

PERDAS DE NUTRIENTES POR EROSÃO EM DIFERENTES MÉTODOS DE MELHORAMENTO DE PASTAGEM NATIVA NO RIO GRANDE DO SUL⁽¹⁾

E. A. CASSOL^(2, 4), R. LEVIEN⁽²⁾, I. ANGHINONI^(2, 4) & M. P. BADELUCCI⁽³⁾

RESUMO

A paralisação do crescimento da pastagem nativa no período do inverno no Rio Grande do Sul tem incentivado a introdução de espécies hibernais para aumentar a oferta de forragem aos animais. Com o objetivo de estudar as perdas de nutrientes por erosão influenciadas por métodos de melhoramento da pastagem nativa, realizou-se um estudo na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, no município de Eldorado do Sul (RS), em um Argissolo Vermelho distrófico típico, submetido ao uso prolongado com pastagem nativa. Uma mistura de espécies hibernais composta por aveia preta (*Avena strigosa*), azevém (*Lolium multiflorum*) e trevo vesiculoso (*Trifolium vesiculosum*) foi introduzida sobre parcelas de 3,5 x 11,0 m e declividade média de 0,107 m m⁻¹. Aplicou-se uma chuva simulada de 64 mm h⁻¹, durante 75 minutos, em três épocas: 55 dias após o preparo do solo e semeadura; 125 dias após o preparo do solo e semeadura (logo após o primeiro pastejo) e 175 dias após o preparo do solo e semeadura (logo após o segundo pastejo). O delineamento experimental foi completamente casualizado com cinco tratamentos para a introdução das espécies hibernais: Testemunha, Gradagem, Plantio Direto, Convencional e Subsolagem. Em amostras compostas de enxurrada, coletadas de 15 em 15 min durante cada chuva, determinou-se a concentração dos nutrientes fósforo, cálcio, magnésio e potássio disponíveis, utilizando o método de extração por resinas de troca iônica. Houve diferenças entre as épocas de aplicação das chuvas e entre os tratamentos quanto às concentrações e perdas de nutrientes na enxurrada. As maiores perdas ocorreram na primeira época. No geral, as maiores perdas de nutrientes foram verificadas no tratamento Testemunha e as menores no Convencional, as quais não foram diretamente relacionadas com as perdas de solo e de água na enxurrada, porém determinadas pelas condições de superfície do solo e modo de aplicação do calcário e dos fertilizantes.

Termos de indexação: preparo de solo, forragens de inverno, enxurrada, adubação e calagem.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do último autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Recebido para publicação em abril de 2001 e aprovado em dezembro de 2001.

⁽²⁾ Professor Adjunto, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). E-mails: cassolea@orion.ufrgs.br; renatole@vortex.ufrgs.br; ibanghi@vortex.ufrgs.br

⁽³⁾ Engenheira-Agrônoma, Mestre em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFRGS. E-mail: pau-a-pique@uol.com.br

⁽⁴⁾ Bolsista do CNPq.

SUMMARY: *NUTRIENT LOSSES BY EROSION AS AFFECTED BY DIFFERENT METHODS OF NATIVE GRASSLAND IMPROVEMENT IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL*

Growth stagnation on native grassland during the winter season has stimulated the introduction of winter species in order to increase forage offer for animals in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. To determine the nutrient losses by erosion as affected by different methods of native grassland improvement, an experiment was carried out at the Agronomic Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul, in Eldorado do Sul. A mixture of the winter forage species black oat, Italian ryegrass and arrowleaf clover was introduced on a Paleudult soil under long time native grassland use. Experimental plots of 3,5 by 11,0 m at 0.107 m m⁻¹ of average slope were submitted to simulated rainfall of 64 mm h⁻¹ average intensity and 75 minutes of duration in three different runs: 55 days after soil tillage and sowing; 125 days after soil tillage and sowing (right after the first grazing); and 175 days after soil tillage and sowing (right after the second grazing). The experimental design was completely randomized with five treatments for the introduction of winter species: Zero tillage (Control), No-tillage, Disking; Sub-soiling, and Conventional tillage. During each rainfall, runoff samples were collected every 15 minutes, and the available phosphorus, calcium, magnesium and potassium nutrient concentrations were determined by the extraction method of ionic exchange resin. There was a difference between the rain application runs and the treatments in relation to the nutrient concentrations and losses in the runoff. Highest losses occurred in the first run. In general, highest nutrient losses occurred in the Control treatment and lowest in Conventional tillage. These nutrient losses were not directly related with soil and water losses, but determined by soil surface conditions as well as fertilizer and lime application methods.

Index terms: soil tillage, winter forrage, runoff, liming and fertilizer supply.

INTRODUÇÃO

A exploração pecuária é de grande importância econômica para o estado do Rio Grande do Sul. As pastagens nativas constituem a principal fonte de alimentação para os animais, especialmente bovinos e ovinos, e abrangem uma área expressiva (61 %) do estado. Em virtude da paralisação no crescimento da pastagem nativa durante o período de inverno, tem-se incentivado o seu melhoramento com a introdução de espécies hibernais que aumentem a produção de massa verde nos meses de maior escassez.

O melhoramento da pastagem nativa pelo uso de diferentes métodos de implantação de espécies forrageiras não tem levado em conta aspectos relacionados com a erosão hídrica do solo, que são muito importantes nas condições de clima subtropical do Rio Grande do Sul. Chuvas erosivas de inverno, atingindo o solo durante a época de semeadura e após os pastejos, podem ocasionar perdas de solo e água, cuja magnitude depende das condições de superfície resultantes das operações de preparo do solo e semeadura das espécies forrageiras utilizadas.

Quantidades significativas de nutrientes podem ser perdidas com as águas que escoam nas enxurradas, visto que o calcário e os fertilizantes utilizados na implantação das espécies melhoradoras da pastagem nativa são aplicados superficialmente, sem incorporação ao solo. Isto pode ocasionar

problemas de queda na produtividade das forragens e de poluição ambiental, cujos efeitos são acumulativos ao longo dos anos.

O processo de remoção dos nutrientes com a erosão do solo tende a ser seletivo, uma vez que a matéria orgânica e as partículas mais finas do solo, ambas ricas em nutrientes, são mais vulneráveis às perdas do que as frações mais grosseiras do solo (Barrows & Kilmer, 1963; Resck et al., 1980; Távora et al., 1985). A matéria orgânica é o primeiro constituinte do solo a ser removido pela erosão, por causa de sua maior concentração na superfície do solo e de sua baixa densidade (Barrows & Kilmer, 1963). Além disto, os teores de nutrientes são mais elevados no sedimento perdido em relação à composição química original do solo (Grohmann & Catani, 1949; Massey & Jackson, 1952; Resck et al., 1980; Castro et al., 1986).

Inicialmente, as pesquisas sobre erosão do solo avaliavam a quantidade total de nutrientes no material transportado por processos erosivos e consideravam tais resultados como perdas de nutrientes. Para obter boa estimativa das perdas de nutrientes prontamente disponíveis às plantas, é necessária, segundo Barrows & Kilmer (1963), a determinação dos íons, tanto em solução, quanto na fase adsorvida do solo. Estudos com esse maior detalhamento têm mostrado que a maior perda de nutrientes ocorre no sedimento e que as perdas na

água da enxurrada são baixas (Grohmann & Catani, 1949; Grohmann et al., 1956; Felipe-Morales et al., 1978; Barisas et al., 1978; Resck et al., 1980).

Avaliando as perdas por erosão em diferentes tipos de cobertura vegetal, Burwell et al. (1975) observaram que o teor de fósforo transportado no sedimento representou 95 % do teor total no solo. As formas orgânicas de fósforo podem constituir 65 % do seu total no solo, estando a maior parte desse nutriente ligada aos argilominerais do solo (Sposito, 1989). Deste modo, esse nutriente é bastante susceptível às perdas na enxurrada. De 90 a 98 % do potássio total do solo encontra-se sob formas não-disponíveis às plantas. Mesmo que grande parte de potássio possa ser removida pela erosão, as perdas não são relevantes, uma vez que pequena percentagem permanece em formas disponíveis. As perdas de cálcio e magnésio solúveis são bastante baixas na enxurrada (Barrows & Kilmer, 1963).

As perdas de nutrientes e de matéria orgânica aumentam com as perdas de solo, enquanto as taxas de enriquecimento do solo perdido por erosão tendem a diminuir. No trabalho de Eltz (1977), a pastagem nativa apresentou, no período de inverno, as menores perdas de solo e de nutrientes, porém as maiores taxas de enriquecimento. O solo descoberto, ao contrário, apresentou as maiores perdas de solo e de nutrientes por erosão. No período de verão, a pastagem nativa revelou perdas de nutrientes desprezíveis, quando comparada à soja em cultivo mínimo e preparo convencional. São raras ou quase inexistentes as informações na literatura sobre perdas de nutrientes por erosão do solo em condições de uso com pastagens naturais e cultivadas.

O presente trabalho objetivou quantificar as perdas de nutrientes por erosão, causadas por diferentes métodos de preparo do solo usados para a introdução de espécies melhoradoras da pastagem nativa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS), no município

de Eldorado do Sul (RS), no período de maio a novembro de 1995, em solo explorado há, pelo menos, 15 anos com pastagem nativa. O solo da área experimental foi, anteriormente, classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico abrupto petroférico (Lopes, 1984) e, atualmente, como Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 1999, Streck et al., 1999). O solo original apresentava baixa fertilidade e, de acordo com a Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995), valores muito baixos de fósforo disponível (Mehlich-1) e baixos de cálcio e magnésio trocáveis na camada de 0-10 cm. Na camada de 10-20 cm, apresentava valores muito baixos de fósforo disponível, elevada acidez e altos teores de alumínio trocável. Os valores de potássio trocável (Mehlich-1) eram adequados, enquanto os de matéria orgânica eram médios (Quadro 1).

O melhoramento da pastagem nativa consistiu na introdução de uma mistura de espécies forrageiras de inverno, constituída por aveia preta (*Avena strigosa*), azevém (*Lolium multiflorum*) e trevo vesiculoso (*Triflorium vesiculosum*), semeadas no mês de abril de 1995. Antes do experimento, foram aplicadas 7,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT de 60 %) a lanço em toda a área experimental. A adubação foi feita segundo as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995). Foram utilizados cinco métodos de preparo do solo para a introdução de pastagens de inverno: (a) Testemunha - espécies semeadas a lanço sobre a pastagem nativa, sem preparo do solo; (b) Plantio Direto - utilização de uma semeadora-adubadora em linhas, de fluxo contínuo, renovadora de pastagens, munida de sulcadores tipo facão estreito, diretamente sobre a pastagem nativa; (c) Convencional - uma aração com arado de discos e três gradagens com grade de discos niveladora, seguida por semeadura das espécies com uma semeadora-adubadora em linhas, de fluxo contínuo, munida de sulcadores tipo discos duplos; (d) Subsolação - com uso do subsolador tipo "Paraplow", seguida da semeadura das espécies com semeadora-adubadora em linhas, de fluxo contínuo, munida de sulcadores tipo discos duplos; (e) Gradagem - espécies semeadas a lanço diretamente sobre a pastagem nativa e incorporadas ao solo com gradagem leve efetuada com grade de discos niveladora.

Quadro 1. Atributos químicos do Argissolo Vermelho distrófico típico, antes da introdução das espécies forrageiras

Camada	pH	P ⁽¹⁾	K ⁽¹⁾	Ca ⁽²⁾	Mg ⁽²⁾	CTC	Al ⁽²⁾	V ⁽³⁾	M.O.	NC ⁽⁴⁾
cm		— mg dm ⁻³ —		————— cmolc dm ⁻³ —————				%	g kg ⁻¹	t ha ⁻¹
0-10	5,1	3	125	1,0	1,2	4,4	0,1	54,3	30	3,3
10-20	4,7	2	70	1,2	0,6	4,8	0,8	40,9	21	5,8

⁽¹⁾ Extração com solução de Mehlich-1. ⁽²⁾ Extração com KCl 1 mol L⁻¹. ⁽³⁾ Saturação por bases. ⁽⁴⁾ Necessidade de calagem (PRNT 100 %) para pH 6,0 (método SMP).

O delineamento experimental foi completamente casualizado e desbalanceado, com duas repetições, para os tratamentos Testemunha, Plantio Direto e Convencional, e uma repetição, para os tratamentos Subsolação e Gradagem. As parcelas experimentais apresentavam 11,0 m de comprimento por 3,5 m de largura. A declividade média das parcelas era de 0,107 m m⁻¹.

A aplicação dos fertilizantes e do calcário variou de acordo com o método de introdução das espécies. Na Testemunha, o calcário e os fertilizantes foram aplicados a lanço sobre a superfície do solo, antes da semeadura das sementes, também a lanço. No Plantio Direto, o calcário foi aplicado a lanço sobre a superfície do solo, enquanto os fertilizantes e as sementes foram aplicados na linha de semeadura. No Convencional, o calcário foi incorporado ao solo pelas operações de aração e gradagens, enquanto os fertilizantes e as sementes foram aplicados na linha de semeadura. Na Subsolação, o calcário foi aplicado a lanço e parcialmente incorporado pela ação do subsolador, enquanto os fertilizantes e as sementes foram aplicados na linha de semeadura. Na Gradagem, o calcário, os fertilizantes e as sementes foram aplicados a lanço e incorporados superficialmente pela grade de discos niveladora. Todas as operações de preparo do solo, calagem, adubação e semeadura foram efetuadas no sentido do declive do terreno.

Os testes de chuva simulada foram aplicados em três épocas: (a) 1ª época - aos 55 dias do preparo do solo e semeadura, no mês de junho de 1995; (b) 2ª época - logo após o primeiro pastejo, efetuado aos 125 dias do preparo e semeadura, no mês agosto de 1995; (c) 3ª época - logo após a realização do segundo pastejo, aos 175 dias do preparo do solo e semeadura, no mês de outubro de 1995. Cada teste constou da aplicação de duas chuvas simuladas de intensidade planejada de 64 mm h⁻¹, espaçadas de 24 h.

A primeira chuva, de umedecimento, foi aplicada apenas para uniformizar as condições de umidade do solo, antecedendo a segunda, que foi a chuva-teste. O período de duração das chuvas de pré-umedecimento foi suficiente para a estabilização das taxas de enxurrada, medidas no campo.

A segunda chuva, período em que foram realizadas as medições no campo, teve a duração de 75 minutos. Utilizou-se o simulador de chuvas do tipo braços rotativos (Swanson, 1965), semelhante ao simulador descrito e calibrado por Cassol & Guerra (1978), o qual é equipado com bicos aspersores tipo *Vee-jet* 80100, que são mantidos a uma altura mínima de 2,42 m, projetando as gotas de chuva perpendicularmente à superfície do solo, com uma pressão de água na saída do bico de 41 kPa. Nessas condições, a erosividade da chuva simulada dos testes (64 mm h⁻¹ aplicada durante 75 min) foi de 1.066,5 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Na parte inferior de cada parcela, foi montado um sistema de calha receptora

do material erodido com uma conexão tubular que conduziu a enxurrada para o ponto de coleta e amostragem (EMBRAPA, 1975). A carga animal de bovinos, utilizada nos dois pastejos, correspondeu a 42.000 kg ha⁻¹, mantida durante dois dias, com seis horas de pastejo contínuo por dia.

Durante as chuvas simuladas, foram efetuadas medições da taxa de enxurrada a cada três minutos, por meio da medição do volume escoado em tempos cronometrados de cinco segundos. Essas amostras eram colocadas em um balde até perfazerem cinco subamostras ao final de 15 min. Desse volume total, duas subamostras foram retiradas e levadas ao laboratório, onde se realizou a análise dos nutrientes carreados na enxurrada, que incluía água, partículas de solo em suspensão e sedimentos decantados. Utilizou-se o método de extração por resina dupla de troca iônica (aniônica e catiônica), desenvolvido por Raij et al. (1987) e modificado por Miola (1995). Esse método fornece os teores de nutrientes disponíveis às plantas.

A intensidade de chuva efetivamente aplicada (chamada de intensidade observada) foi determinada pela medição do volume de água coletada em pluviômetros colocados em torno das parcelas, na área molhada pela aplicação das chuvas simuladas, durante o tempo de aplicação das chuvas. As variações nas taxas de enxurrada foram ajustadas, para cada tratamento, para a intensidade de chuva planejada de 64 mm h⁻¹, pela mesma expressão utilizada por Cassol et al. (1999), a qual é dada por:

$$E_n = E_o \frac{I_p}{I_o} \quad (1)$$

sendo E_n = taxa de enxurrada normalizada (mm h⁻¹); E_o = taxa de enxurrada observada (mm h⁻¹); I_p = intensidade de chuva planejada (64 mm h⁻¹) e I_o = intensidade de chuva observada (mm h⁻¹)

A análise estatística dos resultados foi feita pelo programa SANEST, para a análise de variância, e pelo teste de Tukey a 5 %, quando da ocorrência de diferenças significativas entre as médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concentração de nutrientes na enxurrada

As concentrações de fósforo, cálcio e magnésio trocáveis (resina) na enxurrada foram influenciadas pelos métodos de melhoramento da pastagem nativa e pelas épocas de realização das chuvas simuladas (Quadro 2). De modo geral, as maiores concentrações desses nutrientes foram obtidas no tratamento Testemunha e as menores no Convencional. Essas concentrações foram, também, maiores na primeira época de aplicação das chuvas simuladas, diminuindo

nas demais. Tal fato pode ser atribuído à maior concentração dos nutrientes na superfície do solo na primeira época de aplicação das chuvas simuladas, ocorridas 55 dias após o preparo do solo, aplicação do calcário e dos fertilizantes e semeadura das forrageiras.

Quanto ao potássio trocável, por resina (Quadro 2), percebeu-se grande variação nas concentrações na enxurrada em relação aos tratamentos e épocas de avaliação. Essa variação pode ser devida às flutuações no teor de potássio no solo ao longo do tempo, que é alterado pela absorção de forrageiras nas suas diferentes fases de crescimento.

A diferenciação desses métodos quanto às concentrações dos nutrientes na enxurrada deveu-se ao modo de aplicação do calcário e dos fertilizantes ao solo. De maneira geral, o tratamento Testemunha, cuja correção e adubação do solo foi feita a lanço e onde não houve mobilização do solo, foi o que apresentou as maiores concentrações de nutrientes na enxurrada. A incorporação do calcário e fertilizantes na camada superficial do solo (Gradagem) ou em camada mais profunda (Subsolagem) e a aplicação dos fertilizantes nos sulcos de semeadura (Plantio Direto) determinaram uma maior mistura desses nutrientes no solo e,

conseqüentemente, menores concentrações dos nutrientes na enxurrada em relação à Testemunha. No preparo Convencional, a intensa mobilização do solo resultou em maior mistura do calcário e fertilizantes ao solo, deixando os nutrientes menos presentes na superfície do solo e, mesmo com a maior perda de solo (Cassol et al., 1999), resultou em menores concentrações de nutrientes na enxurrada, quando comparado às dos demais tratamentos.

Os resultados de concentração de nutrientes do presente trabalho, de forma geral, podem ser comparados aos resultados da influência de preparos conservacionistas nas perdas de nutrientes com a enxurrada. Menores perdas por esses sistemas não estão diretamente relacionadas com a diminuição das perdas de solo por erosão, uma vez que a concentração de nutrientes na enxurrada, particularmente o fósforo, pode ser maior, quando comparada à do preparo convencional de solo (Schuman et al., 1973; Burwell et al., 1975; Barisas et al., 1978; Jonhson et al., 1979; McDowell & McGregor, 1980, 1984; Andraski et al., 1985).

Perdas de nutrientes na enxurrada

As perdas de fósforo, cálcio, magnésio e potássio trocáveis (resina) na enxurrada foram relativamente

Quadro 2. Concentrações de fósforo, potássio, cálcio e magnésio trocáveis (resina), com base em volume da enxurrada, verificadas em diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa, sob chuvas simuladas de intensidade média de 64 mm h⁻¹ e duração de 75 min, nas épocas avaliadas

Método de melhoramento	Época			Média	Época			Média
	1a (1)	2a (2)	3a (3)		1a (1)	2a (2)	3a (3)	
mg L ⁻¹								
Fósforo								
Testemunha	5,5 aA ⁽⁴⁾	1,5 aB	1,2 aB	2,7	6,0 bB	3,6 bC	10,6 aA	6,7
Gradagem	2,9 bA	0,8 bB	0,7 bB	1,5	6,8 bB	2,7 cC	8,1 bA	5,9
Subsolagem	2,3 cA	0,9 bB	0,7 bB	1,3	6,1 bB	3,7 bC	11,4 aA	7,0
Plantio direto	1,3 dA	0,2 cB	0,1 cB	0,5	9,2 aA ⁽⁴⁾	4,5 aC	7,0 bB	6,9
Convencional	0,7 eA	0,3 cAB	0,1 cB	0,4	5,7 bA	3,8 bB	4,7 cA	4,7
Média	2,5	1,2	0,5		6,7	3,7	8,4	
Cálcio								
Testemunha	10,6 aA	6,0 aB	4,6 aB	7,1	5,0 aA	1,3 abB	1,2 aB	2,5
Gradagem	8,7 aA	4,9 abB	4,1 bB	5,9	3,2 bA	1,2 abB	0,7 bB	1,7
Subsolagem	10,8 aA ⁽⁴⁾	3,9 bB	3,3 bB	6,0	3,2 bA	1,0 bB	0,7 bB	1,6
Plantio direto	5,8 bA	5,9 abB	3,3 bB	5,0	2,5 bA	1,3 aB	1,3 aB	1,7
Convencional	4,2 bA	0,9 cAB	1,2 cB	2,1	1,4 cA	0,2 cB	0,1 cB	0,6
Média	8,0	4,3	3,5		3,1	1,0	0,8	
Magnésio								

⁽¹⁾ Primeiro teste de chuva simulada, aplicado aos 55 dias do preparo do solo e semeadura. ⁽²⁾ Segundo teste de chuva simulada, aplicado logo após o primeiro pastejo, aos 125 dias do preparo do solo e semeadura. ⁽³⁾ Terceiro teste de chuva simulada, aplicado logo após o segundo pastejo, aos 175 dias do preparo do solo e semeadura. ⁽⁴⁾ Valores seguidos por mesmas letras minúsculas, nas colunas, e maiúsculas, nas linhas, não diferem a 5 %, pelo teste de Tukey.

pequenas (Quadro 3). Grohmann & Catani (1949), Grohmann et al. (1956), Felipe-Morales et al. (1978) e Barisas et al. (1978) também obtiveram pequenas perdas de nutrientes na enxurrada. No entanto, as perdas acumuladas nas três épocas do experimento foram muito superiores às encontradas no mesmo tipo de solo por Eltz (1977), em condições de chuva natural na pastagem nativa, a saber: (a) desprezíveis, para cálcio e magnésio; (b) de 0,005 e 0,018 kg ha⁻¹, para fósforo e potássio, respectivamente, e (c) de 0,071, 3,032, 1,263 e 0,762 kg ha⁻¹, respectivamente, para fósforo, cálcio, magnésio e potássio no solo descoberto.

Cabe ressaltar que, no presente trabalho, as perdas acumuladas de nutrientes no tratamento Testemunha foram relativamente elevadas: 4,2; 10,9; 3,8 e 9,8 kg ha⁻¹, respectivamente, para fósforo, cálcio, magnésio e potássio (Quadros 3). Tais nutrientes, embora estivessem prontamente disponíveis, não foram utilizados no crescimento/desenvolvimento das forrageiras, perdendo-se pela erosão. Assim, perdas de nutrientes pela enxurrada, mesmo que relativamente pequenas, podem representar altas quantidades de fertilizantes que devem ser adicionados ao solo para que se mantenha a produtividade das forrageiras em níveis adequados.

As maiores quantidades de nutrientes perdidos por erosão foram observadas na primeira época de aplicação das chuvas simuladas (Quadro 3), com

exceção do potássio trocável, que apresentou grande variação nas perdas nas diferentes épocas avaliadas. De maneira geral, as perdas acumuladas de fósforo, cálcio, magnésio e potássio (Quadro 3) foram maiores na Testemunha, seguida pela Gradagem e, na seqüência, de forma predominante entre os nutrientes, Plantio Direto, Subsolação e Convencional. Essas perdas foram mais relacionadas com as perdas de água do que de solo (Quadro 4), promovidas pelos respectivos métodos de preparo para introdução de espécies melhoradoras da pastagem nativa, apesar de os coeficientes de correlação não serem significativos ao nível de significância adotado ($P < 0,05$).

As perdas de solo e de água do presente experimento foram apresentadas e discutidas por Cassol et al. (1999). Assim, o tratamento Convencional, que mostrou a maior perda de solo (1.685 kg ha⁻¹) e perda intermediária de água (média de 0,56 m³ m⁻³), promoveu a maior perda de fósforo, cálcio e magnésio e a segunda menor perda de potássio. O Plantio Direto, que apresentou a menor perda de solo (180 kg ha⁻¹) e intermediária de água (média de 0,55 m³ m⁻³), determinou baixa perda de fósforo e intermediária de cálcio, magnésio e potássio. Perdas pequenas de nutrientes estudados foram observadas no tratamento Subsolação, com perdas baixas de solo (426 kg ha⁻¹) e de água (média de 0,30 m³ m⁻³). As maiores perdas de nutrientes foram observadas

Quadro 3. Perda de fósforo, potássio, cálcio e magnésio trocáveis (resina) na enxurrada, verificadas em diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa, sob chuvas simuladas de intensidade média de 64 mm h⁻¹ e duração de 75 min

Método de melhoramento	Época			Total	Época			Total
	1a (1)	2a (2)	3a (3)		1a (1)	2a (2)	3a (3)	
kg ha ⁻¹								
	Fósforo				Potássio			
Testemunha	2,8 aA ⁽⁴⁾	0,9 aB	0,5 aC	4,2 a	2,8 aB ⁽⁴⁾	2,0 abB	5,0 aA	9,8 a
Gradagem	1,3 bA	0,4 bB	0,3 abB	2,0 b	2,9 aA	1,3 abB	3,6 abA	7,7 b
Subsolação	0,6 cA	0,2 bB	0,1 bB	0,9 c	1,7 aA	0,7 bA	1,0 cA	3,5 d
Plantio direto	0,4 cdA	0,1 bB	0,0 bB	0,5 d	3,1 aA	2,2 aA	2,2 bcA	7,5 b
Convencional	0,2 dA	0,1 bA	0,0 bA	0,4 d	2,1 aA	2,0 abA	1,9 cA	6,0 c
	Cálcio				Magnésio			
Testemunha	5,2 aA ⁽⁴⁾	3,4 aB	2,2 aC	10,9 a	2,5 aA	0,7 aB	0,6 aB	3,8 a
Gradagem	3,7 abA	2,3 abAB	1,8 abB	7,8 b	1,4 bA	0,6 abB	0,3 abB	2,3 b
Subsolação	3,0 bcA	0,9 bcB	0,4 bB	4,3 d	0,9 cA	0,2 bcB	0,1 bcB	1,2 d
Plantio direto	1,9 cAB	2,9 aA	1,0 abB	5,9 c	0,8 cA	0,7 aA	0,4 abB	1,9 c
Convencional	1,4 cA	0,5 cA	0,5 bA	2,4 e	0,5 dA	0,1 cB	0,0 cB	0,6 d

⁽¹⁾ Primeiro teste de chuva simulada, aplicado aos 55 dias do preparo do solo e semeadura. ⁽²⁾ Segundo teste de chuva simulada, aplicado logo após o primeiro pastejo, aos 125 dias do preparo do solo e semeadura. ⁽³⁾ Terceiro teste de chuva simulada, aplicado logo após o segundo pastejo, aos 175 dias do preparo do solo e semeadura. ⁽⁴⁾ Valores seguidos por mesmas letras minúsculas, nas colunas, e maiúsculas, nas linhas, não diferem a 5 %, pelo teste de Tukey.

Quadro 4. Coeficientes de correlação linear simples⁽¹⁾ entre as perdas de nutrientes trocáveis (resina) e as perdas de solo e água, ocorridas nos tratamentos de melhoramento da pastagem nativa (EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS)

Perda	Fósforo	Cálcio	Magnésio	Potássio
Solo	0,27	0,12	0,07	0,14
Água	0,67	0,53	0,57	0,38

⁽¹⁾ Não significativos a 5%.

nos tratamentos Testemunha e Gradagem, que apresentaram perdas intermediárias de solo (405 e 433 kg ha⁻¹, respectivamente) e altas de água (médias de 0,73 e 0,61 m³ m⁻³, respectivamente).

Considerando que as análises químicas dos nutrientes foram efetuadas na enxurrada, por meio de resina de dupla troca iônica, que inclui os nutrientes na água e os adsorvidos nas partículas em suspensão e nos sedimentos decantados, é lógico esperar que a perda de nutrientes esteja em uma relação mais direta com as perdas de água na enxurrada e a concentração dos nutrientes na camada superficial do solo, do que propriamente com as perdas de solo por erosão, o que explica a ordem de eficiência dos métodos de melhoramento da pastagem (Convencional > Subsolação > Plantio Direto > Gradagem > Testemunha). Os resultados apresentados contrariam, ao menos parcialmente, os de Castro et al. (1986), pelo fato de as perdas de matéria orgânica e de nutrientes apresentarem maior correlação com as perdas de solo, em relação às perdas de água.

Neste trabalho, percebeu-se uma relação direta entre concentração e perda de nutrientes, por ter sido determinado o teor de nutrientes da enxurrada (solo + água) em uma análise única.

CONCLUSÕES

1. Houve diferenciação entre os métodos de melhoramento da pastagem nativa quanto à concentração e perda de nutrientes na enxurrada. A seqüência predominante de concentração e perdas foi Testemunha > Gradagem > Plantio Direto > Subsolação > Convencional.

2. Não houve relação entre a perda de nutrientes na enxurrada e as perdas de solo e de água causadas pelos métodos de melhoramento da pastagem nativa utilizados.

3. Com exceção do potássio trocável, as maiores perdas de nutrientes ocorreram na primeira época de aplicação das chuvas simuladas.

4. As perdas dos nutrientes na enxurrada foram determinadas pelas condições de superfície do solo, pela localização dos fertilizantes e calcário com o solo, resultantes dos preparos de solo para as espécies forrageiras.

LITERATURA CITADA

- ANDRASKI, B.J.; MUELLER, D.H. & DANIEL, T.C. Phosphorus losses in runoff as affected by tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:1523-1527, 1985.
- BARISAS, S.G.; BAKER, J.L.; JOHNSON, H.P. & LAFLEN, J.M. Effect of tillage systems on runoff losses of nutrients, a rainfall simulation study. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 21: 893-897, 1978.
- BARROWS, H.L. & KILMER, V.J. Plant nutrient losses from soils by water erosion. *Adv. Agron.*, 15:303-316, 1963.
- BURWELL, R.E.; TIMMONS, D.R. & HOLT, R.F. Nutrient transport in surface runoff as influenced by cover and seasonal periods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 39:523-528, 1975.
- CASSOL, E.A.; LEVIEN, R.; JONG van LIER, Q. & BADELUCCHI, M.P. Infiltração de água e perdas de água e solo por erosão influenciadas por diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa gaúcha. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:923-931, 1999.
- CASSOL, E.A. & GUERRA, M. Calibração do primeiro aparelho simulador de chuvas de braços rotativos no Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978. *Anais. Passo Fundo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*, 1978. p.29-39.
- CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J.A.; MARIA, I.C.; VIEIRA, S.R. & DECHEN, S.C.F. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:293-297, 1986.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - CFS-RS/SC. Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 1995. 3.ed. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 1995. 223p.
- ELTZ, F.L.F. Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais. I. Solo da unidade de mapeamento São Jerônimo - 1ª fase experimental. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1977. 97p. (Tese de Mestrado)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Recomendações gerais do encontro sobre o uso do simulador de chuva em pesquisa de conservação do solo no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE EROÇÃO COM SIMULADORES DE CHUVA, 1., Londrina, 1975. *Anais. Londrina*, 1975. p.107-120.

- FELIPE-MORALES, C.; ALEGRE, C.; MEYER, R. & BERRIOS, D. "Perdidas de agua, suelo y nutrientes bajo diversos sistemas de cultivo en la localidad de San Ramon-Chanchamayo (Selva Alta Central del Peru), durante la campaña agricola 1976/1977". In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 1978, Passo Fundo. Anais. Passo Fundo, 1978. p.311-321.
- GROHMANN, F. & CATANI, R.A. O empobrecimento causado pela erosão e pela cultura algodoeira no solo do arenito Bauru. *Bragantia*, 9:125-132, 1949.
- GROHMANN, F.; VERDADE, F.C. & MARQUES, J.Q.A. Perdas de elementos nutritivos pela erosão. II - Elementos minerais e carbono. *Bragantia*, 15:361-370, 1956.
- JOHNSON, C.B.; MANNERING, J.V. & MOLDENHAUER, W.C. Influence of surface roughness and clod size and stability on soil and water losses. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:772-777, 1979.
- LOPES, P.R.C. Relações da erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1984. 116p. (Tese de Mestrado)
- MASSEY, H.F. & JACKSON, M.L. Selective erosion of soil fertility constituents. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 16:353-356, 1952.
- MCDOWELL, L.L. & MCGREGOR, K.C. Nitrogen and phosphorus losses in runoff from no-till soybeans. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 23:643-648, 1980.
- MCDOWELL, L.L. & MCGREGOR, K.C. Plant nutrient losses in runoff from conservation tillage corn. *Soil Till. Res.*, 4:79-91, 1984.
- MIOLA, G.R. Disponibilidade de fósforo no solo avaliada por diferentes métodos e sua relação com parâmetros de plantas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 133p. (Tese de Mestrado)
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química de solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargil, 1987. 170p.
- RESCK, D.V.S.; FIGUEIREDO, M.S.; FERNANDES, B.; RESENDE, M. & SILVA, T.C.A. Intensidade de perdas de nutrientes em um Podzólico Vermelho-Amarelo, utilizando-se simulador de chuva. *R. Bras. Ci. Solo*, 4:188-192, 1980.
- SCHUMAN, G.E.; SPOMER, R.G. & PIEST, R.F. Phosphorus losses from four agricultural watersheds on Missouri Valley loess. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37:424-427, 1973.
- SPOSITO, .G. The chemistry of soils. New York, Oxford University Press, 1989. 277p.
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N. & KLAMT E. Atualização da classificação taxonômica das unidades de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. *Inf. EMATER-RS, Série Solos*, 16(9): Julho, 1999.
- SWANSON, N.P. Rotating-boom rainfall simulator. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 8:71-72, 1965.
- TÁVORA, M.R.P.; SILVA, J.C.R.; HERNÁNDEZ, F.F.F.; SAUNDERS, L.C.U. & MOREIRA, E.G.S. Perdas de solo, água e nutrientes em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de Ubajara (CE). *R. Bras. Ci. Solo*, 9:63-66, 1985.
- TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers. 3.ed. New York, Macmillan, 1965. 693p.