

Transporte de Compostos de Carbono, Nitrogênio e Fósforo pelo Escoamento da Água em Solos Agrícolas na Região Sul do Brasil

Vander Kaufmann¹, Adilson Pinheiro², Nilza Maria dos Reis Castro¹

ambitec@bol.com.br; pinheiro@furb.br; nilza@iph.ufrgs.br

Recebido: 29/09/12 - revisado: 11/03/13 - aceito: 11/09/13

RESUMO

As precipitações intensas são responsáveis pelo transporte de espécies químicas aos corpos de águas superficiais e subterrâneos. A magnitude dos efeitos destes eventos climáticos depende dos atributos físicos e químicos do solo e do manejo agrícola desenvolvido pelos produtores. Na região sul do Brasil, poucos estudos têm sido desenvolvidos no sentido de quantificar o transporte de compostos de carbono, nitrogênio e fósforo pelo escoamento da água, após a ocorrência de precipitações intensas, em áreas agrícolas. Assim, este estudo tem por objetivo determinar as concentrações e as cargas de carbono, nitrogênio e fósforo transportadas pelos escoamentos superficiais e de drenagem em diferentes solos, quando submetidos a condições extremas de precipitação. Foram utilizados 7 lisímetros de drenagem, instalados em quatro bacias hidrográficas dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, tendo sido efetuadas simulações de chuvas, com intensidades variando entre 29,6 e 176,9 mm h⁻¹. O nitrogênio na forma de nitrato apresentou as maiores concentrações tanto no escoamento superficial quanto no escoamento de drenagem. O nitrogênio na forma de amônio e de nitrato, o fósforo e o carbono orgânico total apresentaram maiores concentrações nas águas do escoamento superficial. As concentrações de carbono foram influenciadas pela estação do ano. As concentrações de nitrato foram influenciadas pela intensidade da precipitação e pelo grau de mobilização do solo. As cargas transportadas pelo escoamento superficial e de drenagem não seguiram o mesmo comportamento das concentrações.

Palavras chave: Chuvas intensas, transporte de poluentes, manejo agrícola, qualidade das águas, lisímetros.

INTRODUÇÃO

As precipitações intensas que provocam escoamentos superficiais são responsáveis pelo transporte de espécies químicas aos corpos de águas superficiais. A água que infiltra no perfil do solo, proveniente da precipitação, promove a lixiviação de espécies químicas no perfil do solo, podendo degradar as águas subterrâneas. A magnitude dos efeitos destes eventos climáticos depende de vários fatores naturais, podendo ser alterados pelas intervenções antrópicas. Em áreas rurais, os principais fatores atuantes são os atributos físicos e químicos do solo e o manejo agrícola desenvolvido pelos produtores.

Entre as espécies químicas de interesse na conservação dos solos e na qualidade dos recursos hídricos têm-se os compostos de carbono, nitrogênio e fósforo, os quais se apresentam de diferentes

formas devido a seus ciclos biogeoquímicos. Os compostos de carbono, nitrogênio e fósforo são importantes componentes do ecossistema, formando os íons necessários ao desenvolvimento vegetal e de microrganismo. Estes compostos químicos podem estar disponíveis no soluto ou adsorvidos às partículas do solo (PIGUET et al., 2008; PÉDROT et al., 2008; ORIOLI et al., 2008; PROBST et al., 1995; CHEN et al., 2007). O equilíbrio dinâmico dos elementos está associado às características regionais e acompanham as mudanças ambientais (STADLER et al., 2010; GERMER et al., 2009) e as oscilações climáticas (PARK et al., 2010). As alterações de uso da superfície do solo, manejo agrícola e fertilização podem afetar o equilíbrio químico e promover sua movimentação (GERMER et al., 2009; DE FRIES; ESHLEMAN, 2004).

O tipo de cultura e o manejo do solo influenciam o transporte de espécies químicas pelo escoamento da água em áreas agrícolas. Schick et al. (2000) determinaram que a concentração de fósforo e de carbono orgânico no sedimento transportado pelo escoamento superficial foi maior no preparo convencional do que no conservacionista. Bertol et

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS

² Fundação Universidade Regional de Blumenau/FURB

al. (2005), em estudo sobre o transporte de carbono orgânico pelo escoamento superficial, demonstraram que a quantidade na camada superficial do solo e a concentração de carbono orgânico adsorvido ao sedimento variaram com o manejo do solo, sendo mais elevado o teor em sistema de plantio direto e menor em solo nu. Gilles et al. (2009), com simulação de chuva, em Argissolo Vermelho distrófico com cultivo de milho, demonstraram que as quantidades transportadas de carbono e de nutrientes, em parcelas de plantio direto, foi superior do que em parcelas com escarificação. Gebler et al. (2012), utilizando simulação de chuva, determinaram a carga média anual transportada de fósforo total reativo em parcelas cobertas por diferentes culturas, tendo os valores sido avaliados na escala da bacia hidrográfica. Eles determinaram uma carga de $191,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em área de cobertura herbácea e de $3879,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em cultura arbórea. Sorribas et al. (2012) simularam o transporte de carbono orgânico e inorgânico em duas seções fluviométricas na bacia do Potiribu, no noroeste do Rio Grande do Sul, obtendo cargas totais anuais de 32,94 e $48,59 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Na região sul do Brasil, poucos estudos têm sido desenvolvidos no sentido de quantificar o transporte de compostos de carbono, nitrogênio e fósforo pelo escoamento da água, após a ocorrência de precipitações intensas em áreas agrícolas. Os trabalhos, acima citados, estão inseridos entre estes poucos estudos realizados. A quantificação do transporte destes compostos constitui importante informação às práticas de conservação dos solos e à gestão sustentável dos recursos hídricos.

Deste modo, este estudo tem por objetivo determinar as concentrações e as cargas transportadas pelos escoamentos superficiais e de drenagem dos compostos de carbono, nitrogênio e fósforo, em diferentes solos do sul do Brasil, quando submetidos a condições extremas de precipitação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Os dispositivos experimentais foram instalados em quatro bacias hidrográficas, localizadas nos estados do Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC) e Paraná (PR), no sul do Brasil, distribuídas entre as latitudes $25^{\circ}26'53,6''\text{S}$ e $28^{\circ}50'11,4''\text{S}$ e longitudes $49^{\circ}13'52,6''\text{W}$ e $53^{\circ}41'23,1''\text{W}$. Utilizaram-se 7 lisímetros, dois na bacia hidrográfica do rio Potiribú, no município de Pejuçara, RS, um na bacia do rio Guaporé, no município de Arvorezinha, RS,

três na bacia do ribeirão Concórdia, no município de Lontras, SC, e um na bacia do rio Barigui, no município de Curitiba, PR (Figura 1).

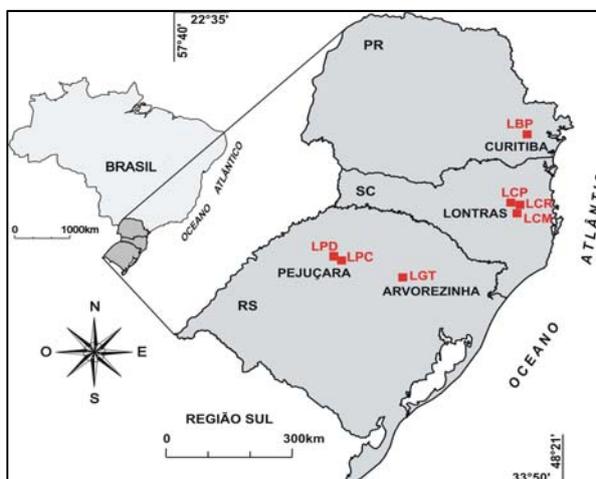


Figura 1 - Localização dos lisímetros

Estes locais foram escolhidos por pertencer ao bioma mata atlântica, composto por um mosaico diversificado de ecossistemas, apresentando estruturas e composições florísticas diferenciadas em função de diferenças de solo, relevo e características climáticas existentes. Eles estão situados em áreas agrícolas, representando a diversidade de solo, de cultura, de uso e manejo do solo encontrada na região Sul do Brasil.

Os tipos de solos e culturas cultivadas no interior dos lisímetros são os mesmos da área em seu entorno, sendo representativas dos usos agrícolas da região onde foram instalados. Estão presentes nos lisímetros cultivo de cereais (*Zea mays* e *Glycine max*, L.), pastagem perene (*Paspalum notatum*), pastagem de inverno (*Lolium multiflorum* e *Avena strigosa* Schreb), cultivo de tabaco (*Nicotiana tabacum* cv.) e cultivo de hortaliças (*Allium cepa* e *Brassica oleracea*). Os sistemas são divididos em cultivo com pouca e com muita mobilização do solo, sendo o primeiro representativo de plantio direto e de cultivo mínimo e, o segundo, do plantio convencional. O sistema plantio direto envolve o não revolvimento do solo e o sistema de cultivo mínimo apresenta reduzidas operações agrícolas do preparo do solo na semeadura; já o sistema de cultivo convencional utiliza-se do preparo primário, caracterizado por ser uma operação de intenso revolvimento do solo, atingindo profundidade superior a 15 cm. Uma descrição detalhada do manejo dos solos em cada lisímetro, no período das simulações, é apresentada na tabela 1.

Tabela 1 - Manejo do solo nos lisímetros, indicando sistema de cultivo, época de plantio, cultura implantada e aplicação de adubos químicos e sua forma de adição.

Lisímetro	Descrição do manejo do solo durante as simulações
LPC	Cultivo de <i>Glycine max</i> , L. na safra e <i>Avena strigosa</i> Schreb na entressafra no sistema convencional com revolvimento do solo após as duas simulações de cada série de ensaios e adubação de STP (superfosfato triplo).
LPD	Cultivo de <i>Glycine max</i> , L. na safra e <i>Avena strigosa</i> Schreb na entressafra no sistema plantio direto (mantido a mais de 10 anos), com abertura de sulco e adubação de STP (superfosfato triplo).
LGT	Cultivo de <i>Nicotiana tabacum</i> cv. sob sistema mínimo, com plantio de <i>Avena strigosa</i> Schreb para cobertura verde, revolvimento do solo no verão, com adubação de STP e nitrato de sódio.
LCM	Cultivo de <i>Zea mays</i> com sistema convencional, com revolvimento no plantio do <i>Zea mays</i> e aplicação de adubação básica STP (superfosfato triplo), adubação de cobertura com uréia no período desenvolvimento da cultura e pousio durante o inverno.
LCR	Cultivo de hortaliças no inverno e <i>Zea mays</i> no verão em sistema convencional, com revolvimento do solo e adubação de cobertura com uréia e nitrato de sódio e pousio durante o inverno.
LCP	Pastagem perene (<i>Paspalum notatum</i>) sem adubação.
LBP	Pastagem perene com revolvimento de solo no inverno sem adubação.

LPC – lisímetro bacia do Potiribu sistema de cultivo convencional; LPD – lisímetro bacia Potiribu sistema de cultivo direto; LGT – lisímetro bacia Guaporé Tabaco; LCM – lisímetro bacia Concórdia Milho; LCR – lisímetro bacia Concórdia rotação de cultura; LCP – lisímetros bacia Concórdia pastagem; LBP – lisímetro bacia Barigui pastagem.

Os solos onde os lisímetros foram instalados são dos grupos dos Latossolos, Cambissolos, Argissolos e Gelissolos. A descrição da textura do solo, densidade, porosidade, declividade e tipo do solo de cada lisímetro são apresentados na Tabela 2.

Dispositivo experimental

Os lisímetros de drenagem possuem formato cúbico, com área de 1 m² e comprimentos laterais de 1 m. Na instalação, o solo dentro dos lisímetros permaneceu indeformado, sendo possível assim, manter as condições físicas do solo (densidade, porosidade e estrutura). As paredes laterais foram construídas com chapas de acrílico de 8 mm de espessura. Os lisímetros foram confeccionados com o uso de duas caixas de acrílico, a primeira vazada, que foi utilizada na coleta da amostra do solo e a segunda para a confecção da base do lisímetro, conforme é descrito por Oliveira et al. (2010). Na parte inferior da amostra de solo, é colocada uma camada de 5 cm de brita n. 2, envolta por uma membrana de geotêxtil, evitando a perda de material fino para esta camada drenante. Próximos à superfície e a base do solo, foram instaladas tubulações de coleta do escoamento superficial e da drenagem. As águas dos escoamentos foram conduzidas a sistemas de medição de vazão e a coleta de amostras. Os lisímetros foram preenchidos com solo em seu redor, para

manter a mesma condição de temperatura do solo em torno dele, bem como a superfície do solo foi mantida no mesmo alinhamento da área de seu entorno. Ressalta-se que os lisímetros tiveram o mesmo método construtivo e de instalação.

As vazões de escoamento superficial e de drenagem foram medidas pelo método volumétrico, utilizando-se um recipiente de 920 mL para armazenamento da água durante um intervalo de tempo, medido por meio de um cronômetro com precisão de milissegundos. O monitoramento da vazão foi realizado para intervalos de tempo de 5 min.

As amostras de água foram coletadas com um frasco de polietileno incolor com capacidade de 100 mL, com tampa de fechamento hermético. As coletas foram realizadas sempre que houve escoamento superficial e de drenagem. Após o início do escoamento, as amostras de água foram coletadas com intervalos de tempo de 10 min. As amostras foram acondicionadas em um sistema isolado, refrigerado a 4 °C.

Simulação de chuvas

As chuvas simuladas foram obtidas utilizando-se um simulador, semelhante ao descrito por Meyer e Harmon (1979), suspenso por quatro hastes reguláveis para uma altura de 2,45 m acima da superfície do solo.

Tabela 2 – Características dos lisímetros: Composição granulométrica, porosidade, massa específica, descrição tipo de solo e manejo.

Lisímetro	Areia %	Silte %	Argila %	Densidade g/cm ³	Porosidade	Declividade %	Tipo de solo
LPC	24,59	22,91	52,49	1,09	0,57	2,0	Latossolo Vermelho distroférico
LPD	32,21	11,60	56,19	1,57	0,53	2,0	Latossolo Vermelho distroférico
LGT	13,15	32,75	54,10	1,20	0,56	7,0	Argissolo Crômico Abruptico
LCM	35,16	49,96	14,89	1,39	0,45	4,0	Cambissolo háplico alumínico típico
LCR	15,55	59,65	24,89	1,55	0,46	9,0	Cambissolo háplico alumínico típico
LCP	9,13	32,73	57,92	1,45	0,44	2,5	Cambissolo háplico alumínico típico
LBP	31,00	38,00	31,00	1,35	0,49	3,0	Gleissolo háplico

No simulador foi instalado um bico aspersor tipo S.S.CO.3/8KSS-45 para precipitações inferiores a 60 mm h⁻¹ e Veejet 80-100 para precipitações superiores a 80 mm h⁻¹. Esses bicos são comumente utilizados para pulverização agrícola a altas pressões. A oscilação do bico aspersor molha uma área de aproximadamente 2,0 m², no interior da qual se encontrava o lisímetro.

A altura da precipitação aplicada nas simulações foi determinada com uso de pluviógrafo Davis® com datalogger registrador Novus®, instalado junto à parede do lisímetro, pelo lado externo. Os dados de precipitação foram registrados no intervalo de tempo de 1 min. Além desse registro, a altura da precipitação também foi medida com um tanque de alumínio, posicionado sobre o lisímetro, ao final do tempo de duração do ensaio. A coleta da precipitação ocorreu durante uma duração de 5 min. O tanque possui formato quadrado, com 1,10 m de lado, altura de 0,10 m e espessura da parede de 0,001 m. As intensidades medidas com o pluviógrafo e com o tanque foram comparadas visando identificar eventuais erros de medidas. Ressalta-se que as intensidades da precipitação variam em função do tipo dos bicos do aspersor adotados e da pressão do sistema. No entanto, as condições climáticas reinantes, como precipitação natural e/ou ocorrência de ventos, também proporcionaram alterações nas intensidades simuladas. No total foram realizados 69 ensaios, sendo 24 na bacia do Potiribu (LPC e LPD), 7 na bacia de Guaporé (LGT), 34 na bacia de Ribeirão Concórdia (LCM, LCH, LCP) e 4 na bacia do Barigui (LBP). O número de ensaios em cada lisímetro foi variável devido a problemas operacionais, associados principalmente às grandes distâncias entre eles (de 200 a 1.000 km).

Manejo do solo

Os ensaios de simulação foram realizados em séries de 1 a 4 dias consecutivos. Em cada série de ensaios adotou-se a sequência seguinte: primeiro e segundo ensaios, com as condições iniciais da superfície do solo, no final do segundo ensaio, a superfície do lisímetro com plantio convencional (LCM, LCR, LGT e LPC) ou plantio de pastagem perene (LBP) foi revolvida com uma pá de corte, até a profundidade de 20 cm, sendo realizado um bom destorroamento e regularização da superfície. No lisímetro com plantio direto, após a segunda simulação de chuvas foi criado um sulco, na direção da curva de nível, com 0,03 m de largura, profundidade de 0,02 m, sendo o solo revolvido até a profundidade de 0,07 m. Essas condições de superfícies foram mantidas para o terceiro e quarto ensaio. No solo com pastagem perene (LCP), no cultivo mínimo no período de inverno (LGT) e no cultivo de milho no período de desenvolvimento da cultura (LCR e LCP), não houve revolvimento do solo.

Ao final do primeiro ensaio, foi aplicado o fertilizante superfosfato triplo (STP), em solução na superfície do solo, com dosagem de 350 kg/ha. O STP é constituído de 5 N, 20 P e 10 K.

Análise química das amostras de água

Nas amostras de água foram determinadas as concentrações dos nutrientes, amônio (NH₄⁺), nitrito (NO₂⁻), nitrato (NO₃⁻), fosfato (PO₄⁻³), carbono total dividido em carbono orgânico total (TOC) e carbono inorgânico (IC).

Para a determinação das concentrações dos nutrientes foi utilizado um cromatógrafo de troca

iônica, marca DIONEX AG4A. Foi utilizada uma coluna de separação aniônica juntamente com supressora e um detector de condutividade. As condições de injeção da amostra foram: Injeção da amostra: 10 µL; Temperatura: 30 °C; Taxa de fluxo: 1,2 mL min.⁻¹; Eluente: Na₂CO₃ 4,5mM/NaHCO₃ 1,4 mM; Condutividade esperada: 19 - 23µS Supressor: aniônico auto regenerante; Solução estoque: NaHCO₃ 100mM; Corrente aplicada: 31 mA. As curvas de calibração foram realizadas com padrões certificados, utilizando-se 5 pontos na faixa de 1 a 10 mg L⁻¹ com leitura em quintuplicata. As leituras das amostras foram realizadas em triplicatas.

Para a análise do carbono orgânico total (TOC) e carbono inorgânico (IC), as amostras foram analisadas diretamente no Analisador de Carbono, modelo TOC VCPH, marca SHIMADZU, com curva de calibração inserida através da leitura em quintuplicata de 6 pontos.

Cargas transportadas

As cargas transportadas pelo escoamento superficial e de drenagem representam a massa exportada para o exterior da amostra indeformada do solo. A carga foi determinada para cada ensaio de simulação, cuja duração foi de 75 min. Ela foi calculada pela expressão:

$$F = \sum_{i=1}^n C_i Q_i \Delta t \quad (1)$$

onde F é o fluxo de massa da espécie química considerado no ensaio de simulação de chuva realizado, C_i é a concentração do composto na amostra i, Q_i é a vazão do escoamento de água durante a coleta da amostra i e Δt é o intervalo de tempo entre as amostras e n é o número de amostras coletadas.

Teste estatístico

Foi aplicado o teste de Tukey (p ≤ 0,05) para comparação das concentrações médias das espécies químicas transportadas pelo escoamento superficial e de drenagem e, também, comparadas as concentrações de cada espécie química entre os lisímetros, para as condições de baixa e alta intensidade da chuva e pouca e muita mobilização do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 3 são apresentados os valores das intensidades da chuva, taxas de escoamento superficial e de drenagem, registrados nas séries de eventos de simulação de chuva. Nota-se que os valores constantes na tabela estão associados às lâminas de águas medidas durante a realização do ensaio, de modo que a variação do teor de água armazenada no lisímetro pode interferir no fechamento do balanço de massa. O maior efeito é sobre o escoamento de drenagem que pode ser reduzido ou aumento em determinado ensaio, da série de simulação de chuva.

A intensidade da chuva variou entre 29,6 e 176,9 mm h⁻¹, as taxas de escoamentos superficiais entre 0 e 98,6 mm h⁻¹ e de drenagem entre 0,2 e 107,8 mm h⁻¹. As chuvas aplicadas são representativas daquelas registradas nos estados do sul do Brasil, com baixa e elevada intensidade, conforme pode ser verificado com as equações de IDF estabelecidas por Fendrich (1998), Back (2002), Bazzano et al. (2010) para estações pluviométricas instaladas em locais próximos dos lisímetros. As precipitações de baixa intensidade apresentam períodos de retorno da ordem de 1 ano e as de alta intensidade, da ordem de 1000 anos.

O escoamento superficial não foi gerado em 15 ensaios, onde a intensidade foram inferiores a 124,0 mm h⁻¹. Este limite máximo foi registrado no lisímetro LCM, em 01/2010, quando o milho encontrava-se em seu estágio máximo de desenvolvimento máximo (75 dias após o plantio e com 1,65 m de altura). A não geração de escoamento superficial em ensaio de simulação com elevada intensidade de precipitação pode ser justificada pelo aumento da capacidade de infiltração da água no solo, devido à presença de raízes do milho na camada superior do solo. Todavia, intensidade de precipitação similar aplicada no ensaio de 11/2009, período no qual o milho encontrava-se no estágio de desenvolvimento inicial (14 dias após o plantio e com 12 cm de altura), gerou uma taxa de escoamento superficial de 41,6 mm h⁻¹.

Na Tabela 4 são apresentadas as concentrações médias para as espécies químicas transportadas pelo escoamento superficial e de drenagem. Também são apresentados os resultados do teste de Tukey (p ≤ 0,05) para comparação das concentrações médias das espécies químicas transportadas pelo escoamento superficial e de drenagem e, comparadas às concentrações de cada espécie química obtidas em cada lisímetro. O nitrogênio na forma de nitrato (NO₃⁻) apresentou as menores concentrações

Tabela 3 - Intensidades da chuva (P) e taxas de escoamento superficial (Qr) e de drenagem (Qd) nos ensaios de simulação de chuva (mm h⁻¹)

Lisímetro	Data	Primeiro dia			Segundo dia			Terceiro dia			Quarto dia		
		P	Qr	Qd	P	Qr	Qd	P	Qr	Qd	P	Qr	Qd
LPC	8/09	111,7	25,7	97,0	101,8	58,6	20,6	110,2	65,9	14,3	133,9	98,6	16,9
	1/10	37,8	0,0	27,8	90,2	44,2	29,6	35,4	0,2	26,8	109,3	52,7	71,0
	7/10	38,8	0,0	13,3	43,7	0,0	26,8	36,3	0,0	16,7	30,2	0,0	20,2
LPD	8/09	127,5	27,1	107,8	106,6	55,1	73,2	108,9	46,9	81,4	122,5	75,1	58,9
	1/10	41,1	0,1	44,4	92,0	11,9	86,6	34,2	0,2	25,1	116,5	29,6	93,8
	7/10	39,0	1,4	23,0	41,4	1,2	35,2	35,2	1,0	26,2	29,6	3,1	34,0
LGT	2/10	32,8	0,3	0,2	85,9	30,7	18,3	32,0	0,5	4,5	83,6	52,9	20,5
	7/10	43,0	0,7	24,9	44,0	1,2	33,8	43,0	3,0	31,2			
LCM	1/09	140,5	4,1	38,6	124,3	5,2	76,4	101,1	4,9	96,7	119,5	27,0	81,0
	11/09	131,1	59,9	82,9	124,1	41,6	84,7						
	12/09	35,4	1,1	15,0									
	1/10	36,5	0,0	46,9	124,0	0,0	89,1						
	7/10	53,7	0,9	33,6	47,4	14,5	26,3	45,4	0,0	33,1	48,7	0,0	50,7
	1/11	74,8	7,4	34,4	63,7	2,1	61,9	75,8	4,7	67,9	69,3	3,6	79,4
LCR	1/10	37,9	0,6	23,1	95,2	7,0	47,2						
	7/10	41,3	22,9	11,2	44,6	27,2	13,8	49,6	0,0	38,5	55,5	0,0	63,1
	1/11	44,6	0,0	37,8	44,6	0,0	39,5	55,8	1,0	51,8	55,8	0,9	43,6
LCP	12/09	45,0	1,4	20,0									
	1/10	36,0	11,1	35,5	86,4	65,0	18,2						
	7/10	50,3	38,3	14,8	53,0	39,3	32,3						
	1/11	37,5	0,0	28,3	54,6	0,0	61,6						
LBP	7/09	111,5	13,4	85,9	40,9	9,5	41,2						
	7/10	47,5	0,6	43,8	54,4	1,2	53,4						

Tabela 4 – Concentração (mg L⁻¹) média das espécies químicas no escoamento de água nos lisímetros.

Lisímetro	Escoamento superficial						Escoamento de drenagem					
	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	TOC	IC	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	TOC	IC
LPC	3.13 ^{a b}	0.04 ^{a c}	1.35 ^{b c}	2.18 ^{* a c}	2.79 ^c	5.86 ^{* a}	0.39 ^c	0.03 ^{a b}	3.08 ^c	0.23 ^b	2.42 ^a	1.4 ^c
LPD	4.8 ^{a d}	0.13 ^{a c}	1.3 ^{b c}	10.02 ^{* a c}	3.08 ^{* c}	5.72 ^{* a}	0.19 ^b	0.03 ^{b c}	2.39 ^c	0.39 ^b	1.81 ^a	1.64 ^c
LGT	1.13 ^b	0.02 ^a	10.83 ^{* b c}	0.54 ^{a c}	8.32 ^{* b}	2.84 ^b	4.44 ^a	0.09 ^{a b}	368.85 ^a	0.38 ^b	11.4 ^{a d}	7.64 ^a
LCM	4.73 ^{a c}	0.1 ^{a c}	20.11 ^{* a}	2.72 ^{b c}	8.11 ^{* c}	2.83 ^{* b}	1.29 ^a	0.09 ^a	50.02 ^b	1.05 ^a	5.43 ^c	1.47 ^c
LCR	4.86 ^a	0.16 ^{a c}	48.32 ^{* a c}	19.29 ^{* a}	12.50 ^{* b}	2.77 ^b	0.44 ^b	0.02 ^{b c}	64.06 ^{a b}	0.44 ^{a b}	2.58 ^a	2.69 ^a
LCP	0.51 ^{b d}	0.01 ^{b c}	1.4 ^{b c}	0.04 ^{a c}	6.30 ^{* c}	2.29 ^{* b}	0.25 ^b	0 ^{b c}	1.14 ^c	0.03 ^b	4.43 ^{c d}	6.23 ^b
LBP	0.3 ^{a b c}	0.01 ^{a c}	15.85 ^{* a c}	0.41 ^{a c}	14.77 ^{* a}	1.09 ^b	0.17 ^b	0.03 ^{a b}	0.65 ^c	0.26 ^{a b}	7.09 ^b	1.81 ^c
Média	2,78	0,067	14,17	5,03	7,98	3,34	1,02	0,04	70,03	0,40	5,02	3,27

NH₄⁺ - amônio, NO₂⁻ - nitrito, NO₃⁻ - nitrato, PO₄⁻² - fosfato, TOC - carbono orgânico total, IC - carbono inorgânico, * diferença estatísticas (p ≤ 0,05) entre o escoamento superficial e de drenagem. Letras iguais, na coluna, representam que as séries possuem semelhança estatística (p ≤ 0,05)

no escoamento superficial comparado ao escoamento de drenagem, exceto no LCP e LBP. Nesses solos não há revolvimento de solo durante a série de simulação de chuva, evidenciando que a perturbação

da superfície promove a liberação do NO₃⁻ para a drenagem.

As concentrações de nitrato no escoamento superficial variaram entre 1,30 (lisímetro LPD) e

48,32 mg L⁻¹ (lisímetro LCR), com média de 14,17 mg L⁻¹ e, no escoamento de drenagem entre 0,65 (lisímetro LBP) e 368,85 mg L⁻¹ (LGT), com média de 70,03 mg L⁻¹. As maiores concentrações ocorreram na água de drenagem nos solos onde é realizada fertilização mineral periódica, nos cultivos de tabaco, milho e na rotação de cultura, tendo o último as maiores concentrações para o escoamento superficial. Os lisímetros LGT, LCR e LBP apresentaram diferença estatística nas concentrações de nitrato no escoamento superficial e no escoamento de drenagem. Estes valores podem ser comparados com aqueles estabelecidos pela legislação brasileira para classificação dos corpos de águas superficiais (Resolução CONAMA n. 357/2005) e subterrâneos (Resolução CONAMA n. 420/2009), cujo padrão de nitrato é de 10 mg/L, indicando que a contribuição do escoamento de água no solo, na escala estudada (1 m³), pode ser superior ao limite máximo estabelecido.

As espécies químicas de amônio (NH₄⁺) e de nitrito (NO₂⁻) apresentaram comportamento distinto do nitrato. Neste caso, as concentrações médias no escoamento superficial foram superiores aquelas do escoamento de drenagem. No entanto, a análise estatística não demonstrou a existência de diferença das concentrações nos dois tipos de escoamentos. A concentração média do amônio no escoamento superficial foi de 2,78 mg L⁻¹ e no escoamento de drenagem foi de 1,02 mg L⁻¹, sendo portanto cerca de 2,7 maior nas amostras de águas do escoamento superficial. Para o nitrogênio da forma de nitrito, a relação entre as concentrações médias nas amostras de água do escoamento superficial e de drenagem foi da ordem de 1,6. Comparando-se estes duas formas de nitrogênio com aqueles do nitrato, constata-se que este último apresenta maior mobilidade no perfil do solo. Deste modo, o enriquecimento de águas subterrâneas por nitrato pode ser mais significativa do que nas formas de amônio e nitrito.

Concentrações mais elevadas no escoamento superficial também foram obtidas para o fósforo na forma de fosfato (PO₄⁻²) e carbono na forma de carbono orgânico total (TOC). A relação entre as concentrações médias de fosfato entre os escoamentos superficial e de drenagem foi de 12,7 e, do carbono orgânico total da mesma ordem de grandeza do nitrito, o qual foi de 1,6. O teste estatístico apresentou resultados distintos para as duas espécies químicas. O PO₄⁻² apresentou diferença estatística entre o escoamento superficial e o escoamento de drenagem em três lisímetros, enquanto o TOC apresentou semelhança em apenas dois lisímetros. O fósforo possui elevada capacidade de adsorção aos

coloides do solo, de modo que a sua mobilidade no perfil do solo depende fortemente da constituição deste, implicando em variabilidade nas concentrações de PO₄⁻², as quais influenciaram na aplicação do teste estatístico. Para o carbono na forma inorgânica, as concentrações médias foram similares, sendo da ordem de 3,3 mg L⁻¹. Observa-se variação nos valores médios dos lisímetros. Em dois, as concentrações de IC foram maiores no escoamento de drenagem e nos demais, foi no escoamento superficial.

O lisímetro LCR, com Cambissolo e rotação de culturas, apresentou maiores concentrações no escoamento superficial, exceto para as formas de carbono, enquanto que o LGT, com Argissolo e cultivo mínimo de tabaco, resultou em concentrações mais elevadas no escoamento de drenagem, exceto para o fosfato. Este cultivo prioriza a formação e manutenção de massa verde no solo. A adubação empregada nesses cultivos disponibiliza elevada quantidade de nutrientes como nitrato e amônio, com concentrações superiores a outros manejos, empregada para aumentar sua produtividade.

Em relação às concentrações mínimas, elas foram variáveis entre os lisímetros e entre as espécies químicas. Os lisímetros LCP e LBP, com uso do solo por pastagens, apresentaram as menores concentrações de amônio, nitrito, fosfato e carbono inorgânico no escoamento superficial e de amônio e nitrato no escoamento de drenagem. Isto demonstra que as pastagens apresentam baixas contribuições de concentrações nitrogênio e de fósforo aos corpos de água superficiais e subterrâneos. Nas pastagens não são realizadas fertilizações, o que reduz o potencial de transporte de espécies químicas para os corpos de água.

A aplicação do teste Tukey ($p \leq 0,05$) para comparação das concentrações medidas no escoamento superficial e no de drenagem, em cada lisímetro, resultou em comportamento variável para as espécies químicas. Na maioria dos casos, obteve-se semelhança estatística das concentrações, entre os lisímetros, tanto no escoamento superficial quanto no de drenagem.

Isto implica em considerar que o tipo e o manejo do solo não influenciam nas concentrações medidas. Tendo-se por base os lisímetros instalados na bacia do rio Potiribu, com pouca mobilização (LPD) e muita mobilização (LPC) do solo, nota-se que o manejo do solo não resultou em diferença estatística significativa das concentrações médias, exceto para o amônio (NH₄⁺) e nitrito (NO₂⁻) no escoamento de drenagem. Em termos de concentrações médias, os resultados são similares aqueles ob-

Tabela 5 – Concentrações médias (mg L⁻¹) de carbono orgânico e inorgânico no escoamento superficial e de drenagem.

Estação	Escoamento superficial		Escoamento de drenagem	
	TOC	IC	TOC	IC
Inverno (n = 10)	6,68a*	4,23a*	3,39a	2,01a
Verão (n = 9)	7,57a*	3,48b*	5,32b	4,45b

* diferença estatística ($p \leq 0,05$) entre o escoamento superficial e de drenagem. Letras iguais, na coluna, representam que as séries possuem semelhança estatística ($p \leq 0,05$).

Tabela 6 - Intensidade de precipitação (P – mm h⁻¹), concentrações de carbono total (CT – mg L⁻¹), nitrato (NO₃⁻ – mg L⁻¹) e fosfato (PO₄⁻² – mg L⁻¹) no escoamento superficial e de drenagem.

Especificação	Primeiro ensaio				Segundo ensaio				Terceiro ensaio				Quarto ensaio			
	P	CT	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	P	CT	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	P	CT	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	P	CT	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²
Escoamento Superficial																
Média (n = 23)	60,7	13,0	26,7	0,5	74,4	10,1	8,4	20,0	58,7	9,1	13,5	1,2	81,2	10,0	5,0	3,3
Máxima (n = 23)	140,5	27,2	349,6	1,9	124,3	22,4	66,9	179,6	110,2	20,8	97,3	4,7	133,9	21,0	14,6	15,6
Alta Intensidade (n = 5)	117,1	9,1	16,2	0,3	104,6	8,3	3,8*	0,3*	99,0	9,2	8,6*	0,8	117,6	7,1	7,2	3,7
Baixa intensidade (n = 18)	42,6	13,4	8,5	0,4	49,1	11,1	20,1	48,0	42,6	10,3	23,9	1,6	48,2	12,7	6,7	1,4
Muita mobilização (n = 12)	63,9	13,0	11,4	0,4	88,8	8,8	10,9*	14,7	59,4	10,3	23,9*	1,1	78,4	8,7	9,4*	3,8
Pouca mobilização (n = 11)	49,7	11,4	4,7	0,3	69,6	9,9	3,8	17,4	56,8	8,6	1,4	1,1	101,7	6,1	2,3	2,7
Escoamento de drenagem																
Média	60,7	5,8	29,6	0,1	74,4	5,6	33,3	0,6	58,7	5,7	47,3	0,5	81,2	5,3	36,3	0,5
Máxima	140,5	14,0	116,3	0,3	124,3	16,2	181,1	4,1	110,2	19,2	159,5	5,6	133,9	14,5	120,8	1,9
Alta intensidade	117,1	3,8	42,9	0,2	104,6	4,8	17,7	15,1*	99,0	5,6	48,4	17,3*	117,6	5,3	15,3*	15,7*
Baixa intensidade	42,6	6,3	28,0	2,9	49,1	6,0	40,4	1,1	42,6	6,8	42,3	0,1	48,2	7,2	58,7	0,2
Muita mobilização	63,9	4,4	49,8*	0,1	88,8	4,7	40,6*	12,5*	59,4	6,7	67,1*	1,2	78,4	6,2	59,7*	0,6
Pouca mobilização	49,7	7,9	1,6	0,1	69,6	7,0	1,7	0,2	56,8	5,8	1,8	0,2	101,7	5,9	1,9	0,5

* diferença estatísticas ($p \leq 0,05$) entre alta e baixa intensidade e entre muita e pouca mobilização

tidos por Bertol et al. (2007) em parcelas com cultivo de soja, para diferentes manejos do solo. Eles obtiveram concentrações de fósforo na água de escoamento superficial das parcelas com plantio direto superiores aquelas do plantio convencional. O fosfato é imobilizado na superfície e/ou utilizado pela planta para seu crescimento, sendo disponibilizado na superfície pelos restos culturais. No entanto, em termos de semelhança estatística, os resultados são divergentes.

Nos lisímetros da bacia do ribeirão Concórdia, o uso do solo com plantio de milho (LCM) gerou concentrações médias superiores ao uso com pastagem (LCP), estatisticamente diferentes, exceto para as formas de carbono no escoamento de drenagem. A concentração média do carbono inorgânico no escoamento de drenagem no lisímetro de pastagem (LCP) foi superior aquela dos lisímetros com milho (LCM) e com rotação de culturas (LCR), estatisticamente diferentes.

O período sazonal influenciou nas concentrações médias das formas de carbono, tanto do escoamento superficial quanto do escoamento de drenagem. Na tabela 5 são apresentadas as concentrações médias do carbono orgânico total e do carbono inorgânico. No escoamento de drenagem, as concentrações médias do TOC e IC são maiores no verão. Já no escoamento superficial, somente a concentração do TOC é maior no verão, ocorrendo o inverso para o IC. Este resultado pode ser proveniente dos resíduos gerados pelas culturas durante o seu desenvolvimento e imediatamente após a sua colheita. No verão, correspondendo ao período final do desenvolvimento da planta e realização da colheita, o estoque de carbono orgânico na superfície é maior, e o seu transporte, no perfil do solo, proporciona concentrações mais elevadas tanto no escoamento superficial quanto no escoamento de drenagem. Por sua vez, o carbono inorgânico é proveniente das transformações bioquímicas que ocorrem no solo. Este processo é mais lento, de modo que, na superfície, o carbono inorgânico apresenta maior estoque no inverno. No entanto, no verão, no escoamento de drenagem, têm-se as contribuições do carbono inorgânico transportado pela percolação e das transformações bioquímica do carbono orgânico, de modo que a sua concentração seja mais elevada neste período sazonal.

Na tabela 6 são apresentadas as concentrações médias e máximas de carbono total (orgânico e inorgânico), de nitrato e de fosfato determinadas nas amostras de escoamento superficial e de drenagem. Também são apresentados os valores médios para as intensidades classificadas como alta (superiores a 100 mm h⁻¹) e baixa (inferiores a 75 mm h⁻¹) e, com pouca e muita mobilização do solo. A concentração do carbono total apresentou pouca variação nos valores médios e máximos para o escoamento superficial e de drenagem. No escoamento superficial, as concentrações de carbono total para todas as alternativas analisadas (média, máxima, alta e baixa intensidade de chuva, solo com muita e pouca mobilização) foram cerca de 1,8 vezes superiores aquelas do escoamento de drenagem. Comportamento semelhante foi obtido para o fosfato (PO₄⁻²), com concentrações mais elevadas no escoamento superficial. No entanto, neste caso, as relações foram variáveis, sempre superiores a 2 vezes. Isto demonstra que o fosfato é menos móvel do que o carbono do perfil do solo. O fósforo apresentam elevado potencial de adsorção aos constituintes do solo (GONÇALVES et al., 2011), o que reduz a sua movimentação no perfil do solo.

O teste estatístico demonstrou que as concentrações médias de nitrato (NO₃⁻) foram influenciadas pela intensidade da precipitação e pelo grau de mobilização do solo, tanto no escoamento superficial quanto no escoamento de drenagem. Para o fosfato (PO₄⁻²), diferenças estatísticas significativas foram obtidas nas concentrações do escoamento de drenagem, devido a intensidade da chuva e, na segunda série de ensaios, devido ao grau de mobilização do solo. Por sua vez, as concentrações de carbono total não apresentaram diferença estatística em função da intensidade da chuva e do grau de mobilização do solo.

Na tabela 7 são apresentadas as cargas de amônio, nitrito, nitrato, fosfato, carbono orgânico total e carbono inorgânico, transportadas pelos escoamentos nos primeiros ensaios de simulação de chuva. O escoamento de drenagem transportam cargas superiores àquelas dos escoamentos superficiais em todas as comparações (concentração média, máxima, alta e baixa intensidade de chuva, solos com muita ou pouca mobilização). A relação entre as cargas transportadas pelos dois escoamentos variou entre 1,7 para o nitrito e 16,9 para o nitrato. O nitrito constitui um elemento de transformação rápida, de modo que durante o seu transporte no perfil do solo ele pode ser transformado em nitrato ou em amônio, dependendo das condições químicas do meio, justificando deste modo a menor relação entre as cargas transportadas pelos escoamentos de drenagem e os escoamentos superficiais.

Estes valores de cargas transportadas mostram o potencial de contribuição dos escoamentos aos corpos de águas superficiais e subterrâneos. É importante notar que o escoamento de drenagem alimenta os corpos de águas subterrâneos, os quais alimentam os cursos de água em períodos com ausência de precipitação. Desta forma, nota-se que as contribuições de espécies químicas dos escoamentos subterrâneos aos corpos de água podem ser significativas.

As cargas foram influenciadas pela intensidade da precipitação simulada. No entanto, o efeito foi contrário daquele observado na análise da concentração, exceto para o nitrato no escoamento de drenagem. A carga incorpora a vazão do escoamento e a concentração da espécie química contida na água escoada. As vazões dos escoamentos superficiais e de drenagem são influenciadas pela intensidade da precipitação, conforme foi apresentado na tabela 3. Nas simulações com alta intensidade, as vazões dos escoamentos superficiais e de drenagem são superiores aquelas com baixa intensidade. Deste

Tabela 7 - Cargas (kg ha⁻¹) transportadas pelos escoamentos na primeira série de ensaios.

Condição	Escoamento superficial						Escoamento de drenagem					
	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	TOC	IC	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	TOC	IC
Média	0,028	0,003	0,600	0,016	0,442	0,302	0,074	0,005	10,135	0,038	1,044	0,863
Máximo	0,129	0,019	11,390	0,177	3,271	2,174	0,626	0,038	78,238	0,232	3,464	4,694
Alta intensidade	-	0,009	2,358	0,061	0,844	0,905	-	0,009	5,394	0,064	1,577	0,977
Baixa intensidade	0,036	0,001	0,137	0,004	0,337	0,143	0,094	0,004	11,383	0,031	0,904	0,833
Pouca mobilização	0,023	0,002	0,106	0,018	0,327	0,324	0,050	0,008	7,692	0,045	0,951	1,199
Muita mobilização	0,033	0,003	1,018	0,015	0,540	0,283	0,094	0,003	12,202	0,032	1,123	0,578

NH₄ - amônio, NO₂ - nitrito, NO₃ - nitrato, PO₄ - fosfato, TOC - carbono orgânico total, IC - carbono inorgânico

modo, a sua influência na carga é superior ao das concentrações, proporcionando inversão do efeito das intensidades da precipitação simulada. No caso do nitrato, a concentração média no escoamento de drenagem nas simulações de baixa intensidade foi cerca de 4 vezes superior aquela da alta intensidade. A análise das condições de pouca e muita mobilização do solo, não demonstrou padrão de influência nas cargas transportadas pelos escoamentos superficiais e de drenagem. No escoamento superficial, para a maioria das espécies químicas, tem-se que as cargas nos lisímetros com muita mobilização são superiores aquelas dos lisímetros com pouca mobilização.

As cargas transportadas de carbono orgânico, de nitrogênio e de fósforo pelos escoamentos superficiais e de drenagem no solo do lisímetro instalado no sul do Brasil, se convertidos para a escala anual, são superiores aos valores obtidos em escalas de bacias hidrográficas, em períodos anuais. Pinheiro e Deschamps (2008) determinaram cargas de ortofosfato e de nitrato, na bacia do ribeirão Fortuna, em SC, inferiores a 62,79 e 4,97 kg ha⁻¹ano⁻¹, respectivamente. Starr et al. (2008) calcularam a cargas anuais transportadas de carbono orgânico em uma bacia em Ohio, EUA, com cultivo de milho e soja, inferiores a 61 kg ha⁻¹ano⁻¹. Silva et al. (2005) determinaram as cargas transportadas pelos sedimentos erodidos de carbono orgânico total e fósforo, em parcelas experimentais, em condições naturais. As cargas anuais de fósforo foram inferiores a 1,87 kg ha⁻¹ano⁻¹ e carbono orgânico total inferior a 5,98 Mg ha⁻¹ano⁻¹.

As cargas medidas em bacias hidrográficas correspondem às contribuições dos escoamentos superficiais e de drenagem ao longo do ano. Neste trabalho, as duas componentes foram avaliadas separadamente. Além disto, o total transportado reflete a contribuição de eventos de precipitações intensas isoladas. Nestas condições têm-se os máximos

valores de concentrações e de cargas que podem ser geradas nos ambientes simulados. Estes valores podem ser utilizados com referências nos processos de conservação dos solos e na gestão de recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

CONCLUSÕES

As simulações de chuvas intensas efetuadas em lisímetros de drenagem, contendo amostras indeformadas de solos do sul do Brasil, mostraram que as concentrações de nitrato nas águas de escoamento superficial e de drenagem são mais elevadas do que aquelas de amônio, nitrito, fosfato, carbono orgânico total e carbono inorgânico. As concentrações das espécies químicas nos lisímetros apresentaram valores diferentes.

Os testes estatísticos resultaram em valores semelhantes para alguns solos e manejos e, diferentes para outros, de modo a dificultar o estabelecimento de resposta padrão entre eles.

As concentrações de nitrato apresentaram diferenças estatísticas tanto entre os escoamentos, como em relação às intensidades da chuva e do grau de mobilização do solo. O carbono apresentou diferença entre os escoamentos e semelhanças com relação a intensidade da chuva e a mobilização do solo. Por outro lado, o carbono orgânico total e o carbono inorgânico apresentaram diferenças estatísticas para o período sazonal verão e inverno.

É importante ressaltar as magnitudes das concentrações e das cargas transportadas pelos escoamentos superficiais e de drenagem nos solos do sul do Brasil. Os valores podem ser considerados como referência na adoção de medidas de conservação dos solos e para a gestão da qualidade dos recursos hídricos, em termos de valores máximos que

podem ser gerados na fonte. Quando extrapolados para a escala da bacia hidrográfica, valores de concentrações e cargas específicas serão mais baixas.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer os proprietários das terras onde os lisímetros foram instalados, ao MCT/FINEP/CT-Hidro-CNPq, edital 04/2005 Bacias Representativas, convênio 3490/05, ao MCT/FINEP/AÇÃO TRANSVERSAL, edital 04/2008 Previsão de Clima e Tempo, convênio 1406/08, projeto 01.08.0568.00, pelos financiamentos de pesquisa e, ao CNPQ pelas bolsas de doutorado do primeiro autor e de produtividade de pesquisa do segundo autor.

REFERÊNCIAS

- BACK, A. J. Chuvas intensas e chuvas de projeto de drenagem superficial no estado de Santa Catarina. Epagri Florianópolis – SC (Epagri Boletim Técnico, 123), 2002.
- BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 34, p.235-244, 2010.
- BERTOL, I.; ENGEL, F.; MAFRA, A.L.; BERTOL, O.J.; RITTER, S. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff under different soil tillage systems during soybean growth. *Soil & Tillage Research*, v.94, p.142–150, 2007.
- BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; GONZÁLEZ, A.P.; AMARAL, A.J.; BRIGNONI, L.F. Soil Tillage, water erosion, and calcium, magnesium, and organic carbon losses. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.62, n.6, p.578-584, 2005.
- CHEN, X.; WU, H.; WO, F. Nitrate vertical transport in the main paddy soils of Tai Lake region, China. *Geoderma*, v.142, p.136–141. 2007.
- DE FRIES, R., ESHLEMAN, N.K., Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. *Hydrological Processes*, v.18, n.11, p.2183–2186, 2004.
- FENDRICH, R. Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná. Curitiba, Champagnat. 99 p. 1998.
- GBLER, L.; LOUZADA, J. A. S.; BERTOL, I.; RAMOS, R. R.; MIQUELLUTI, D. J.; SCHRAMME, B. M. Adaptação metodológica no cálculo de cargas contaminantes de fósforo em bacias hidrográficas gaúchas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.7, p. 769-776, 2012.
- GERMER, S.; NEILL, C.; VETTER, T.; CHAVES, J.; KRUSCHE, A.V.; ELSENBEER, H. Implications of long-term land-use change for the hydrology and solute budgets of small catchments in Amazonia. *Journal of Hydrology*, v.364, p.349–363, 2009.
- GILLES, L.; COGO, N.P.; BISSANI, C.A.; BAGATINI, T.; PORTELA, J.C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.33, p.1427-1440, 2009.
- GONÇALVES, G. K.; MEURER, E.J.; BORTOLON, L.; GONÇALVES, D.R.N. relação entre óxidos de ferro e de manganês e a sorção de fósforo em solos no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.35, p.1633-1639, 2011.
- MEYER, L. D.; HARMON, W. C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering*, v.22, p.100-103, 1979.
- OLIVEIRA, N.T.; CASTRO, N. M. R.; GOLDENFUM, J. A. Influência da palha no balanço hídrico em lisímetros. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, p.93-103, 2010.
- ORIOLO, G.; SABBATINI, M.; MARCHENA, J.; VAZQUEZ, R. The impact of agricultural land use on stream chemistry and inputs to an inland reservoir: case of the Sauce Grande River, Argentina. *Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques*, v.53, n.4, p.834-843. 2008.
- PARK, JI-H.; DUAN, L.; KIM, B.; MITCHELL, M.J.; SHIBATA, H. Potential effects of climate change and variability on watershed biogeochemical processes and water quality in Northeast Asia. *Environment International*, v.36, p.212–225, 2010

PÉDROT, M.; DIA, D.; DAVRANCHE, M.; COZ, M.B-LE.; HENIN, O.; GRUAU, G. Insights into colloid-mediated trace element release at the soil/water interface *Journal of Colloid and Interface Science*, v.325, p.187–197. 2008.

PIGUET, P.; PARRIAUX, A.; BENSIMON, M. The diffuse infiltration of road runoff: An environmental improvement, *Science of The Total Environment*, v.397, p.13–23. 2008.

PINHEIRO, A.; DESCHAMPS, F. C. Transporte de ortofosfato e de nitrato na microbacia do Ribeirão Fortuna, SC. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.3, p.318–325, 2008.

PROBST, A.; FRITZ B.; VIVILLE D. Mid-term trends in acid precipitation, stream water chemistry and element budgets in the Steinbach catchment (Vosges Mountains, France). *Water Air Soil Pollution*. v.79, n.1-4, p.39-59. 1995.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; BATISTELA, O. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. II Perdas de nutrientes e carbono orgânico. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. v.24, p.437–447, 2000.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.1223-1230, 2005.

STADLER S.; OSENBRÜCK, K.; SUCKOW, A.O.; HIMMELSBAC, T.; HÖTZL, H.; Groundwater flow regime, recharge and regional-scale solute transport in the semi-arid Kalahari of Botswana derived from isotope hydrology and hydrochemistry. *Journal of Hydrology*, v.388, p.291–303, 2010.

SORRIBAS, M.V.; WALTER COLLISCHONN, W.; MARQUES, D. M.; FRAGOSO JR., C.R.; CASTRO, N. M. R.; SOUZA, R. S. Modelagem Distribuída do Carbono em Bacias Hidrográficas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 3, p. 1-13, 2012.

STARR, G. C.; LAL, R.; OWENS, L.; KIMBLE, J. Empirical relationships for soil organic carbon transport from agricultural watersheds in Ohio. *Land Degradation & Development*, v.19, p.57–64, 2008.

Transport Of Carbon, Nitrogen And Phosphorus Compounds By Water Runoff In Agricultural Soils In The South Region Of Brazil

ABSTRACT

Intense rainfall is responsible for the transport of chemical species to surface water bodies and groundwater. The magnitude of effects of these climatic events depends on the physical and chemical properties of soil and crop management developed by farmers. In southern Brazil, few studies have been developed to quantify the transport of carbon, nitrogen and phosphorus compounds by water flow, after intense rainfall in agricultural areas. Thus, this study aims to determine the concentrations and loads of carbon, nitrogen and phosphorus transported by runoff and drainage flow in different soils, when subjected to extreme rainfall. We used seven drainage lysimeters, installed in four watersheds in the states of Rio Grande do Sul, Santa Catarina and Paraná, Rainfall simulations were performed with intensities ranging between 29.6 and 176.9 mm h⁻¹. The nitrate concentrations were the highest both in runoff and drainage flow. Nitrogen in the form of ammonia and nitrite, phosphate and total organic carbon showed higher concentrations in runoff water. The carbon concentrations were affected by season. Nitrate concentrations were influenced by rainfall intensity and tillage degree of soil. The loads carried by runoff and drainage flow did not follow the same pattern of concentrations.

Key-words: *intense rainfall, pollutant transport, agricultural management, water quality, lysimeters.*