

DIVISÃO 3 - USO E MANEJO DO SOLO

Comissão 3.1 - Fertilidade do solo e nutrição de plantas

SUPRIMENTO DE NITROGÊNIO PARA CULTURAS DE VERÃO PELA APLICAÇÃO ANTECIPADA EM AZEVÉM PASTEJADO POR OVINOS

Rubens Cherubini Alves^{(1)*}, Carolina Bremm⁽²⁾, Cleist Luiz Ribeiro Nunes⁽¹⁾, Raquel Santiago Barro⁽³⁾, Armindo Barth Neto⁽⁴⁾, Radael Marinho Tres Schons⁽¹⁾, Luis Augusto Martins Caetano⁽⁵⁾ e Paulo César de Faccio Carvalho⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁽²⁾ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Zootecnia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁽³⁾ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁽⁴⁾ Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, Curitiba, Paraná, Brasil.

⁽⁵⁾ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁽⁶⁾ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

* Autor correspondente.

E-mail: rubenscalves@gmail.com

RESUMO

Busca-se nos Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) maior ciclagem do nitrogênio (N). Este trabalho objetivou avaliar a adubação antecipada em azevém pastejado por ovinos no índice de nutrição nitrogenada (INN) das culturas de verão em SIPA. O estudo foi realizado em um protocolo de longa duração manejado, no período de inverno, sob dois métodos de pastoreio, contínuo e rotativo, e duas intensidades de pastejo, moderada e baixa, com quatro repetições. No verão, a área foi subdividida em dois sistemas de cultivos, soja e rotação soja/milho. A fertilização foi feita na fase pastagem, com 75 kg de N e 60 kg de P₂O₅ e K₂O ha⁻¹. Avaliaram-se a massa de forragem residual (MFR) da pastagem e o rendimento, o teor de N e o INN da fitomassa das culturas de verão. No milho, houve efeito das intensidades de pastejo para INN, ao contrário da soja. Não houve efeito dos métodos de pastoreio. A MFR é importante fonte de N para a cultura de verão subsequente. Menores intensidades de pastejo

Recebido para publicação em 2 de maio de 2015 e aprovado em 21 de junho de 2015.

DOI: 10.1590/01000683rbc20151048

geraram maiores MFR e INN para a cultura do milho. A adubação antecipada não influenciou a soja, pois essa atende parte da sua demanda por N pela fixação biológica.

Palavras-chave: ciclagem de nutrientes, *Lolium multiflorum*, milho, sistema integrado, soja.

ABSTRACT: NITROGEN SUPPLY FOR SUMMER CROPS THROUGH EARLY APPLICATION IN RYEGRASS GRAZED BY SHEEP

Greater nitrogen (N) cycling is sought through Integrated Crop-Livestock Systems (ICLS). The aim of this study was to evaluate the effect of early fertilization of nitrogen applied to ryegrass grazed by sheep on the nitrogen nutrition index (NNI) of summer crops in ICLS. This study was carried out in a long-term protocol managed in the winter under two stocking methods, continuous and rotational, and two grazing intensities, moderate and low, with four replications. In summer, the area was divided into two cropping systems - soybean monoculture and a soybean/maize rotation. Fertilization was carried out in the pasture phase with 75 kg N and 60 kg P₂O₅ and K₂O ha⁻¹. Residual forage mass (RFM) of pasture, and phytomass yield, N content, and NNI of the summer crops were evaluated. An effect of grazing intensities was found on the maize NNI, but not on soybean. There was no effect from grazing methods. The RFM is an important source of N for the subsequent summer crop. Lower grazing intensities generate higher RFM and NNI for maize. Early fertilization did not affect soybean, because it meets part of its N demand by biological nitrogen fixation.

Keywords: nutrient cycling, *Lolium multiflorum*, maize, integrated systems, soybean.

INTRODUÇÃO

Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) surgem no cenário atual como alternativa ao sistema de produção desenvolvido durante a revolução industrial e a agrícola do século XX, que buscava aumentar a produtividade, intensificando a produção com o uso de tecnologias como engenharia genética, maquinário, fertilizantes e defensivos químicos (Carvalho et al., 2014). Tais sistemas, em muitos casos, eliminaram a pecuária e o pastejo dos sistemas agrícolas (Franzluebbbers, 2007). Os SIPA são constituídos pela combinação de ciclos de agricultura com ciclos de pecuária, em sucessão e, ou, rotação na mesma área. Esses sistemas têm o potencial de promover a ciclagem de nutrientes e intensificar a produção e a sua sustentabilidade; são mais eficientes no uso dos recursos naturais, melhoram o solo e produzem inúmeros serviços ambientais (Carvalho et al., 2014). Segundo Anghinoni et al. (2013), isso se deve, em grande parte, aos animais em pastejo na fase pastagem, que modificam os fluxos clima-solo-planta dos nutrientes na forragem.

Por interferir tanto em níveis de produção animal como na condição de solo e no volume de resíduo pós-pastejo, que será transferido para a fase lavoura, a intensidade de pastejo é a principal variável a ser manejada durante a fase pastagem (Carvalho et al., 2006). Uma vez que aproximadamente 70 a 95 % dos nutrientes ingeridos pelos animais na forragem retornam ao sistema, via fezes e urina, em uma distribuição espacial heterogênea e de forma

concentrada, pode-se dizer que os animais atuam como catalizadores da ciclagem de nutrientes (Balbinot Junior et al., 2009). Se conduzidos com uma intensidade de pastejo moderada ou baixa, os SIPA têm o potencial de aumentar o teor de matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, os estoques de C e N no longo do tempo (Anghinoni et al., 2013).

Em conjunto às diferentes intensidades, também se pode manejar a fase pastagem por meio de técnicas de métodos do pastoreio. Dois métodos de manejo do pastoreio comumente utilizados são o pastoreio contínuo e o rotativo (Hodgson, 1990). Segundo Barbosa et al. (2007), os dois métodos têm o mesmo potencial de produção de carne e forragem por unidade de área, porém os ganhos obtidos por unidade animal são superiores no método contínuo, pois permite que o animal possa selecionar a forragem colhida (Briske et al., 2008). De maneira geral, sob o sistema de pastoreio contínuo, há melhor seleção do pasto pelos animais e a criação de áreas de exclusão mais pronunciadas, formadas por plantas mais lignificadas. Sob o pastoreio rotativo, há desfolha mais intensa e, conseqüentemente, maior homogeneidade da estrutura do pasto (Barth Neto et al., 2013).

Além da intensidade de pastejo e dos métodos de pastoreio, a disponibilidade de N no solo tem papel fundamental nos índices de produção da fase pastagem, uma vez que maior disponibilidade de N tem o potencial de aumentar a produção de forragem, o que influencia a produtividade animal e o volume de palhada transferida para a fase lavoura. Tais atributos são de fundamental importância, uma vez que a fase

lavoura, na sequência, conduzida sob o sistema plantio direto, é dependente dos resíduos oriundos da fase pastagem para a formação da palhada de cobertura do solo. Segundo Balbinot Junior et al. (2009), um SIPA deve ser projetado com objetivo de obter rendimentos elevados, causando o mínimo distúrbio ambiental, associado ao reduzido consumo de insumos provenientes de fontes não renováveis.

Para isso, é necessário realizar o correto manejo do pasto e das práticas de correção da acidez e fertilidade do solo, a rotação de culturas, o uso de genótipos de vegetais melhorados e do sistema plantio direto. Para Jeuffroy et al. (2002), para alcançar maiores índices produtivos, os produtores realizam grandes aportes de N no sistema, o que aumenta o risco de perdas por lixiviação. Para aumentar a eficiência de uso dos fertilizantes e reduzir os impactos ambientais, faz-se necessário aumentar a precisão dos volumes de fertilizantes aplicados, assim como dos momentos de sua realização. Sendo assim, estratégias para efetuar o diagnóstico das deficiências nutricionais das plantas fazem-se necessárias.

Como nova estratégia para contribuir em uma recomendação de adubação mais precisa, está o índice de nutrição nitrogenada (INN) (Lemaire e Gastal, 2009), uma vez que essa técnica, que utiliza a concentração mínima de N para o máximo crescimento da planta, tem o potencial de indicar o real estado nutricional da cultura e colaborar em melhor ajuste das necessidades de fertilização das culturas no longo de seu desenvolvimento (Jeuffroy et al., 2002).

A manutenção da fertilidade do solo é de grande importância, e a adubação antecipada é proposta com base em que a exportação de nutrientes na fase lavoura é maior do que na fase pastagem. Dessa forma, a adubação antecipada tem como objetivo promover maiores rendimentos da pecuária e da lavoura e maior ciclagem dos nutrientes, em especial o N, entre as duas fases produtivas dos SIPA (Anghinoni et al., 2013). O N é considerado um dos nutrientes que mais causa limitações nos índices produtivos de culturas, tanto de lavouras como de pastagens (Amado et al., 2002).

Busca-se nos SIPA uma forma de aumentar a eficiência da fertilização nitrogenada. A esse encontro, surge este estudo na busca de estratégias para aumentar a eficiência da agropecuária, com a hipótese de que em SIPA, a adubação nitrogenada pode ser realizada durante a fase pastagem (inverno) para suprir as necessidades desse nutriente na fase lavoura (verão), e o nível de suprimento será distinto para as culturas da soja e do milho.

Nesse contexto, este trabalho objetivou avaliar a adubação antecipada em azevém pastejado por ovinos no índice de nutrição nitrogenada (INN) das culturas de verão em SIPA.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área experimental

As avaliações descritas neste artigo foram realizadas em um protocolo de longa duração em Sistema Integrados de Produção Agropecuária, estabelecido em 2003 na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul, RS (latitude 30° 05' 22" S, longitude 51° 39' 08" W e altitude de 46 m). A área experimental encontra-se em um terreno de relevo levemente ondulado sobre um Argissolo Vermelho Distrófico típico (Santos et al., 2006). Trata-se de um solo profundo, apresentando perfil com gradiente textural, bem-drenado, com saturação por bases menor que 50 %. O solo apresenta baixa fertilidade natural, baixo pH e alta saturação por alumínio (Streck et al., 2008). O experimento teve início em 2003, sendo fertilizado anualmente, durante a fase pastagem, com doses de 150 kg de N e entre 40 e 120 kg de P₂O₅ e 40 e 60 kg de K₂O ha⁻¹, de acordo com o recomendado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (CQFS-RS/SC, 2004). Em 2003, foi aplicada 1 Mg ha⁻¹ de calcário. O clima da região é subtropical úmido "Cfa", segundo a classificação de Köppen. Os dados climáticos foram obtidos por meio da estação meteorológica automática da EEA/UFRGS, localizada a 800 m do experimento. O balanço hídrico foi calculado pelo método de Penman-Monteith.

Esse protocolo é composto por 16 piquetes, com áreas entre 0,23 e 0,41 ha, ocupando área total de 4,8 ha. Cada piquete é dividido em dois sistemas de cultivos de verão, monocultivo de soja e rotação soja/milho, sendo cada metade uma unidade experimental, o que resulta em 32 unidades experimentais (UE). Na fase pastagem, período inverno/primavera, as unidades experimentais foram mantidas com uma cobertura vegetal formada por azevém anual, estabelecido por meio da ressemeadura natural e dos pastejados por ovinos. O experimento foi delineado em blocos casualizados, sendo os tratamentos organizados em um esquema fatorial 2 × 2 × 2, com quatro repetições.

Na fase pastagem, os tratamentos foram compostos por dois métodos de pastoreio e duas intensidades de pastejo. Os métodos de pastoreio são o contínuo e o rotativo, e as intensidades de pastejo correspondem à oferta de 2,5 e 5,0 vezes o potencial de consumo de forragem pelos animais (intensidade de pastejo moderada e baixa, respectivamente) (NRC, 1985). Em 2013, as cargas animais médias utilizadas nas unidades experimentais de intensidade moderada e baixa foram de 1.095 ± 120 e 768 ± 90 kg ha⁻¹ PV, respectivamente. Após a retirada dos animais, no período verão/outono, cada UE foi semeada no

esquema de monocultivo de soja, ou na rotação soja/milho. Os dados apresentados neste trabalho foram obtidos na safra 2013/2014, quando as UEs em rotação de culturas foram semeadas com milho.

Descrição das práticas de manejo

A fertilização do solo em 2013 foi realizada inteiramente durante a fase pastagem, no dia 27 de junho de 2013, com 75 kg de N e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de K₂O. Para o N aplicado em forma de ureia, a adubação realizada foi a metade da quantidade recomendada, que seria de 150 kg ha⁻¹ de N, com objetivo de avaliar se a fertilidade do solo construída no longo dos 10 anos do experimento iria contribuir para o suprimento de N das culturas de verão (Barbosa et al., 2007; Lunardi et al., 2008; Savian et al., 2014).

O período experimental a que se refere este trabalho se iniciou no dia 08 de julho de 2013, com a entrada dos animais no experimento, sendo conduzido pela técnica da taxa de lotação variável (Mott e Lucas, 1952) para o ajuste das ofertas de forragem preconizadas. Foram utilizados ovinos machos castrados, sendo três animais-teste por unidade experimental, com peso inicial médio de 27,4 ± 1,0 kg. Nos tratamentos de pastoreio rotativo, as unidades experimentais foram divididas em faixas, que deveriam ser ocupadas por um período de dois dias. Os ciclos de pastejo foram calculados pela duração de vida da folha (DVF) (Pontes et al., 2003); com isso, foram calculados quatro ciclos de pastejo de 37, 29, 29 e 23 dias. Os animais nos tratamentos de pastoreio contínuo permaneceram constantemente em suas unidades experimentais durante cada ciclo de pastejo, com acesso livre a toda unidade experimental.

A retirada dos ovinos da área experimental foi em 02 de novembro de 2013; posteriormente, procedeu-se a dessecação da pastagem, com uma dose de 2 L ha⁻¹ de Glifosato. A semeadura da soja cultivar BRX Potência RR e a do milho híbrido DKB 290 ocorreram nos dias 25 e 27 de novembro de 2013, respectivamente. O estabelecimento das culturas ocorreu pelo sistema de semeadura direta em linha, com a utilização de máquina semeadora, com espaçamento de 40 cm entrelinhas em ambas as culturas. As sementes de soja foram inoculadas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* sp.

Durante o desenvolvimento das culturas, foram realizadas três aplicações de defensivos químicos, fungicidas de forma preventiva (Tebuconazole, Piraclostrobrina, Epoxiconazol, Azoxistrobrina e Ciproconazol) e inseticidas, quando constatada a presença de população de insetos acima do nível de controle (Diflubenzurom, Tiametoxam e Lamba-Cialotrina), para o controle fitossanitário, além da aplicação do herbicida Glifosato para o controle de plantas daninhas.

Parâmetros avaliados

A avaliação do resíduo da pastagem foi realizada por meio de amostras de forragem cortadas rente ao solo, com auxílio de uma moldura metálica com medida de 0,5 × 0,5 m (0,25 m² de área). Efetuaram-se três amostragens em cada unidade experimental, sendo essas unidades divididas em três porções (frente, meio e fundo) no longo de seu comprimento, e um local escolhido ao acaso de cada porção foi amostrado.

Para a análise do Índice de Nutrição Nitrogenada (INN) das culturas, realizaram-se três amostragens de plantas, cortadas rente ao solo, nos dias 22 de janeiro, 01 e 08 de fevereiro de 2014. As amostragens nas lavouras seguiram o mesmo critério das amostragens de resíduo de pasto, cada unidade experimental foi dividida em três porções. Dessa forma, foi realizada uma amostragem em cada porção, resultando em três amostras de soja ou milho por unidade experimental. Em cada amostra foram coletadas todas as plantas em duas linhas de plantio paralelas, de 60 cm de comprimento, cortadas rentes ao solo. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de ar forçado a 60 °C e secas até atingirem peso constante; e, posteriormente, pesadas. Após a pesagem, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey. Por meio do peso das amostras e do tamanho da superfície amostrada, calculou-se o rendimento da cultura, isto é, a biomassa da cultura, expressa em kg ha⁻¹ de MS. Em seguida, as amostras foram conduzidas ao laboratório para ser avaliado o teor de N nos tecidos, pelo método Micro-Kjeldahl (Prates, 2007). Os resultados de teor de N foram associados à quantidade de fitomassa aérea das culturas e comparados ao modelo de diluição de N descrito por Lemaire e Gastal (2009).

O N crítico foi utilizado como indicador do estado nutricional das culturas. Para tal, o modelo matemático utilizado foi: %N_c = a_c W^{-b}. Para calcular a porcentagem de N (%N_c) na massa de matéria seca das culturas (W), utilizou-se como coeficiente 'a' (concentração de N necessária para a produção de 1 Mg ha⁻¹ de massa de matéria seca) e como coeficiente 'b' (relação entre o declínio do %N da planta e a sua taxa de crescimento) os seguintes valores, respectivamente: para o milho, 3,4 e 0,37 (Lemaire e Gastal, 2009), e para a soja, 4,8 e 0,32 (Lemaire e Sallete, 1984). O INN foi calculado pela equação INN = %N_a/%N_c, em que %N_a corresponde à concentração de N da amostra (Lemaire e Gastal, 2009).

Análise estatística

Os dados obtidos de rendimento de MS, percentual de N e INN das culturas de verão foram submetidos à análise de variância separadamente para cada cultura (soja e milho), considerando o nível de 5 % de significância. No modelo, foram incluídos os efeitos fixos de método de pastoreio e a intensidade

de pastejo e suas interações, e as datas de avaliação foram analisadas como medidas repetidas no tempo, entrando como componente aleatório no modelo, assim como o bloco. Para os dados de massa de forragem residual do pasto (MFR), foi inserido como efeito fixo no modelo o efeito da cultura de verão, assim como suas interações com método de pastoreio e intensidade de pastejo. Quando detectadas diferenças entre as médias, essas foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Foram realizadas análises de correlação de Pearson entre a MFR do pasto e o INN das culturas de verão ($p < 0,05$). Para relacionar o teor de N e o rendimento das culturas de verão, testaram-se regressões lineares e polinomiais ($p < 0,05$). Quando as equações de regressão apresentaram similaridade entre os métodos de pastoreio e as intensidades de pastejo, foi efetuada a comparação entre elas pelo teste de paralelismo e, havendo igualdade ($p < 0,05$), foi gerada nova equação a partir do conjunto de dados dos tratamentos semelhantes. Utilizou-se o *software* SAS (v.9.0).

RESULTADOS

Dados climáticos

As ocorrências de precipitações estiveram dentro da média histórica durante o inverno, abaixo da média em julho e setembro e acima da média em agosto e outubro de 2013 (Figura 1). Durante o verão, foram registradas precipitações 108 % acima da média histórica em novembro de 2013; no entanto, o período de dezembro de 2013 a fevereiro de 2014 foi caracterizado por chuvas inferiores à média histórica. Segundo os cálculos de balanço hídrico,

houve um período de déficit hídrico no período de final de novembro a janeiro (Figura 2).

Massa de forragem residual

Ao avaliar a massa de forragem residual (MFR) (Quadro 1), não foi observada diferença entre as culturas de verão e entre métodos de pastoreio ($p > 0,05$). Detectou-se efeito das intensidades de pastejo ($p < 0,05$) independentemente da cultura avaliada; nas áreas sob intensidade de pastejo baixa, a MFR média encontrada foi superior à da intensidade moderada.

Rendimento de matéria seca da lavoura

Não foi observada diferença ($p > 0,05$) entre as intensidades e os métodos de pastoreio no rendimento da MS das culturas de soja e milho (Quadro 2). Os níveis de N da amostra e INN na cultura do milho apresentaram diferença entre as intensidades de pastejo, sem diferença entre os métodos de pastoreio ($p > 0,05$), sendo as médias para a intensidade de pastejo moderada menores do que para a intensidade de pastejo baixa. Na cultura da soja, não foram encontradas diferenças entre as intensidades de pastejo e entre os métodos de pastoreio ($p > 0,05$) para N da amostra e INN.

Percentual de N e INN

Os modelos de diluição de N são apresentados nas figuras 3 e 4. Independentemente dos métodos e das intensidades de pastejo ($p > 0,05$), o percentual de N das amostras decresceu com o rendimento de matéria seca da cultura, conforme prevê o modelo. Para a cultura do milho, os teores de N médios ficaram abaixo da curva de diluição, o que indicou que, de modo geral, houve limitações na disponibilidade de N, e essa cultura não teve a sua demanda por esse nutriente suprida. Para a cultura da soja, os pontos estiveram mais próximos

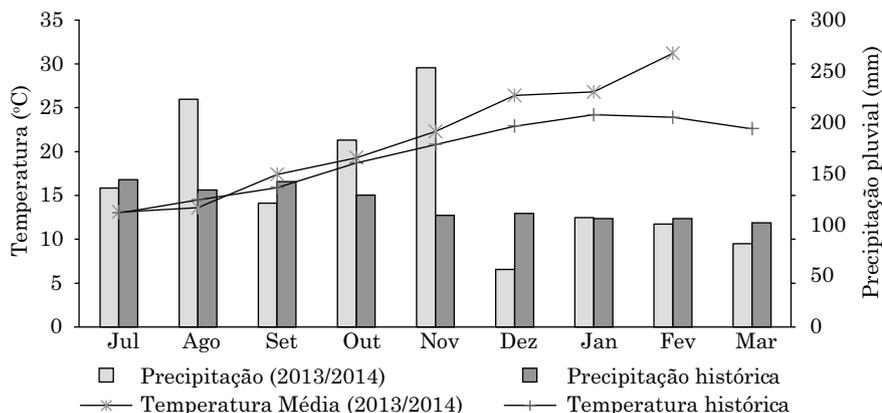


Figura 1. Precipitações pluviométricas acumuladas na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul durante período experimental (2013/2014) e precipitações e temperaturas médias históricas.

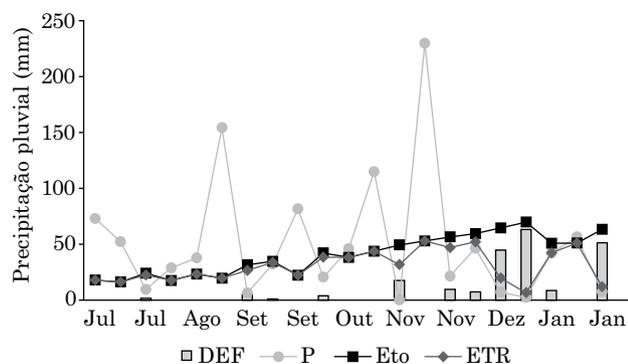


Figura 2. Balanço hídrico da Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul calculado pelo método Penman-Monteith durante período experimental (2013/2014). DEF: déficit hídrico, P: precipitação pluvial, Eto: Evapotranspiração de referência e ETR: Evapotranspiração real.

Quadro 1. Massa de forragem residual do pasto de azevém (MFR) antecedente às culturas de soja e milho fertilizadas por meio de adubação sistêmica em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária

Cultura	Contínuo		Rotativo		Média ± EPM
	2,5	5,0	2,5	5,0	
	kg ha ⁻¹ MS				
Soja	2.517	3.371	3.899	4.210	3.432 ± 246
Milho	2.499	4.463	2.931	4.496	3.597 ± 275
Média	2.446 b	3.917 a	3.343 b	4.353 a	3.514 ± 183

Letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). EPM: erro-padrão da média.

ou acima da curva de diluição, o que evidenciou que essas plantas sempre estiveram em uma condição de consumo de N acima do necessário, o que significou que a disponibilidade de N não foi limitante.

DISCUSSÃO

A construção de SIPA e a organização e estabilização de seus componentes levam ao surgimento de propriedades novas, ditas emergentes, como a própria fertilidade do solo (Anghinoni et al., 2013). Dessa forma, esperam-se encontrar efeitos de tais propriedades emergentes, e em que maneira o solo manejado nesse sistema, após um período de mais de 10 anos, pode suprir as demandas das culturas, mesmo sobre uma aplicação de N em uma dose menor do que a recomendada.

Quadro 2. Rendimento de fitomassa, teor de nitrogênio (N) e índice de nutrição nitrogenada (INN) das culturas de soja e milho fertilizadas pela adubação sistêmica em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA)

SIPA	Rendimento	N	INN
	Mg ha ⁻¹ MS	%	
	Soja		
Contínuo 2,5	3,0 a	3,6 a	105,2 a
Contínuo 5,0	3,2 a	3,7 a	110,1 a
Rotativo 2,5	3,2 a	3,7 a	110,2 a
Rotativo 5,0	2,8 a	3,8 a	109,0 a
Média ± EPM	3,0 ± 0,07	3,7 ± 0,05	108,6 ± 1,4
P_I	0,3123	0,0896	0,4418
P_M	0,6115	0,2073	0,503
$P_{I \times M}$	0,1002	0,8757	0,2491
	Milho		
Contínuo 2,5	4,8 a	1,5 b	74,0 b
Contínuo 5,0	5,5 a	1,6 a	85,8 a
Rotativo 2,5	4,5 a	1,5 b	73,0 b
Rotativo 5,0	4,1 a	1,8 a	84,1 a
Média ± EPM	4,7 ± 0,16	1,6 ± 0,04	79,2 ± 2,1
P_I	0,4039	0,0114	0,0027
P_M	0,0576	0,2516	0,8181
$P_{I \times M}$	0,0677	0,3267	0,9556

Letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). EPM: erro-padrão da média; P_I : valor de P para intensidade de pastejo; P_M : valor de P para método de pastoreio; e $P_{I \times M}$: valor de P para interação intensidade x método.

Cultura da soja

Os resultados deste estudo indicaram que, para a cultura de soja, não ocorreram limitações na nutrição nitrogenada (Quadro 2). Isso evidenciou que a cultura está adequadamente nutrida quanto a esse nutriente, o que é observado pelo fato de os teores de N estarem, em sua maior parte, acima da curva de diluição de N, demonstrando um consumo maior do que a cultura necessita (Figura 4). Independentemente do manejo do pastoreio realizado durante o período inverno, não foi encontrada diferença no INN para a cultura da soja, uma vez que essa cultura tem a capacidade de atender uma importante fração de sua demanda por N pela fixação biológica de N (FBN). Lunardi et al. (2008), avaliando o rendimento de grãos de soja nesse mesmo protocolo experimental, também não encontraram diferença no rendimento de grãos da cultura da soja entre intensidades de pastejo e entre métodos de pastoreio.

Não foi detectada relação entre os resultados do INN com a MFR (Quadro 1) na cultura da soja, que tem o potencial de suprir as demandas de N pela FBN, mesmo sob situação de estresse, como

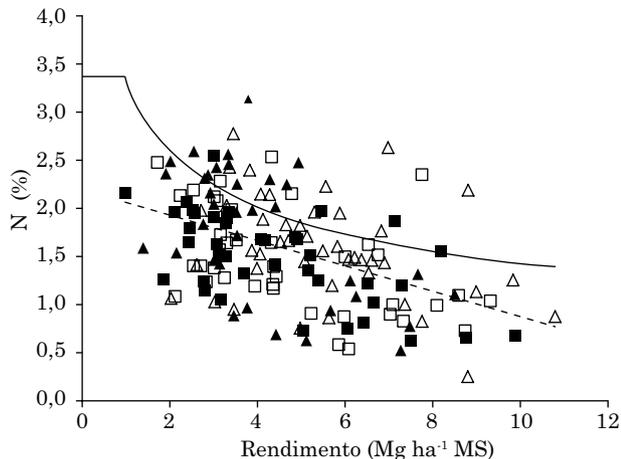


Figura 3. Curva de diluição de nitrogênio (-) e relação entre teor de N e rendimento da cultura de milho fertilizada pela adubação sistêmica em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (—) ($\hat{y} = 2,21 - 0,132 x$; $p < 0,0001$; $R^2 = 0,2280$; $DPR = 0,50$; $n = 159$). Tratamentos: □ Contínuo moderada; ■ Rotativo moderada; △ Contínuo baixa; e ▲ Rotativo baixa.

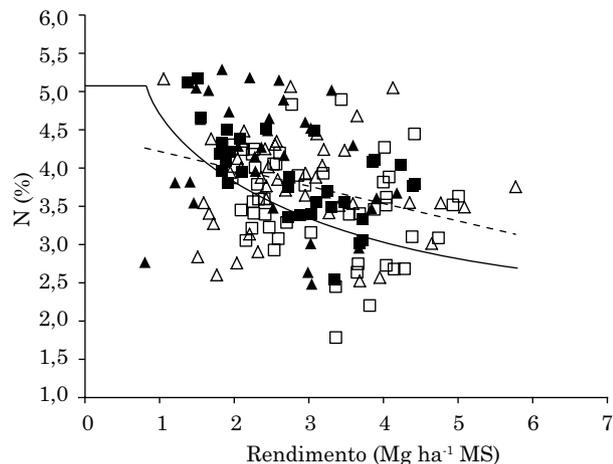


Figura 4. Curva de diluição de nitrogênio (-) e relação entre teor de N e rendimento da cultura de soja fertilizada pela adubação sistêmica em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (—) ($\hat{y} = 4,6 - 0,288 x$; $p < 0,0001$; $R^2 = 0,1735$; $DPR = 0,65$; $n = 190$). Tratamentos: □ Contínuo moderada; ■ Rotativo moderada; △ Contínuo baixa; e ▲ Rotativo baixa.

o déficit hídrico, quando há diminuição na taxa de desenvolvimento (Streeter, 2008). Silva et al. (2014), ao estudar o comportamento da soja em um experimento de SIPA com mais de 10 anos de implantação, também não encontraram diferença nos teores de N em plantas de soja sob diferentes intensidades de pastejo e em duas fases de seu

desenvolvimento. Entretanto, ao comparar os teores de outros nutrientes entre as intensidades de pastejo, esses autores detectaram diferenças nos teores de P no estágio V8, indicando a influência dos resíduos de palhada da fase pastejo sobre a disponibilidade de nutrientes que essa cultura busca no solo.

Dessa forma, quanto maior a quantidade de resíduos na superfície do solo e das raízes, maior é o volume de nutrientes que pode ser ciclado entre as duas fases, indicando serem os resíduos o meio de transporte dos nutrientes entre a fase pastagem e a fase lavoura.

Cultura do milho

A cultura do milho busca absorver e, conseqüentemente, suprir as suas demandas por nutrientes, entre eles o N, por meio do solo. A maior eficiência da fertilização de inverno em atender as demandas de N na cultura do milho foi comprovada por Assmann et al. (2003) e Sandini et al. (2011), que avaliaram o rendimento de grãos sob diferentes doses de N realizadas na fase pastagem. Esses autores constataram que parcelas que receberam dosagens de 200 kg ha^{-1} de N no inverno não responderam à aplicação de nova dosagem de N no verão. Porém, dosagens menores, de 100 kg ha^{-1} de N na fase pastagem, não foram suficientes para obter maiores rendimentos de grãos das lavouras de verão.

Disponibilidade de N no solo

Existem dois fatores importantes para compreender como a demanda de N das culturas é atendida pelo solo: a disponibilidade inicial de N no solo e a mineralização do N no longo do desenvolvimento da cultura (Sadras e Lemaire, 2014). A disponibilidade inicial de N, além do que pode ser adicionado via fertilização, está diretamente relacionada com o volume da MFR (Souza et al., 2009), uma vez que o estoque de N no solo ocorre em forma orgânica, como parte da matéria orgânica do solo (MOS) (Cantarella, 2007). A taxa de mineralização do N é dependente da qualidade da MFR, isto é, a sua relação C/N (Silva et al., 2007). Resíduos com baixa relação C/N são rapidamente decompostos, o que resulta em um assincronismo entre a liberação de seu N e a demanda em N pelo milho em sucessão (Aita e Giacomini, 2003).

A quantidade de MFR ao final do ciclo pastejo foi positivamente correlacionada com o INN da cultura de milho ($r = 0,60$; $p < 0,05$). Em situações de maior intensidade de pastejo, como nos tratamentos de intensidade moderada, observou-se menor INN na cultura do milho. Nessa situação, a MFR foi menor (Quadro 1), sendo possivelmente menos fibrosa, o que facilita a decomposição e, com isso, o processo de mineralização do N é dominante em relação à imobilização. Segundo Pitta et al. (2013), o pastejo sobre aveia-preta mantida entre

0,15 e 0,20 m tornou a MFR menos fibrosa; com isso, as taxas de decomposição do resíduo e de desaparecimento do N disponível na solução do solo são mais rápidas, quando comparadas com uma área sem pastejo.

Dessa forma, a maior parte do N foi mineralizada e reabsorvida pelas culturas logo nas fases iniciais, sobrando pouco N para o restante do período de desenvolvimento da cultura, resultando em assincronia entre a liberação e as necessidades de N da planta de milho. Comportamento semelhante foi observado por Aita e Giacomini (2003), os quais estudaram a decomposição de resíduos de diferentes plantas de cobertura. Segundo esses autores, a velocidade de liberação de N é inversamente proporcional à relação C/N do resíduo cultural.

Quanto ao tratamento de baixa intensidade de pastejo, onde o INN do milho foi superior, houve maior MFR (Quadro 1). Essa maior biomassa residual pode resultar em maior suprimento de N pela pastagem e, conseqüentemente, ocasionar menores perdas por lixiviação. Além disso, maiores teores de MOS favorecem o deslocamento do nitrato para a solução do solo (Cantarella, 2007). Segundo esse mesmo autor, maiores volumes de resíduos no solo também favorecem a retenção do amônio, podendo reduzir as perdas do N por volatilização. Dessa forma, faz-se importante a manutenção de resíduos com adequada relação C/N.

Água no solo

A água é o principal agente transportador do N no solo e tem papel determinante no ciclo do N. Baixos teores de umidade do solo podem reduzir a disponibilidade e conseqüentemente a absorção de N pelas culturas, resultando em menores valores de INN (Gonzalez-Dugo et al., 2010; Sadras e Lemaire, 2014). Tal relação faz com que a água tenha papel preponderante na absorção de N na cultura do milho. Gonzales-Dugo et al. (2005), ao estudarem o efeito de diferentes doses de adubação nitrogenada e da presença ou ausência de irrigação sobre o INN de áreas cultivadas de azevém anual e festuca (*Festuca arundinacea* L.), observaram que a ausência da irrigação ocasionou a redução do INN nas duas espécies.

Durante o desenvolvimento da cultura (entre dezembro de 2013 e fevereiro de 2014), foi observado déficit hídrico (Figura 2), o que pode ter comprometido o crescimento de biomassa das culturas e a sua absorção de nutrientes (Bergamaschi et al., 2006; Gonzalez-Dugo et al., 2010). Uma vez que a MFR, que corresponde à cobertura vegetal do solo, foi inferior no tratamento de intensidade moderada, é esperado que, nessas unidades experimentais, ocorra menor retenção de água no perfil do solo em razão da menor proteção da superfície do solo e, conseqüentemente, menor

disponibilidade hídrica e de nutrientes para as plantas. Derpsch et al. (1985), estudando diferentes coberturas de solo, observaram que nas situações onde houve maiores produções de palhada no inverno, maiores foram os teores de umidade do solo no verão.

Dessa forma, pode-se supor que para a cultura do milho, que supre toda a sua necessidade por N no solo, o maior INN observado nos tratamentos com intensidade baixa pode ter sido influenciado pela melhor condição de solo em disponibilizar água e nutrientes à cultura, uma vez que estava mais bem protegido contra a evaporação e manteve a umidade no seu perfil.

Exportação de N

Quanto ao efeito da exportação do N via produção animal do sistema sobre o INN, dados históricos desse mesmo protocolo experimental apontaram que o ganho de peso vivo por hectare na intensidade de pastejo moderada é maior do que na intensidade baixa (Barbosa et al., 2007; Macari et al., 2011; Savian et al., 2014). Por essa razão, menores ofertas de forragem poderiam resultar em maiores exportações relativas de nutrientes, uma vez que a quantidade de fertilizantes aplicada foi igual em todos os tratamentos. Souza et al. (2009) comentaram que são esperadas maiores perdas de C e N do sistema por respiração sob maior intensidade de pastejo tanto pelo animal em pastejo como pela respiração microbiana do solo. Da mesma forma, pode-se supor que não foi observada diferença no INN da cultura do milho entre os métodos de pastoreio (rotativo e contínuo) em razão da pequena diferença na produção animal entre os métodos (Barbosa et al., 2007; Macari et al., 2011; Savian et al., 2014), além da semelhança observada para MFR entre os métodos (Quadro 1). Dessa forma, não há diferença na exportação de N entre os métodos de pastoreio.

Considerando que com uma produção de 360 kg de carne se exporta 14 kg de N (Anghinoni et al., 2013) e que foi obtida uma produção animal de aproximadamente 274 e 128 kg ha⁻¹ de PV nos tratamentos sob intensidades moderada e baixa, respectivamente, foi exportado entre 10,66 e 4,98 kg ha⁻¹ de N, ou 14,2 e 6,6 % do volume adicionado via adubação do sistema; uma diferença de aproximadamente 5,7 kg ha⁻¹ de N. Tal diferença pode parecer pequena, mas representa 7,6 % do N total aplicado. Além disso, para atingir um INN de 100 %, teoricamente há um déficit de aproximadamente 24 e 14 kg ha⁻¹ de N nos tratamentos de intensidade moderada e baixa, respectivamente. Logo, em uma situação de fertilização em doses inferiores às recomendadas, essa exportação de N não pode ser desconsiderada.

Fertilização antecipada

É importante considerar que a dose de N aplicada durante o inverno foi baixa, o que pode ter comprometido o desenvolvimento da pastagem e da lavoura. Logo, o sistema não estava bem-nutrido; porém, foram observados resultados interessantes como os índices de INN em torno de 85 e 70 % para a cultura do milho nas intensidades de pastejo baixa e moderada, respectivamente. De qualquer forma, ficou comprovado que doses de N na ordem de 75 kg ha⁻¹ não são recomendadas para sistemas de produção onde o objetivo for obter elevados rendimentos.

Demonstrou-se neste trabalho o efeito das diferentes intensidades de pastejo sobre a ciclagem do N para a cultura do milho. Sendo os fertilizantes nitrogenados responsáveis por grande custo de implantação da cultura do milho, é importante manter a fertilidade do solo e, conseqüentemente, a viabilidade do sistema de produção. É fundamental aplicar técnicas de manejo capazes de aumentar a eficiência dos insumos, em especial o N, para aproveitar ao máximo os recursos aplicados, diminuindo as perdas (Jeuffroy et al., 2002; Sadras e Lemaire, 2014). Portanto, os sistemas de produção que integram os componentes agrícola e pecuário são de fundamental importância para boa ciclagem dos nutrientes e manutenção da fertilidade do solo.

CONCLUSÕES

A biomassa residual da fase pastagem é importante fonte de nitrogênio para a cultura de verão em sucessão em sistemas integrados de produção agropecuária. Menores intensidades de pastejo resultam em maior massa de forragem residual e, conseqüentemente, em maiores índices de nutrição nitrogenada para a cultura do milho em sistemas com deficiência de nitrogênio.

A adubação sistêmica não foi fator limitante ao crescimento da soja, uma vez que essa supre grande parte de sua demanda de nitrogênio pelo processo da fixação biológica.

O uso de diferentes métodos de pastoreio não influencia o índice de nutrição nitrogenada das culturas sucessoras de soja e milho em sistemas com deficiência de nitrogênio.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Projeto 562688/2010-2 REPENSA, conjuntamente com a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS); e à PGW Sementes Brasil Ltda.

REFERÊNCIAS

- Aita C, Giacomini SJ. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. *R Bras Ci Solo*. 2013;27:601-12.
- Amado TJC, Mielniczuk J, Aita C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. *R Bras Ci Solo*. 2002;26:241-8.
- Anghinoni I, Carvalho PCF, Costa SEVGA. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. *Tópicos Ci Solo*. 2013:221-78.
- Assmann TS, Ronzelli Júnior P, Moraes A, Assmann AL, Koehler HS, Sandini I. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. *R Bras Ci Solo*. 2003;27:675-83.
- Balbinot Junior AA, Moraes A, Veiga M, Pelissari A, Dieckow J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ci Rural*. 2009;39:1925-33.
- Barbosa CMP, Carvalho PCF, Caudura GF, Lunardi R, Kunrath TR, Gianluppi GDF. Terminação de cordeiros em pastagens de azevém anual manejadas em diferentes intensidades e métodos de pastejo. *R Bras Zootec*. 2007;36:1953-60.
- Barth Neto A, Carvalho PCF, Lemaire G, Sbrissia AF, Canto MW, Savian JV, Amaral GA, Bremm C. Perfilhamento em pastagens de azevém em sucessão a soja ou milho, sob diferentes métodos e intensidades de pastejo. *Pesq Agropec Bras*. 2013;48:329-38.
- Bergamaschi H, Dalmago GA, Comiran F, Bergonci JI, Muller AG, França S, Santos AO, Radin B, Bianchi CAM, Pereira PG. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Pesq Agropec Bras*. 2006;41:243-9.
- Briske DD, Derner JD, Brown JR, Fuhlendorf SD, Teague WR, Havstad KM, Gillen RL, Ash AJ, Willms WD. Rotational grazing on Rangelands: reconciliation of perception and experimental evidence. *Rangeland Ecol Manage*. 2008;61:3-17.
- Cantarella H. Nitrogênio. In: Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, editores. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007. p.375-470.
- Carvalho PCF, Moraes A, Anghinoni I, Lang CR, Silva JLS, Sulc RM, Tracy B. Manejo da Integração Lavoura-Pecuária para a região de clima subtropical. In: 10^o Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha; 2006; Uberaba. Foz do Iguaçu: FEBRAPD; 2006. p.177-84.
- Carvalho PCF, Moraes A, Pontes LS, Anghinoni I, Sulc RM, Batello C. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. *R Ci Agron*. 2014;45:1040-6.
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo – CQFS-RS/SC. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10^a ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2004.
- Derpsch R, Sidiras N, Heinzmann FX. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. *Pesq Agropec Bras*. 1985;20:761-73.
- Franzluëbbers AJ. Integrated crop-livestock systems in the Southern USA. *Agron J*. 2007;99:362-72.

- Gonzalez-Dugo V, Durand JL, Gastal F, Picon-Cochard C. Short-term response of the nitrogen nutrition status of tall fescue and Italian ryegrass swards under water deficit. *Aust J Agric Res.* 2005;56:1269-76.
- Gonzalez-Dugo V, Durand JL, Gastal F. Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. *Agron Sust Dev.* 2010;30:529-44.
- Hodgson J. *Grazing management: science into practice.* Longman Handbooks in Agriculture. New York: John Wiley & Sons; 1990.
- Jeuffroy MH, Ney B, Ourry A. Integrated physiological and agronomic modelling of N capture and use within the plant. *J Exp Bot.* 2002;53:809-23.
- Lemaire G, Salette J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de peuplement de graminées le pâturage: 'vement d'azote pour un res. I. Etude de l'effet du milieu. *Agronomie.* 1984;4:423-30.
- Lemaire G, Gastal F. Quantifying crop responses to nitrogen deficiency and avenues to improve nitrogen use efficiency. In: Sadras VO, Calderini DF, editors. *Crop physiology. Applications for genetic improvement and agronomy.* Adelaide: Academic Press; 2009. p.171-99.
- Lunardi R, Carvalho PCF, Trein CR, Costa JA, Cauduro GF, Barbosa CMP, Aguinaga AAQ. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. *Ci Rural.* 2008;38:795-801.
- Macari S, Carvalho PCF, Oliveira L, Devincenzi T, Albuquerque C, Moraes A. Recria de borregas sob diferentes métodos de pastoreio em azevém anual em sucessão a lavoura. *Pesq Agropec Bras.* 2011;46:1401-8.
- Mott GO, Lucas HL. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: *Proceedings of the 6th International Grassland Congress.* Pennsylvania, USA: State College Press; 1952. p.1380-5.
- National Research Council - NRC. *Nutrient requirements of sheep.* 6th ed. Washington: National Academic of Science; 1985.
- Pitta CSR, Pelissari A, Silveira ALF, Adami PF, Sartor LR, Assmann TS, Migliorini F. Decomposition and nitrogen release in areas with and without grazing and its influence on corn. *Semina: Ci Agrár.* 2013;34:905-20.
- Pontes LS, Nabinger C, Carvalho PCF, Trindade JK, Montardo DP, Santos RJ. Variáveis morfológicas e estruturais de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) manejado em diferentes alturas. *R Bras Zootec.* 2003;32:814-20.
- Prates ÊR. *Técnicas de pesquisa em nutrição animal.* Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2007.
- Sadras VO, Lemaire G. Quantifying crop nitrogen status for comparisons of agronomic practices and genotypes. *Field Crops Res.* 2014;164:54-64.
- Sandini IE, Moraes A, Pelissari A, Neumann M, Falbo MK, Novakowisi JH. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. *Ci Rural.* 2011;41:1315-22.
- Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Oliveira JB, Coelho MR, Lumberras JF, Cunha TJJ, editores. *Sistema brasileiro de classificação de solos.* Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; 2006.
- Savian JV, Barth Neto A, David DB, Bremm C, Schons RMT, Genro TCM, Amaral GA, Gere JI, Mcmanus CM, Bayer C, Carvalho PCF. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop-livestock system. *Agric Ecosyst Environ.* 2014;190:112-9.
- Silva AA, Silva PRF, Suhre E, Aregenta G, Strieder ML, Rambo L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. *Ci Rural.* 2007;37:928-35.
- Silva FD, Amado TJC, Bredemeier C, Bremm C, Anghinoni I, Carvalho PCF. Pasture grazing intensity and presence or absence of cattle dung input and its to soybean nutrition and yield in integrated crop-livestock systems under no-till. *Eur J Agron.* 2014;57:84-91.
- Souza ED, Costa SEVGA, Anghinoni I, Carvalho PCF, Andrigueti M, Cao E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *R Bras Ci Solo.* 2009;33:1829-36.
- Streck EV, Kämof N, Dalmolin RSD, Klamt E, Nascimento PC, Schneider P, Giasson E, Pinto LFS. *Solos do Rio Grande do Sul.* 2^a ed. Porto Alegre: Emater RS; 2008.
- Streeter JG. Effects of drought on nitrogen fixation in soybean root nodules. *Plant Cell Environ.* 2008;26:1199-204.