelecer a adubação para o sistema.

O foco do presente trabalho é, então, a ciclagem de nutrientes em sistemas de integração lavoura-pecuária, no ambiente subtropical brasileiro, com pastejo no inverno e cultura de grãos (comerciais) no verão, em plantio direto.

2. CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Os nutrientes presentes nos ecossistemas se movimentam (circulam) entre os seus diversos compartimentos em ciclos denominados biogeoquímicos, estudados em uma ciência (Biogeoquímica) que trata da troca ou da circulação de matéria 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.

Os ciclos de nutrientes, tal como apresentados e discutidos no conceito químico-mineralista da fertilidade do solo, representam uma visão simplificada do seu ciclo biogeoquímico amplo, pois incluem somente as relações solo-planta-atmosfera, três dos quatro compartimentos da ciclagem em sistemas de produção agropecuária. Nessa abordagem, as plantas, absorvendo nutrientes e água do solo e incorporando carbono (via fotossíntese), promovem o seu crescimento e produção de biomassa (parte aérea e raízes) que, após cumprirem com sua finalidade, retornam ao solo na forma de resíduo vegetal. Após sua decomposição (mineralização), liberam CO₂ e

nutrientes e/ou formam compostos orgânicos complexos (húmus), a matéria orgânica estável do solo que, de forma lenta, pode ser decomposta, liberando também CO₂ e nutrientes minerais. A entrada do animal no sistema de produção modifica as taxas e os fluxos, atuando como catalisador dos processos sistêmicos, reciclando o material orgânico e determinando uma nova dinâmica dos nutrientes entre os compartimentos do sistema.

De uma forma geral, na abordagem químico-mineralista da fertilidade do solo, a ciclagem é apresentada de forma individual para os nutrientes, com enfoques diferenciados, mais ou menos complexos. Mesmo assim, pode-se distinguir, dentre os macronutrientes, a predominância bioquímica em alguns nutrientes, como carbono, nitrogênio e enxofre, e predominância geoquímica em outros, como fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

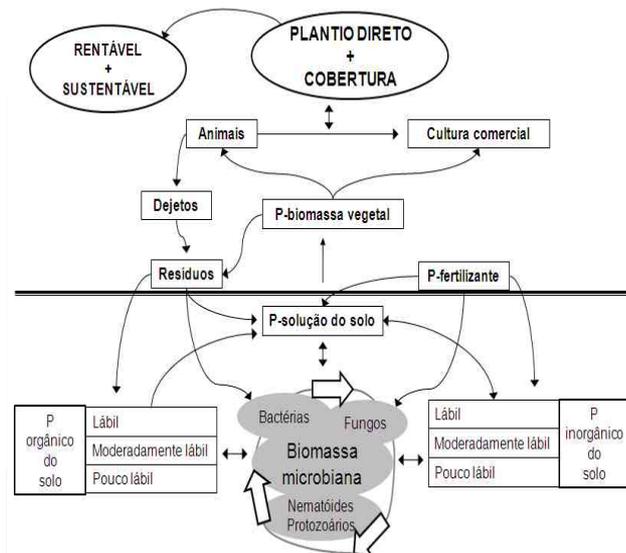


Figura 1- Ciclo do fósforo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto. Fonte: Anghinoni et al. (2007)

Uma visão mais detalhada do ciclo do fósforo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto (Figura 2) permite, em seu modelo conceitual, o entendimento de sua predominância geoquímica. Esse nutriente, presente na solução do solo, na forma predominante como anion H₂PO₄⁻, está em equilíbrio (dinâmico) tanto com a biomassa microbiana (lábil), como com as formas orgânica e inorgânica, ambas de diferentes labilidades (lábil, moderadamente lábil e pouco lábil). Esse nutriente, aplicado como fertilizante na implantação da cultura comercial no verão (grãos), após sua dissolução, uma pequena parte permanece na solução, outra parte é incorporada na biomassa microbiana e a maior parte é incorporada na fração inorgânica do solo. Após ser absorvido pelas raízes da planta da solução do solo, o fósforo é incorporado na

biomassa e nos grãos. Estes são removidos e o resíduo retorna ao sistema, com o nutriente permanecendo na solução, sendo incorporado à biomassa microbiana ou em forma orgânica, de diferentes labilidades.

Na implantação de pastagem, no inverno, o fósforo da solução é absorvido e incorporado na biomassa vegetal, que será consumida pelo animal, com pequena incorporação na carne e o restante do fósforo retorna ao solo, como resíduo da pastagem e da excreta animal (esterco e urina). A decomposição dos resíduos libera o nutriente para a solução do solo, a biomassa microbiana e para a forma orgânica, de diferentes labilidades.

Em situações de aumento no estoque de fósforo, tanto em sistemas de produção de grãos e plantas de cobertura (Rheinheimer & Anghinoni, 2001) como de integração lavoura-pecuária (Souza, 2008), o mesmo ocorreu na camada de 0 a 20 cm, na forma inorgânica, predominantemente em sua fração moderadamente lábil, uma vez que a forma orgânica permaneceu inalterada entre as intensidades de pastejo nessa camada. Aumentos na forma orgânica somente ocorreram na camada superficial de 0 a 5 cm. Essa predominância geoquímica no ciclo (biogeoquímico) deriva da grande afinidade do fósforo com os componentes minerais, especialmente dos óxidos de ferro, em abundância em solos ácidos derivados de basalto.

No entanto, é importante ressaltar que a natureza dos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes em ecossistemas é complexa, como verificada para o ciclo do carbono, na Figura 1. Apesar de ser considerado um ciclo essencialmente de fase gasosa, ele interage fortemente com o comportamento aquático e o respectivo ciclo hidrológico.

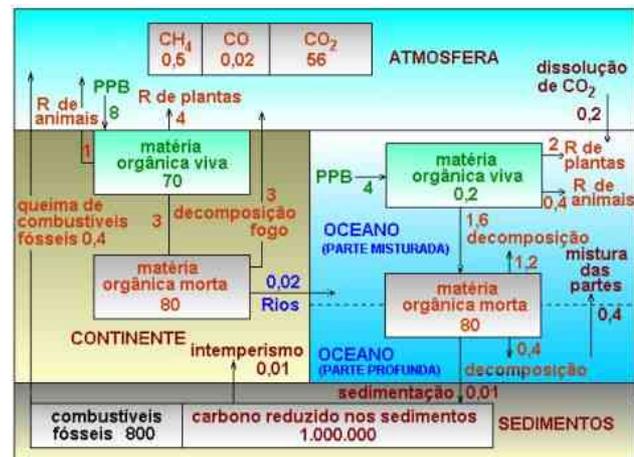


Figura 2- Ciclo biogeoquímico do carbono em ecossistemas naturais.

Na complexidade da Figura 1, pode-se visualizar um ciclo principal, formado por organismos produtores,

consumidores e decompositores, que participam dos processos de fotossíntese e respiração, e um ciclo secundário, mais lento e responsável pelo decaimento de plantas e de animais, que foram incorporados por processos geológicos na crosta terrestre. Os organismos que foram transformados em combustíveis fósseis e calcário ficam à margem do ciclo principal.

3. DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DA PASTAGEM E DO ESTERCO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES

O animal, quando presente no sistema, modifica os fluxos entre os compartimentos pela ingestão de nutrientes, via consumo da forragem, sua digestão e posterior retorno ao sistema. Além de impor heterogeneidade em uma série de variáveis, essa presença altera a via dos fluxos de nutrientes, em sua natureza e magnitude, modificando o funcionamento do sistema. Neste particular, o solo pode ser considerado o compartimento centralizador do processo e aquele que captura o sentido (+ ou -) das modificações do sistema (Carvalho et al., 2010; Anghinoni et al., 2010). Segundo os autores, 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 de longo prazo. O animal em pastejo, por sua vez, pode ser considerado o catalisador que cicla o material vegetal e modifica profundamente a dinâmica dos nutrientes nos diversos compartimentos do sistema.

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 dos compartimentos do sistema. Nos trabalhos de revisão (Mendes Neto, 2000; Cavalcante, 2001; Marcelino, 2002; Miranda, s.d.), foram abordados os conceitos, os métodos, os objetivos, os compartimentos, os teores, a decomposição, a liberação, a distribuição e as perdas de nutrientes nos sistemas. Porém, nenhuma delas foi tão abrangente quanto a de Haynes & Williams (1993), que trata da ciclagem nos vários compartimentos do sistema. Em relação aos trabalhos de pesquisa recentemente realizados no país, cita-se: Koselinski (2009); Adami (2009); Bortolli (2010); Saraiva (2010), todos na forma de dissertação, sendo a grande maioria da UTFPR, Campus de Pato Branco. Eles apresentam resultados da decomposição de resíduos (palhada e excreta) e da consequente liberação de nutrientes, em sacos de decomposição (litter bags) no campo, na forma de taxas de decomposição dos resíduos e ajuste (R2) de modelos não lineares em relação à natureza dos resíduos (lábil e recalcitrante) e

correspondentes taxas e acúmulo de nutrientes e respectivos tempos de meia vida.

É importante considerar, na ciclagem de nutrientes, trabalhos de longa duração, pois, as adições e as perdas de carbono e de energia no solo ao longo do tempo modificam o funcionamento do sistema e o estado de fertilidade do solo. Para ilustrar essa temática, far-se-á o uso de um protocolo experimental de longa duração, instalado em 2001 na região do Planalto Médio do RS (Cassol, 2003). Os tratamentos constam de diferentes alturas (10, 20, 30, e 40 cm) de manejo da pastagem (aveia preta mais azevém) e um tratamento sem pastejo, no inverno, e o cultivo da soja (no verão) em plantio direto (Figura 3). Nesse contexto, a intensidade de pastejo (Figura 4) 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.

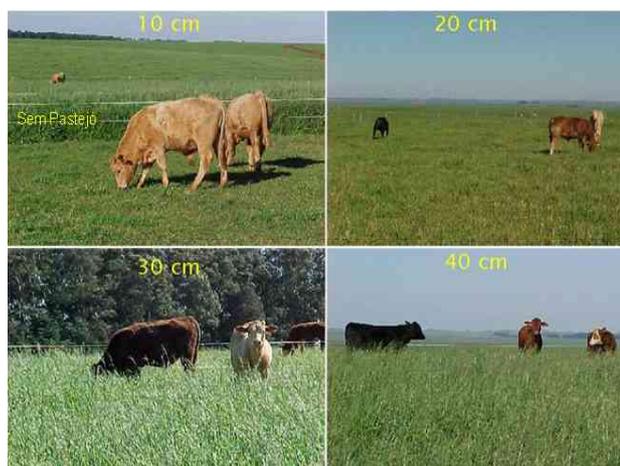


Figura 3- Tratamentos de altura de manejo do pasto (aveia preta + azevém) em sistema de integração soja:bovinos de corte. Fonte: Cassol (2003).

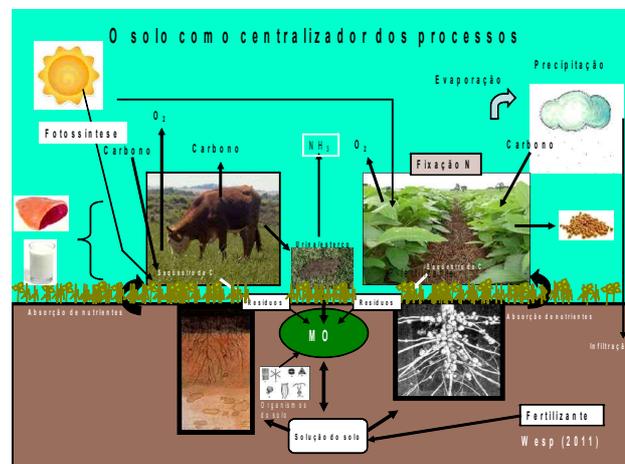


Figura 4- Representação esquemática de como os animais afetam o funcionamento do sistema de integração soja:bovinos de corte e o seu reflexo na ciclagem de nutrientes. Fonte: Wesp (2011).

De forma geral, taxas de lotação definidas acima do ideal (superlotação) acarretam massas de forragem baixas, menor cobertura de solo, menor produção de forragem no sistema e, finalmente, menor acúmulo de palhada para a lavoura (soja) em sucessão (Anghinoni et al., 2010). Em intensidades moderadas de pastejo, a massa de forragem presente no pasto apresenta-se num dossel que privilegia tanto a colheita de forragem de alta qualidade pelo animal, quanto à interceptação luminosa e o crescimento vegetal. Comparando-se situações de excesso e ausência de pastejo, intensidades de manejo moderadas incrementam o acúmulo de carbono (Souza et al., 2009), pois a produção total de forragem em tal situação é maior.

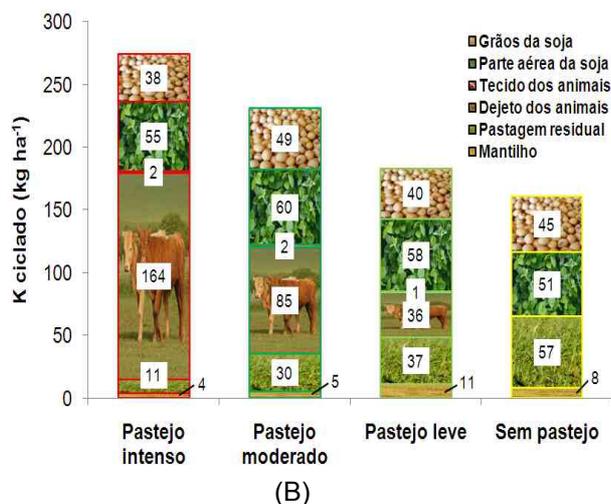
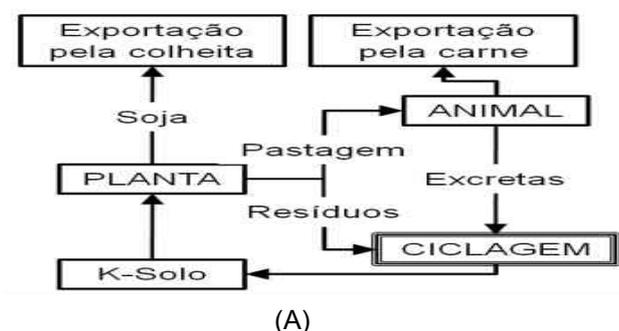


Figura 5- Ciclo (A) e ciclagem (B) de potássio em sistema de produção soja-bovinos de corte sob intensidades de pastejo em plantio direto (Safrá 2006/07). Fonte: Ferreira et al. (2011).

A ciclagem e o balanço de potássio no sistema de integração antes mencionado (soja:bovinos de corte - Figuras 3 e 4) foram estudados por Ferreira et al. (2011), pela determinação das quantidades desse nutriente adicionadas, acumuladas nos diferentes compartimentos (soja, aveia preta mais azevém e bovinos de corte) e exportadas em um ciclo soja/pastejo (2006/07). As quantidades cicladas desse nutriente (K) foram elevadas e aumentaram com a intensidade de pastejo: de 161, no

tratamento sem pastejo a 284 kg/ha, no pastejo intensivo (Figura 5b), sendo, entretanto, superiores às necessidades das respectivas culturas. Embora tenha ocorrido uma diminuição do nutriente no resíduo da pastagem (de 57 para 11 k/ha) com o aumento da intensidade de pastejo, mesmo assim houve aumento, no total ciclado, com a intensidade de pastejo, pelo aumento da quantidade de pasto que passou pelo trato digestivo dos animais: de 36, no pastejo leve (P-40), para 164 kg/ha, no pastejo intensivo (P-10) (Figura 5b). Como a quantidade adicionada de potássio foi a mesma (49,8 kg/ha) e a quantidade exportada pela carne mais grãos de soja variou pouco (40 no pastejo intenso a 51 kg/ha no pastejo moderado), as diferenças no somatório desse nutriente nos compartimentos se deve à sua reciclagem (reaproveitamento - recirculação) ou à absorção diferenciada do solo.

A quantidade de nutrientes a ser liberada dos resíduos após o ciclo de pastejo é determinada por sua quantidade, do pasto e do esterco, e do seu teor em nutrientes. Essa avaliação foi efetuada por Assmann (2011) no experimento de integração soja:bovinos de corte, citado anteriormente (Tabela 2). As quantidades de potássio em ambos os resíduos são maiores do que as de fósforo, por seu maior conteúdo nos mesmos. A liberação desses nutrientes para a cultura seguinte (soja) depende do manejo dos animais no pasto: enquanto as quantidades do resíduo de esterco aumentam, as do resíduo do pasto diminuem com a intensidade de pastejo; porém, no total elas diminuem com a intensidade de pastejo, por sua maior quantidade no resíduo do pasto em relação ao esterco (Tabela 2).

Tabela 2- Quantidade de nutrientes nos resíduos da pastagem e do esterco no sistema de integração soja-bovinos de corte sob intensidades de pastejo em plantio direto

Altura de manejo do pasto cm	Resíduo da pastagem			Resíduo do esterco		
	Mat. seca t/ha	P kg/ha	K kg/ha	Mat. seca t/ha	P kg/ha	K kg/ha
10	1,33	4	16	1,34	9	33
20	3,24	6	39	0,90	5	21
30	4,64	10	62	0,69	4	20
40	6,24	15	86	0,57	3	17
SP	6,14	18	85	0,00	0	0

Fonte: Assmann (2011).

A dinâmica de decomposição dos resíduos é, 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 (lábil e recalcitrante) pode ser concomitante ou de forma separada (primeiro, a lábil e, depois, a recalcitrante) e identificada pelo ajuste de equações não lineares (Wieder & Lang, 1982). O tempo de meia vida

(T1/2), isto é, o tempo 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 T1/2 (fração lábil) e, quando o ajuste indica decomposição conjunta, resultará em dois T1/2 (fração lábil e recalcitrante).

A partir da análise dos resíduos remanescentes ao longo do período de avaliação no sistema pastejo bovinos de corte-soja (Figura 6), verifica-se uma decomposição mais rápida da pastagem em relação ao esterco e, em ambos os casos, com menor persistência nos pastejos moderados (20 e 30 cm de altura), conforme visualizado pelos tempos de meia vida (T1/2) da fração lábil (Tabela 3), que foram menores e com ajuste único para a pastagem, indicando decomposição separada, iniciando pela fração lábil.

O resíduo resultante do 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, resultando em acúmulo de componentes mais lignificados (em média 12%, contra 9% no pastejo moderado).

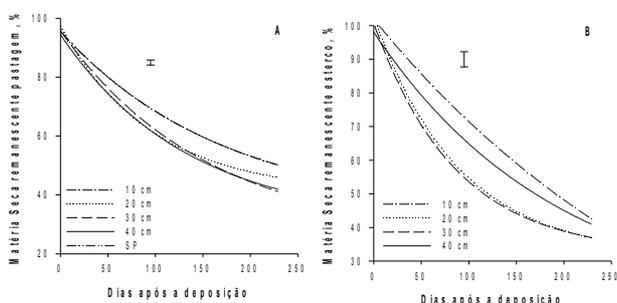


Figura 6- Resíduo remanescente da pastagem (A) e do esterco (B) em diferentes intensidades de pastejo ao longo do tempo. Fonte: Assmann (2011).

Tabela 3- Tempo de meia vida (T1/2) da decomposição dos resíduos da pastagem e do esterco (b em diferentes intensidades de pastejo ao longo do tempo

Resíduo	Fração	Alturas de pastejo				Sem pas-tejo
		10	20	30	40	
Pastagem ⁽¹⁾	Lábil	63	48	46	50	62
	Recalcitrante					
Esterco bovino ⁽¹⁾	Lábil	195	81	78	101	-
	Recalcitrante	201	316	185	118	-

(1)Coletado em novembro de 2010. Fonte: Assmann (2011).

As maiores taxas de decomposição do resíduo da pastagem frente ao esterco devem estar relacionadas ao fato do esterco apresentar maior

proporção de material fibroso, pouco digestível, como celulose, hemicelulose e lignina, não desdobrado na passagem do pasto pelo rúmen. Neste caso, mesmo a fração lábil apresenta uma decomposição mais baixa em relação à pastagem (Tabela 3).

Em relação à liberação de fósforo (Tabela 4), o maior ajuste ocorreu para a decomposição conjunta dos constituintes (lábeis e recalcitrantes) para ambos os resíduos. O tempo de meia vida (Ts1/2) da fração recalcitrante dos diferentes resíduos é elevado, sendo, entretanto, menor no esterco (179 a 303 dias) do que no pasto (175 a 502 dias), indicando ser o suprimento dessa forma somente importante no ciclo subsequente da própria cultura. A decomposição da fração lábil, entretanto, é rápida para ambos os resíduos (Tabela 4), sendo, porém, menor para o esterco (5 a 16 dias) do que para o pasto (13 a 40 dias), contrariamente ao que ocorreu com o resíduo do esterco, que se deve ao fato de que a pastagem que passou pelo trato digestivo do animal, ainda contém uma parte dos nutrientes solúveis em água e assim de fácil decomposição. Entretanto, essa fração (lábil) representa somente 35 % e 38 % do total do fósforo na pastagem e no esterco respectivamente. Essa baixa meia-vida na fração lábil está relacionada ao baixo teor de lignina em relação à fração recalcitrante.

Tabela 4. Tempo de meia vida (T1/2) de fósforo em frações e resíduos no sistema de integração soja-bovinos de corte sob intensidades de pastejo em plantio direto

Resíduo	Fração	Alturas de pastejo				Sem past-ejo
		10	20	30	40	
-----dias-----						
Pastagem ⁽¹⁾	Lábil	25	13	13	40	25
	Recalcitrante	462	175	582	422	302
Esterco bovino ⁽¹⁾	Lábil	10	5	15	16	-
	Recalcitrante	303	179	266	294	-

(1)Coletado em novembro de 2010. Fonte: Assmann (2011).

Tabela 5- Tempo de meia vida (T1/2) de potássio em frações e resíduos no sistema de integração soja-bovinos de corte sob intensidades de pastejo em plantio direto

Resíduo	Fração	Alturas de pastejo				Sem pas-tejo
		10	20	30	40	
-----dias-----						
Pastagem ⁽¹⁾	Lábil	15	18	18	18	15
Esterco bovino ⁽¹⁾	Lábil	11	11	12	11	-

(1)Coletado em novembro de 2010. Fonte: Assmann (2011).

Na cinética de liberação de potássio, foi considerado somente o ajuste para a fração lábil, uma vez que o mesmo não faz parte e constituintes dos resíduos e é rapidamente disponibilizado. Isto pode ser verificado pelo tempo de meia vida, que é baixo para ambos os resíduos (Tabela 5), sendo um pouco menor para o esterco (11-12 dias) em relação ao

pasto (15-18 dias), porém não afetado pela intensidade de pastejo.

4. A CICLAGEM DE NUTRIENTES DOS RESÍDUOS DO PASTEJO E AS RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO PARA A SOJA

As recomendações de adubação em uso no Brasil, quer sejam as de adubação de cultura (maioria dos estados do Brasil) ou a de adubação corretiva (nos estados do RS e SC), são efetuadas, em sua grande maioria, unicamente com base em análise do solo. Entretanto, nos casos de plantio direto consolidado (> de 10 anos), com elevado acúmulo de palhada e com níveis dos nutrientes se encontrando na faixa de suficiência, deve-se considerar a adubação para o sistema. Esta adubação deve, entretanto, considerar a cinética de liberação dos nutrientes dos resíduos (ciclagem), do suprimento pelo solo (análise do solo) e da expectativa de rendimento, de forma a estabelecer uma sincronia entre o suprimento pelo solo e a demanda pelas culturas, ao longo do seu desenvolvimento. Há, para isso, a necessidade de se conhecer o fluxo dos nutrientes entre todos os compartimentos do sistema: o resíduo da palhada na superfície e dos resíduos que ocorrem no perfil do solo (raízes e húmus). Em sistemas de produção integrada, deve-se considerar ainda o componente animal, ciclando nutrientes via esterco e urina.

A título de ilustração desse processo, é apresentada, a seguir, a liberação de fósforo e potássio para a soja, somente a partir do resíduo do pasto e do esterco, afetada pela intensidade de pastejo no sistema de integração bovinos de corte-soja (Figura 3).

Conforme discutido anteriormente, a quantidade disponibilizada dos nutrientes depende da quantidade do conteúdo dos mesmos nos resíduos. Assim, a liberação de fósforo do resíduo do pasto (Figura 7a) seguiu a seguinte ordem: SP>40 cm>30 cm>20 cm>10 cm, tendo uma liberação máxima aos 229 dias de 11,5; 9,8; 6,7; 4,1 e 1,9 kg ha⁻¹, respectivamente. A liberação desse nutriente do esterco bovino (Figura 7b) seguiu a ordem inversa: 10cm>20 cm>30 cm>40 cm, tendo uma liberação máxima de 5,6; 3,9; 3,0 e 2,5 kg/ha, respectivamente. A sua liberação acumulada (Figura 7c) ocorreu, entretanto, assim: 40cm>SP>30cm>20cm>10cm, sendo de 12,4, 11,5, 9,7, 7,8 e 6,8 kg/ha, respectivamente. Essas quantidades são pequenas em relação à indicada, de 50 kg/ha, para uma produtividade de soja de 3,00 t/ha, porém é bastante importante na fase de estabelecimento, que ocorre em torno de 30 dias da retirada dos animais do pasto, com quantidades liberadas entre 2,3 (10 cm) a 5,8 (30 cm) kg/ha. Considerando que o fósforo se encontra na forma

orgânica nos resíduos, a sua lenta liberação diminui a possibilidade de sua retenção aos óxidos-hidróxidos de Fe e Al, o que leva a uma utilização mais eficiente pelas planta, quando comparada à aplicação de adubos minerais prontamente solúveis.

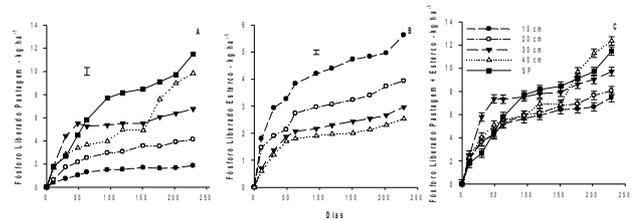


Figura 7- Liberação de fósforo do resíduo do pasto (A), do esterco (B) e total (C) em função da intensidade de pastejo ao longo do tempo de sua decomposição. Fonte: Assmann (2011).

A liberação de potássio pelos resíduos de pastagem (Figura 8a) e do esterco (Figura 8b) é rápida e seguiu um padrão muito semelhante entre as intensidades de pastejo. A quantidade liberada foi dependente da quantidade de resíduo: foi maior na pastagem, que diminuiu com a intensidade de pastejo, em relação ao esterco, que aumentou com a intensidade de pastejo. As quantidades totais liberadas ao longo do tempo foram elevadas (Figura 8c), sendo maior na área SP, com 78,3 kg/ha, no pastejo leve (30 cm), com 76,9 kg/ha, e no pastejo moderado (30 cm), com 69,9 kg/ha, seguidos pastejo moderado (20 cm), com 45 kg/ha e do pastejo intenso (10 cm) com 35 kg/ha. Essas quantidades são relevantes, representando de 35/75 a 78,3/75 % em relação à quantidade indicada de 75 kg/ha, para uma produtividade de 3,0 t/ha de grãos de soja (CQFS RS/SC, 2004).

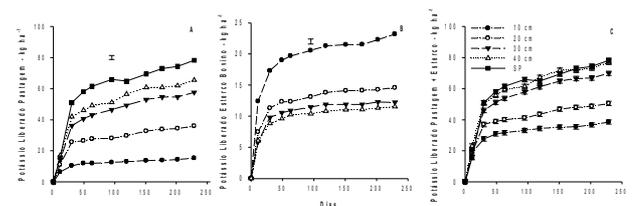


Figura 8- Liberação de potássio do resíduo do pasto (A), do esterco (B) e total (C) em função da intensidade de pastejo ao longo do tempo de sua decomposição. Fonte: Assmann (2011).

É importante também considerar que, em função da rápida liberação de potássio dos resíduos (Tabela 5), quantidades elevadas, de 20 kg/ha, no pastejo intenso, a 50 kg/ha, no sem pastejo e pastejo leve (40 cm) são disponibilizadas na sementeira da soja (Figura 8c). Deve-se, entretanto, considerar ainda a ciclagem de potássio pelas raízes da pastagem e o retorno pela urina (em torno de 72 % da excreta animal), que muito contribuem na ciclagem desse nutriente em sistemas integrados. O retorno desse nutriente pela urina, na forma solúvel e prontamente

disponível, pode se repetir durante o ciclo de pastejo, reciclando-o e beneficiando a própria pastagem.

Diante exposto, é possível que as adubações potássicas atualmente praticadas, venham sendo feitas em excesso, uma vez que se desconsidera a quantidade de retorno de K via resíduos de palhada na superfície, das raízes no perfil do solo e dos resíduos animais. É importante salientar que os sistemas de produção agropecuária em plantio direto, embora parte do K seja exportado da lavoura via grãos, grande parte retorna ao solo via resíduo para a cultura subsequente, com balanço positivo desse nutriente resultando em aumentos em sua concentração no solo.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, P.F. Produção, qualidade e decomposição de papuã sob intensidades de pastejo e níveis de nitrogênio. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2009. 98p. (**Dissertação de Mestrado**)
- 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. **Fertilidade do solo em plantio direto**. Ponta Grossa: AEAGPG, 2011, p. 1-31 (Em impressão)
- ANGHINONI, I.; SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; FLORES, J.P.C. Dinâmica de fósforo, potássio, cálcio e magnésio em sistemas de integração lavoura-pecuária. In: **Simpósio Internacional de Integração Lavoura-Pecuária**, 2007, Curitiba. Anais em CD. Curitiba: UFPR, 2007.
- ASSMANN, J.M. **Ciclagem e estoque de nutrientes em sistema de integração soja-bovinos de corte sob plantio direto**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. 81 p. (Material de Exame de Qualificação)
- BORTOLLI, M. A. de Influência de períodos de pastejo em trigo duplo propósito sobre a decomposição e liberação de nutrientes da palhada em sistema de integração lavoura-pecuária. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010. 81 p. (**Dissertação de Mestrado**)
- 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.
- CASSOL, L.C. Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. 157p. (**Tese de Doutorado**)
- CAVALCANTE, M.A.B. **Reciclagem de excreções animais na pastagem**. 2001. Disponível em: www.fornagicultura.com.br. Acesso em: 11/04/2011.
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo. CQFS RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: NRS/SBCS, 2004. 394p.
- FERREIRA, E.V.F.; ANGHINONI, I.; ANDRIGHETTI, M.H.; MARTINS, A.P.; CARVALHO, P.C.F. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade da soja na integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35 p.161-169, 2011.
- HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, v.49, p.119-199, 1993.
- KOZELINSKI, S.M. Produção de trigo duplo propósito e ciclagem de nutrientes em sistema de integração lavoura-pecuária. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2009. 90p. (**Dissertação de Mestrado**)
- MARCELINO, K.R.A., FONSECA, D.M. Reciclagem de nutrientes sob condições de pastejo. **Tópicos especiais em forragicultura**, Viçosa, 2002.
- MENDES NETO, J. **Sustentabilidade dos sistemas de pastejo: conceitos, métodos e objetivos**. Tópicos especiais em forragicultura, Viçosa, 2000. Disponível em: www.fornagicultura.com.br. Acesso em: 11/04/2011.
- MIRANDA, C. H. B. **Ciclagem de nutrientes em pastagens com vistas à sustentabilidade do sistema**. Campo Grande. 2002, 16p.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.151-160, 2001.
- RIOS, E. de M. Pastejo e adubação nitrogenada na qualidade biológica e estrutural em Latossolo Bruno sob sistema de integração lavoura-pecuária. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. 124p. (**Tese de Doutorado**).
- SARAIVA, F.M. Ciclagem de nutrientes em pastagens de gramíneas tropicais manejadas sob diferentes intensidades de pastejo. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010. 73p. (**Dissertação de Mestrado**).
- 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. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. 185p. (**Tese de Doutorado**).
- SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; ANDRIGHETTI, M. ; CAO, E.G. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1829-1836, 2009.
- WESP, C.L. Sistema de integração lavoura-pecuária: desempenho de novilhos superprecoces e variabilidade espacial do pasto. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. 211p. (**Dissertação de Mestrado**).
- 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.