



ARTICLES/ARTIGOS/ARTÍCULOS/ARTICLES

Impactos da suinocultura na qualidade da água da bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão, Palmitinho, Rio Grande do Sul

Doutoranda Viviane Capoane

Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná. Av. Cel. Francisco H dos Santos, 100 - Centro Politécnico, sala 108 do Edifício João José Bigarella, CEP: 81.531-980 Caixa Postal 19001, Curitiba – PR. E-mail: capoane@gmail.com

Doutorando Tales Tiecher

Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Av. Roraima, 1000, Campus UFSM, Prédio 42, CEP: 97.105-900, Bairro Camobi, Santa Maria - RS. E-mail: tales.t@hotmail.com

Mestrando Gilmar Luiz Schaefer

Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, UFSM. Av. Roraima, 1000, Campus UFSM, Prédio 42, CEP: 97.105-900, Bairro Camobi, Santa Maria - RS. E-mail: gilmar.geo08@gmail.com

Doutor Danilo Rheinheimer dos Santos

Professor Associado do Departamento de Solos, UFSM. Av. Roraima, 1000, Campus UFSM, Prédio 42, CEP: 97.105-900, Bairro Camobi, Santa Maria - RS. E-mail: danilonesaf@gmail.com

RESUMO

ARTICLE HISTORY

Received: 05/04/2014
Accepted: 07/11/2014

PALAVRAS-CHAVE:
Poluição Difusa
Poluição Pontual
Qualidade da Água

Neste trabalho foram avaliadas as relações entre o uso da terra e a criação de suínos de forma intensiva, com a concentração de nutrientes nas águas dos arroios de uma bacia hidrográfica agrícola do Rio Grande do Sul. Amostras de água foram coletadas no fluxo de base em onze pontos, em três diferentes épocas do ano. No mês de março de 2013 foram efetuadas coletas diárias em dois pontos da bacia hidrográfica, médio curso e exutório do

canal principal. Os parâmetros físico-químicos avaliados foram: pH, turbidez, condutividade elétrica, cloreto, sulfato, nitrato, fósforo, cálcio, magnésio, sódio, potássio, cobre, zinco e ferro. Os resultados obtidos mostraram que em locais a jusante de áreas bastante antropizadas, especialmente àquelas com intensa atividade suinícola, a concentração de elementos químicos são mais altas que nos locais onde há baixa interferência humana, evidenciando a grande contribuição destes estabelecimentos ao aporte de poluentes para os sistemas aquáticos.

KEY-WORDS:

Diffuse Pollution Point
Pollution
Water Quality

ABSTRACT: IMPACT OF PIG FARMING ON WATER QUALITY OF ARROIO CALDEIRÃO, PALMITINHO, RIO GRANDE DO SUL. In this study were evaluated the relationship between land use and intensive pig farming on the nutrient concentrations in stream water in a agricultural watershed located of Rio Grande do Sul State. Water samples were collected along the flow the basis in eleven points in three different seasons. In March 2013, daily samples were taken at two points in the watershed, in the middle of the water flow and at the outlet of the watershed. Physical and chemical parameters: pH, turbidity, conductivity and chloride, sulfate, nitrate, phosphate, calcium, magnesium, sodium, potassium, copper, zinc and iron ion concentrations of the water samples were evaluated. The results showed that at sites downstream quite disturbed areas especially those with intensive pig farming, the concentration of chemical elements are higher than in places where there is low human interference, evidencing the great contribution of these establishments to the contribution of pollutants to the aquatic systems.

RESÚMEN:

Contaminación Difusa
Contaminación Puntual
Calidad del Agua

RESÚMEN. IMPACTOS DE LA CRÍA DE CERDOS EN LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA DEL ARROIO CALDEIRÃO, PALMITINHO, RIO GRANDE DO SUL. En este trabajo se evaluaron la relación entre el uso del suelo y la creación intensiva de cerdos, con la concentración de nutrientes en las aguas de los arroyos en una cuenca agrícola del Río Grande do Sul. Las muestras de agua fueron colectadas en el flujo de base en once puntos en tres temporadas diferentes. En marzo de 2013 se tomaron muestras diarias en dos puntos de la cuenca, curso medio y exutório el canal principal. Los parámetros físico-químicos evaluados fueron: pH, turbidez, conductividad, cloruro, sulfato, nitrato, fósforo, calcio, magnesio, sodio, potasio, cobre, zinc y hierro soluble. Los resultados mostraron que en los sitios aguas abajo de áreas muy perturbadas, especialmente aquellos con la producción porcina intensiva, la concentración de elementos químicos son más altos que en los lugares donde hay baja interferencia humana, prueba la gran

Introdução

Os impactos ambientais decorrentes da suinocultura na região Sul do Brasil têm aumentando consideravelmente nos últimos anos, principalmente com a adoção do sistema de criação intensiva na década de 80 (OLIVEIRA, 1993). A adoção deste sistema agravou a questão ambiental ligada à atividade, principalmente em decorrência do manejo inadequado de dejetos suínos, potencial poluidor dos solos e corpos d'água superficiais (OLIVEIRA & NUNES, 2002).

Nas regiões produtoras, tradicionalmente, os efluentes líquidos de suínos têm sido aplicados em solos agrícolas como fertilizante, pois contêm uma vasta gama de nutrientes e matéria orgânica (WEBER et al., 2007). No entanto, a técnica de criação intensiva, caracterizada pela concentração de um grande número de animais em pequenas áreas, induz grande produção de dejetos, que mal gerenciados pode superar a capacidade de suporte dos solos, resultando em acúmulo de nutrientes e metais pesados (GIROTTI et al., 2010; LOURENZI et al., 2012).

O nitrogênio (N) é um dos elementos mais limitantes para o crescimento das plantas, desempenhando um papel fundamental no metabolismo vegetal, por participar diretamente na biossíntese de proteínas e clorofilas (ANDRADE et al., 2003), principalmente no estágio inicial de desenvolvimento da planta, período em que a absorção é mais intensa (BASSO & CERETTA 2000). Por isso as taxas de aplicação de dejetos suínos no solo são normalmente estimadas em função da demanda desse nutriente para as culturas. Como a razão N:P (fósforo) no dejetos líquido de suíno é menor do que a exigida pelas culturas, as taxas de P aplicadas são de duas a cinco vezes superiores às necessidades das culturas. Isto pode acarretar no acúmulo de P nas camadas superficiais do solo (GUARDINI et al., 2012). Adicionalmente, menos de 25% do P aplicado é recuperado pela cultura (HAVLIN, 2004). Neste contexto, a aplicação contínua de efluentes suínos em áreas agrícolas a uma taxa excedente às demandas das plantas, aumenta sobremaneira os riscos de perda de P, além de outros nutrientes, durante precipitações. Devido à sua baixa solubilidade em água e alta adsorção aos minerais do solo, o P é carregado para corpos d'água, superficiais adsorvidos às partículas, principalmente por meio do processo erosivo. A aplicação sucessiva de dejetos em altas taxas também promove a saturação dos sítios de sorção de P no solo, resultando na alta disponibilidade desse elemento, sendo facilmente transferido à fase solúvel quando esses sedimentos são transferidos aos corpos d'água (KERR et al., 2011).

Trabalhos como os de Borah et al (2003), Stutter et al (2008), Kato et al (2009), mostraram que o P e o N dissolvidos, incluindo o N amoniacal (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e N orgânico dissolvido, constituem a maior proporção do P e N total da água do escoamento. Estes compostos dissolvidos desempenham um papel importante na regulação de processos biogeoquímicos dos sistemas

aquáticos (BROOKSHIRE et al., 2005), pois eles são prontamente disponíveis para absorção por organismos e podem desencadear a eutrofização dos mananciais (SEITZINGER et al., 2002).

A aplicação de dejetos de suínos em solos agrícolas é a fonte antropogênica predominante de cobre (Cu) e zinco (Zn) (KLESSA et al., 1985). Estes metais são encontrados no estrume de suínos como resultado da adição na ração alimentar, em virtude da necessidade para regular processos fisiológicos e prevenção de distúrbios da saúde animal. Como apenas uma pequena fração dos metais adicionados é retida no corpo do animal (POULSEN, 1998), a maioria é excretada nas fezes ou urina e, está presente no adubo que é subsequentemente aplicado no solo (NICHOLSON et al., 2003). Em trabalho desenvolvido por Nicholson et al. (1999) e Sager (2007), os autores mostraram que as concentrações de Cu e Zn em dejetos de suínos são significativamente maiores do que em outros esterco animais. Desta forma, a aplicação de dejetos de suínos representa um risco maior de poluição por Cu e Zn em solos agrícolas. Estes metais constituem elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, todavia, podem tornar-se fitotóxicos e causar perturbações metabólicas. Adicionalmente, a entrada maciça de Cu e Zn via efluente líquido suíno nos solos também promove a migração através de lixiviação e escoamento superficial, afetando negativamente a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

Embora a utilização de efluentes suínos traga benefícios agronômicos, sua utilização promove a degradação da qualidade das águas superficiais e subsuperficiais, devido, principalmente, a entrada excessiva de nutrientes (STEINFELD et al., 2006; KATO et al., 2009), matéria orgânica particulada (BORAH et al., 2003; STUTTER et al., 2008), bactérias (BICUDO & GOYAL, 2003), estrogênio (BURNISON et al., 2003) e antibióticos (KAY et al., 2004). Diante do exposto, o presente trabalho explora as relações entre as atividades agropecuárias e a concentração de nutrientes nas águas dos canais de drenagem da bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão, a fim de avaliar os impactos ambientais que estas atividades podem estar desencadeando nos ecossistemas aquáticos.

Material e métodos

Área de estudo

Esta pesquisa foi realizada em uma bacia hidrográfica predominantemente agrícola (1363 ha), localizada no município de Palmitinho noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1).

O clima da região corresponde ao subtropical muito úmido com inverno fresco e verão quente. A temperatura média anual varia entre 20–23°C. A temperatura média do mês mais frio oscila entre 14–17°C e a temperatura média do mês mais quente varia entre 23–29°C. A precipitação fica entre 1700–1900 mm ao ano em 110–140 dias de chuva (ROSSATO, 2011). O substrato litológico é composto de basaltos da Formação Serra Geral (Fácie Paranapanema), com relevo ondulado e cotas altimétricas variando de 198 a 513 m. As classes de solos mais expressivas da BH são Neossolos e Cambissolos (CUNHA et al., 2010).

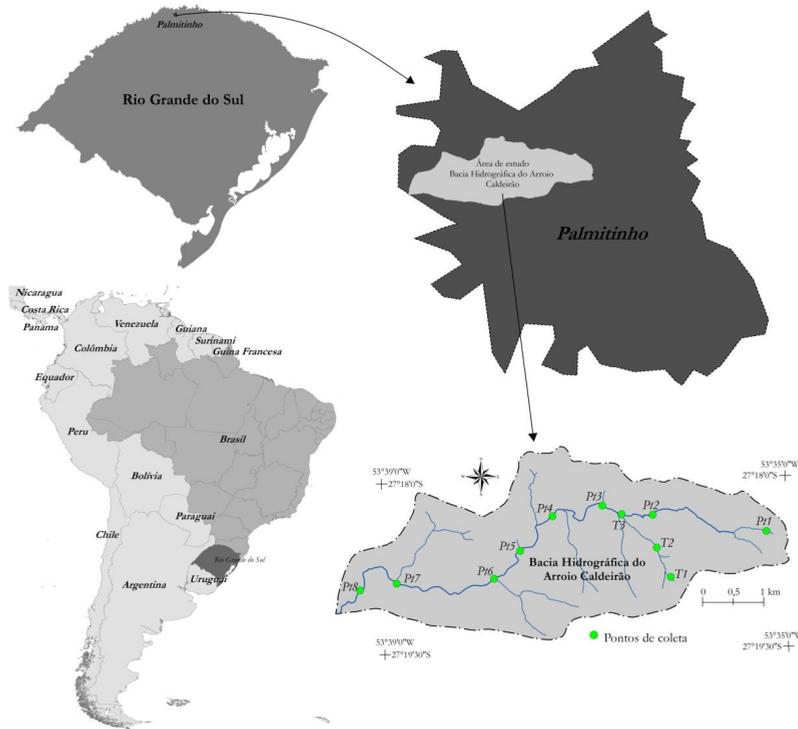


Figura 1- Mapa com a localização da bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão e pontos de amostragem.

A ocupação agrícola está adaptada principalmente às dificuldades impostas pelo relevo. As lavouras encontram-se principalmente nos vales, mas é possível encontrá-las também em áreas mais íngremes. Os cultivos comerciais mais expressivos são milho e fumo no verão. No inverno pequenas áreas são cultivadas com forrageiras, enquanto a maior parte fica em pousio hibernar. Da vegetação, outrora de mata nativa composta pela formação floresta estacional decidual submontana, restam fragmentos preservados em áreas onde não foi possível a prática agrícola em função do relevo acidentado. Em algumas propriedades, devido ao êxodo para as zonas urbanas, observam-se lavouras abandonadas, com matas em vários estágios de regeneração. As sedes das propriedades encontram-se nos vales, próximas a cursos d'água e nos topos de morros, próximas a nascentes, refletindo o histórico de ocupação em que o proprietário optava por um local próximo a uma fonte segura de abastecimento de água.

As classes de uso da terra da BH do Arroio Caldeirão (Figura 2) são: matas (40,2%), lavouras (39,5%), campo antrópico (pecuária) (16,0%), outros usos (4,3%). A classe 'outros usos' inclui as sedes das propriedades, área comunitária, escola, açudes e estradas. A área da bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão é subdividida em 124 propriedades e a economia local baseia-se, principalmente, na suinocultura intensiva, bovinocultura de leite, fomicultura e aposentadorias.

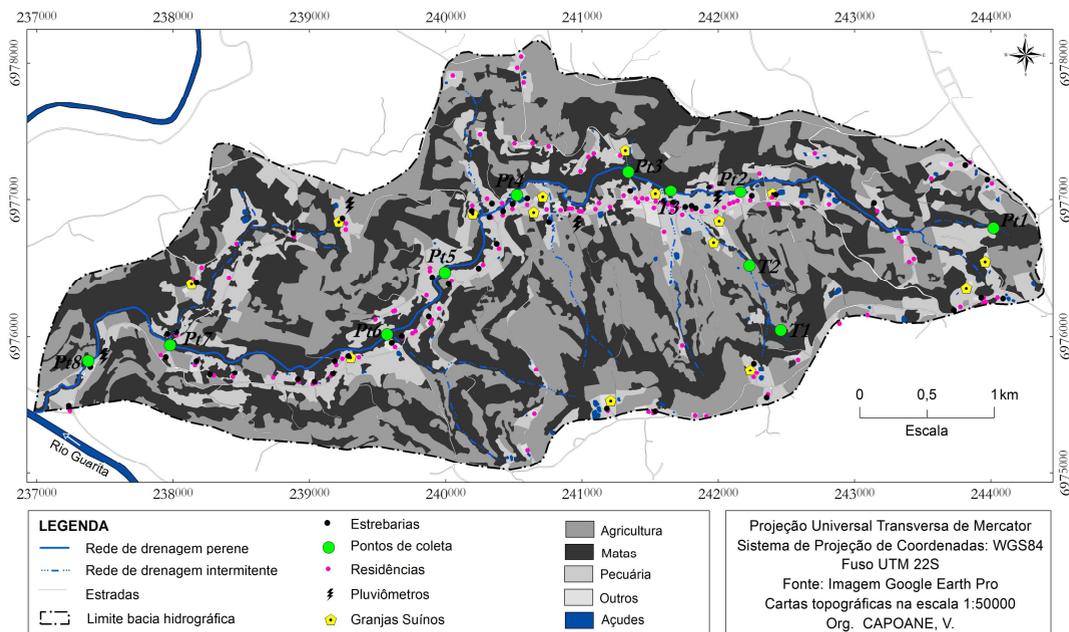


Figura 2 - Mapa de uso da terra e localização dos pontos de amostragem de água na bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão, Palmitinho, Rio Grande do Sul.

Estruturação do banco de dados no Sistema de Informação Geográfica

Em ambiente do SIG foi criada uma base de dados georreferenciada, o *software* utilizado foi o ArcGIS10. A base cartográfica foi obtida no formato digital de um banco de dados da Universidade Federal do Rio Grande do Sul na escala 1:50000 (HASENACK & WEBER, 2010). O mapa de uso da terra foi confeccionado utilizando como base uma imagem de satélite disponível no *software* Google Earth Pro do ano de 2007. A partir de trabalhos de campo foi feita a atualização do uso da terra para o ano de 2012.

Sabendo-se da importância da identificação das fontes de origem de nutrientes e as vias pelas quais eles são distribuídos para a rede de drenagem, foi efetuado o levantamento espacial das fontes pontuais de poluição (granjas de suínos, salas de ordenha e residências). Para tal, foi utilizada a imagem de satélite e, um GPS de navegação (Garmin Gpsmap 62s) durante os trabalhos de campo.

Coletas de água

As amostras de água foram coletadas no fluxo de base em 11 pontos, sendo oito no canal principal (Pt1 a Pt8) e três em um tributário (T1 a T3) (Figuras 1 e 2). A localização dos pontos foi disposta a montante, médio curso e foz, sempre situando os pontos à montante e à jusante das granjas de criações de suínos e outras fontes potenciais de poluição difusa, como lavouras (Tabela 1). As coletas foram realizadas em três períodos distintos, outubro (07/10/2012), dezembro (09/12/2012) e fevereiro (12/02/13). No mês de março de 2013 foram efetuadas coletas diárias em dois pontos do canal principal, exutório (Pt8) e médio curso (Pt4).

Análises

Na chegada ao laboratório, as amostras de água destinadas à determinação do fósforo solúvel (PO_4^{3-}) foram filtradas em membrana de celulose com $0,45 \mu\text{m}$ de diâmetro de poro e, as destinadas à determinação dos ânions nitrato, cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}) e, cátions: cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), ferro (Fe^{3+}), Zn^{2+} , Cu^{2+} e alumínio (Al^{3+}), foram filtradas em membrana de celulose com $0,22 \mu\text{m}$ de diâmetro de poro. Após a filtragem as amostras foram mantidas em geladeira ($2-8^\circ\text{C}$) até o momento das análises.

A condutividade elétrica, turbidez e pH foram determinados com um condutivímetro Digimed DM31, turbidímetro e pHmetro de bancada, respectivamente. A concentração de P solúvel foi determinada por espectrofotocolorimetria UV Visível (MAKRIS, 2002). Os ânions por cromatografia iônica em um HPLC (*High Pressure Liquid Chromatography*). Os cátions utilizando-se um ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*).

A análise dos dados baseou-se na série monitorada e na influência dos usos antrópicos a montante e no entorno dos pontos amostrados. Além disso, foi realizada análise de correlação linear entre as concentrações de nitrato e fósforo solúvel com algumas características dos pontos amostrados, baseado na quantidade de áreas de lavoura e número de suínos (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização dos pontos monitorados na bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão, Palmitinho, Rio Grande do Sul.

Ponto	Área de captação, ha	Descrição	Distância pontos, m	Lavoura		Suínos		Vacas	
				ha	%	n°	%	n°	%
Pt1	11	Área de mata próxima a nascente	0	5	50	0	0	0	0
Pt2	230	Jusante de lavouras, estrada e granjas de suínos	2088	84	37	1550	19	100	19
Pt3	474	Jusante de lavouras e granjas de suínos	936	204	43	4550	55	194	38
Pt4	639	Médio curso	1188	271	42	5917	72	250	48
Pt5	799	Médio curso	928	338	42	5990	73	299	58
Pt6	966	Jusante de lavouras e granjas de suínos	724	405	42	6490	79	385	75
Pt7	1143	Inserido em área de campo antrópico	1779	471	41	7310	89	469	91
Pt8	1333	Próximo ao exutório	1072	521	39	8221	100	516	100
T1	10	Área de mata	0	4	43	0	0	0	0
T2	71	Jusante de lavouras e granja de suínos	560	33	47	700	9	20	4
T3	97	Próximo ao exutório	841	47	49	2200	27	41	8

Pt → Canal principal; T → Tributário.

Resultados

Coletas no fluxo de base

Na primeira coleta, a condutividade elétrica e a turbidez da água aumentaram nas proximidades dos pontos de poluição pontual e diminuiram à

medida que se aproximava do exutório (Tabela 2). O mesmo ocorreu com os demais parâmetros avaliados (Tabela 2).

Tabela 2 - Concentrações dos parâmetros físico-químicos nas amostras de água coletadas nos canais de drenagem da bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão, Palmitinho, Rio Grande do Sul.

ID	pH	CE μS cm ⁻¹	Turbidez UNT	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	PO ₄ ³⁻	Fe ³⁺	Al ³⁺	Cu ²⁺
				mg L ⁻¹										μg L ⁻¹
Primeira coleta - 07/10/2012														
Pt1	7,2	75	0,4	5,5	1,2	2,0	1,6	9,3	4,5	0,5	6	16	32	1,0
Pt2	7,6	76	4,1	6,6	2,2	2,7	1,6	8,5	4,1	1,1	15	34	41	1,3
Pt3	7,7	78	4,9	7,2	2,8	2,8	1,6	9,5	4,6	1,3	13	29	35	1,5
Pt4	7,7	81	6,5	8,1	3,4	3,3	1,9	9,7	4,7	1,6	20	30	56	2,0
Pt5	7,8	89	4,9	6,5	2,7	2,5	1,4	9,5	4,7	1,5	19	27	32	1,4
Pt6	7,8	86	4,8	6,0	2,8	2,9	1,6	9,3	4,7	1,5	23	18	30	1,0
Pt7	7,7	87	5,9	6,1	3,0	2,2	1,1	9,2	4,4	1,3	24	111	39	1,2
Pt8	7,8	77	4,2	7,3	3,3	2,8	1,6	8,9	4,3	1,1	21	18	21	1,2
T1	7,6	95	3,0	3,7	1,5	2,5	1,1	9,8	4,6	0,6	10	19	29	0,9
T2	7,2	77	3,4	5,3	2,9	3,2	0,7	7,6	3,5	0,6	11	23	40	0,9
T3	7,9	64	6,8	7,9	3,8	2,7	0,8	8,3	3,8	0,4	13	23	39	0,7
<i>Lavoura</i>	0,56**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,77**	0,90*	ns	ns	ns
<i>Suinós</i>	0,65•	ns	0,57**	0,52**	0,60**	ns	ns	ns	ns	0,82**	0,91*	ns	ns	ns
Segunda coleta - 09/12/2012														
Pt2	7,5	141	12,2	12,5	9,4	3,6	1,9	14,3	7,5	1,2	21	6	15	1,0
Pt3	7,5	127	2,1	10,8	4,9	4,4	2,5	13,2	6,4	2,0	23	22	11	1,6
Pt4	7,6	143	1,6	13,4	14,8	4,6	2,9	14,0	7,3	2,5	45	9	9	1,6
Pt5	7,6	118	4,4	8,4	5,4	3,8	5,1	12,2	6,1	2,0	38	28	15	1,5
Pt6	7,6	108	1,3	7,8	4,2	3,8	3,1	10,4	5,2	1,7	37	12	10	1,6
Pt7	7,6	102	1,1	6,5	4,0	2,6	3,3	9,7	5,0	2,1	32	7	9	1,0
Pt8	7,5	91	1,3	17,1	7,2	2,5	2,2	8,8	4,4	2,0	24	8	8	0,4
T3	8,1	168	0,3	26,7	9,5	4,4	4,5	16,3	7,6	2,1	2	2	9	0,9
<i>Lavoura</i>	ns	-0,93**	ns	ns	ns	-0,70**	ns	-0,96*	-0,94*	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Suinós</i>	ns	-0,85**	ns	ns	ns	ns	ns	-0,88**	-0,87**	ns	ns	ns	ns	ns
Terceira coleta - 12/02/2013														
Pt2	7,8	165	2,3	9,5	0,8	2,5	3,7	16,7	8,3	3,8	17	8	10	1,5
Pt3	8,0	131	2,1	14,8	0,5	3,4	4,2	12,5	5,8	2,5	1	242	7	1,3
Pt4	7,6	146	0,6	11,2	2,7	3,8	4,4	14,4	7,5	1,4	27	5	8	1,2
Pt5	7,6	138	1,8	12,7	0,9	3,9	3,1	12,9	6,5	1,7	25	76	8	1,9
Pt6	7,7	103	1,1	9,4	0,5	2,2	4,9	10,5	5,3	0,8	21	15	7	3,6
Pt7	7,5	98	0,1	8,0	0,7	1,9	4,3	10,3	5,1	0,4	26	34	6	1,2
Pt8	7,4	77	0,1	7,3	0,3	1,7	2,8	8,0	3,9	0,3	11	12	5	0,0
<i>Lavoura</i>	-0,77*	-0,93**	-0,83*	ns	ns	ns	ns	-0,93**	-0,87•	-0,97**	ns	ns	-0,90**	ns
<i>Suinós</i>	-0,71**	-0,86**	-0,83*	ns	ns	ns	ns	-0,89**	-0,83•	-0,98**	ns	ns	-0,91**	ns

* Significativo a $p < 0,001$ de probabilidade; ** Significativo a $p < 0,01$ de probabilidade. • Significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; •• Significativo a $p < 0,10$ de probabilidade.

O Pt1, que é o ponto com menor influência antrópica com matas ciliares bem preservadas, localizado próximo a nascente do canal principal, apresentou as menores concentrações de nutrientes (Tabela 2). Na segunda coleta, no tributário, somente o ponto T3 pôde ser amostrado, sendo que a água coletada estava represada. Na terceira coleta em função da estiagem o canal estava seco. O mesmo ocorreu para o Pt1, canal principal, na segunda e terceira coleta (Tabela 2).

As concentrações de P solúvel e de nitrato no canal principal foram maiores nos pontos amostrados em áreas muito antropizadas, próximas de estrebarias, granjas de suínos e a jusante de lavouras (Tabela 2), como pode ser verificado também, pela correlação positiva entre a área de lavoura e número de suínos com o teor de P solúvel ($p > 0,05$) e, com o teor de nitrato ($p > 0,10$), na primeira época de amostragem (Tabela 2). Nas demais coletas não houve correlação dos teores de fósforo solúvel e nitrato. Isso pode ter ocorrido devido às baixas precipitações durante as duas últimas coletas, que diminuiu sobremaneira o escoamento superficial e subsuperficial, que são os principais vetores de transporte de nutrientes aos cursos d'água.

A concentração dos íons SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} e Zn^{2+} variaram bastante ao longo do curso d'água, sendo as maiores concentrações observadas no médio curso (Tabela 2). Embora o Fe^{3+} e o Al^{3+} tenham apresentado o mesmo comportamento dos demais parâmetros, esses elementos estão mais relacionados ao material de origem.

Coletas diárias no médio curso (Pt4) e no exutório (Pt8)

As concentrações de sulfato variam de 0 a $5,8 \text{ mg L}^{-1}$ no médio curso e de 0 a $3,3 \text{ mg L}^{-1}$ no exutório, sendo que houve uma diluição nas concentrações nos dias de chuva (Figura 3). As concentrações de cloreto variaram de 0,8 a $19,8 \text{ mg L}^{-1}$ no médio curso e de 0,5 a $14,6 \text{ mg L}^{-1}$ no exutório (Figura 3). As concentrações de nitrato variaram de 0,2 a $5,6 \text{ mg L}^{-1}$ no médio curso e de 0,1 a $4,2 \text{ mg L}^{-1}$ no exutório (Figura 3).

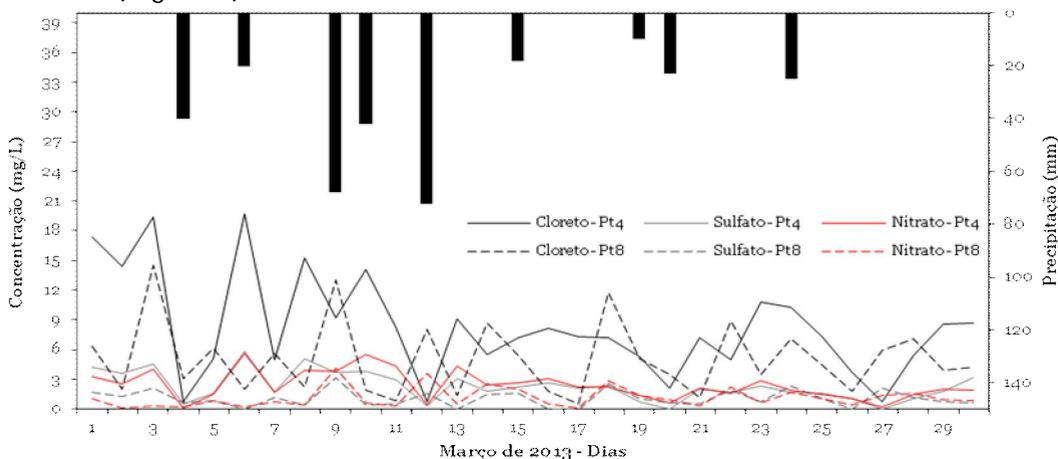


Figura 3 – Concentrações de cloreto, sulfato e nitrato no Pt8 (exutório - linha tracejada) e no Pt4 (médio curso - linha contínua) nas amostras de água coletadas diariamente no mês de março de 2013.

As concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ sempre foram superiores no médio curso (Figura 4), caracterizando a interferência das atividades agropecuárias desenvolvidas na bacia hidrográfica.

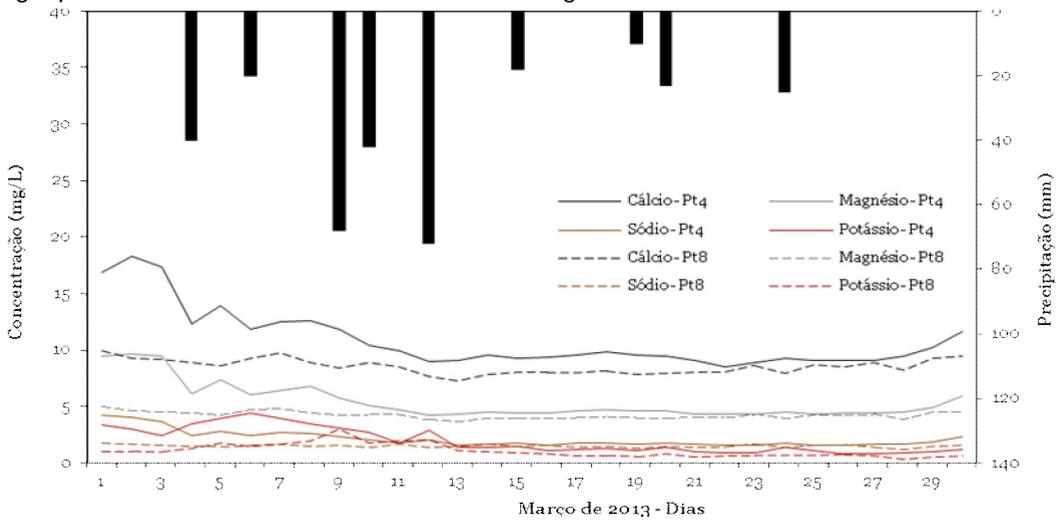


Figura 4 - Concentrações de cálcio, magnésio, potássio e sódio no Pt8 (exutório - linha tracejada) e no Pt4 (médio curso - linha contínua) nas amostras de água coletadas diariamente no mês de março de 2013.

As concentrações de zinco variaram de 0 a $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ no médio curso e, de 0 a $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ no exutório (Figura 5). As concentrações de cobre variaram de 0 a $0,006 \text{ mg L}^{-1}$ no médio curso e, de 0 a $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ no exutório (Figura 5). O fósforo solúvel apresentou os maiores picos nas coletas realizadas próximo aos eventos pluviométricos sendo que, as concentrações variaram de $0,013$ a $0,178 \text{ mg L}^{-1}$ no médio curso (Pt4) e de $0,013$ a $0,105 \text{ mg L}^{-1}$ no exutório (Pt8) (Figura 5).

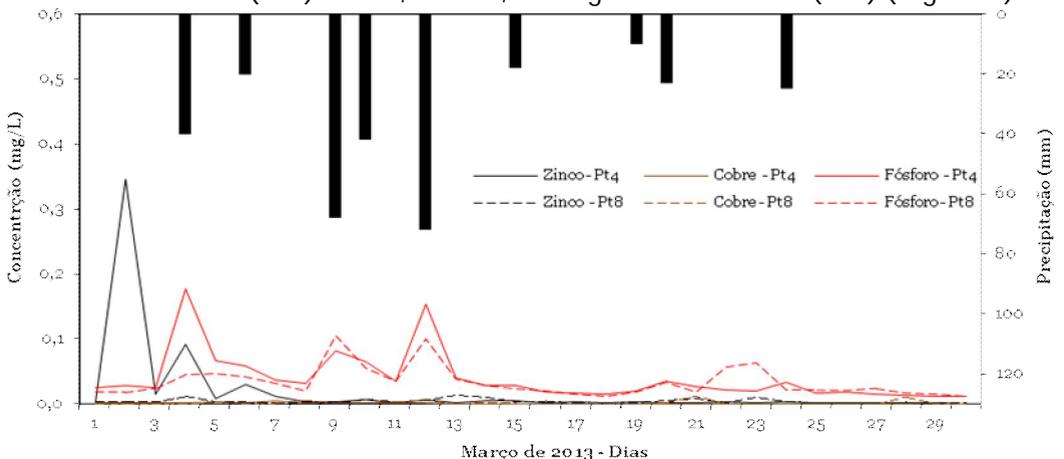


Figura 5 - Concentrações de cobre, zinco e fósforo solúvel no Pt8 (exutório - linha tracejada) e no Pt4 (médio curso - linha contínua) nas amostras de água coletadas diariamente no mês de março de 2013.

Discussão

Na bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão a atividade de suinocultura intensiva é uma importante fonte de renda para os moradores estando presente em 15 propriedades, sendo 12 em unidade de terminação (UT) e três em unidade de produção de leitões (UPL). O número total de animais nas UTs é de 7890 e nas UPLs é de 331 matrizes. Assim como no restante do país onde há produção intensiva de suínos, o tratamento dos dejetos ainda é uma prática pouco utilizada em virtude dos custos e da complexidade dos processos necessários para a eficiente depuração dessa matriz, que tem como característica inerente a sua alta carga poluente. Em 11 propriedades o dejetos de suíno produzido é armazenado em esterqueiras e, em quatro delas há biodigestores. Tanto o dejetos armazenado nas esterqueiras quanto nos biodigestores são aplicados regularmente nas áreas de lavoura. A aplicação dos dejetos nas lavouras normalmente é feita antes do plantio das culturas. Nesse momento há a incorporação mecânica do efluente ao solo. Mas também há aplicação durante o crescimento das plantas, cuja aplicação é feita em superfície. Em algumas propriedades, devido a sistemas de armazenagem subdimensionados, em determinados períodos do ano em que não é possível a distribuição dos efluentes nas lavouras em função do estágio de desenvolvimento das plantas, há o descarte direto no ambiente em dias de chuva. Além disso, a quantidade de esterco aplicado nas lavouras é feita indiscriminadamente, sem análises de solo e com sucessivas aplicações nas mesmas áreas, inúmeras vezes ao ano. Como agravante, as áreas de lavouras (fontes difusas de poluição) são mantidas predominantemente sob o sistema de cultivo convencional, com lavrações e gradagens antes de cada cultivo. Nas poucas áreas de lavoura em que o solo não é revolvido, a cobertura do solo com resíduos culturais é muito baixa, sendo insuficiente para amenizar a energia cinética da chuva. Não existe sistema de rotação de culturas, não há obras físicas de contenção da enxurrada e a semeadura em muitas propriedades é feita no sentido do declive, resultando em presença de erosão laminar e em sulco forte. O volume de dejetos líquidos produzidos na BH do Arroio Caldeirão é de cerca de $70 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$ perfazendo um total de $25550 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$. Isto significa que existe uma oferta de $49,04 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ para as áreas de lavoura da BH. Considerando que as 15 propriedades que desenvolvem a atividade tem em média 10 ha, a quantidade de efluente gerado é suficiente para causar grande acúmulo de P, Cu e Zn no solo, potencializando assim a transferência desses elementos aos sistemas aquáticos.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) não foi determinada neste trabalho, mas, conforme Freire (1985) apud Oliveira (1993), um suíno de 60 Kg produz $0,136 \text{ kg DBO}_5/\text{dia}$, o que em termos comparativos, corresponde a quatro vezes o equivalente populacional humano. Então para a BH monitorada, considerando só os animais nas unidades de terminação, o esgoto gerado equivaleria a uma cidade de quase 8 mil habitantes. Na BH o número de moradores é de 363, densidade de $0,26 \text{ hab/ha}$. Já a densidade de suínos é de 6 animais/ha.

As áreas de campo antrópico utilizadas para o pastoreio do gado leiteiro, situam-se nos vales próximas as residências e canais de drenagem. O gado normalmente se reúne ao longo dos córregos por várias razões, incluindo sombra, água e disponibilidade de forragem. O pisoteio do gado pode afetar a qualidade do solo através de compactação, erosão, e mudanças na comunidade vegetal (CAST, 2002). Além disso, o esterco e urina são depositados diretamente em águas superficiais ou solos perto dos canais, onde a erosão do solo potencialmente ocorre. Nas estrebarias, somente quatro propriedades possuem esterqueiras para o direcionamento do efluente gerado durante a ordenha sendo que, em três delas, a atividade está consorciada com a suinocultura, onde os produtores aproveitam o mesmo sistema para canalização dos dejetos suínos e bovinos. Nas demais propriedades a ordenha é feita em estrebarias mal dimensionadas ou a céu aberto, sendo todo efluente gerado descartado diretamente no ambiente.

As sedes das propriedades também contribuem para o aporte de poluentes para os sistemas aquáticos uma vez que, na maioria delas não há sistema de tratamento de esgoto, e todo efluente gerado é encaminhado para fossas negras. Além disso, a coleta de lixo passa esporadicamente e não contempla todos os moradores. É visível o acúmulo de lixo em alguns pontos da BH, principalmente sacos plásticos incluindo embalagens de agrotóxicos e vidro. Por isso, esses locais também foram considerados como fontes pontuais de poluição. Como agravante mais de 90% das sedes das propriedades situam-se próximas aos canais de drenagem como pode ser observado na Figura 2, assim em dias de chuva os poluentes gerados são transferidos para os sistemas aquáticos.

Os resultados das análises físico-químicas das amostras de água coletadas em três períodos no fluxo de base dos canais de drenagem comprovam que as atividades agropecuárias desenvolvidas na BH do Arroio Caldeirão estão afetando a qualidade das águas superficiais. A correlação entre as concentrações dos elementos químicos com as principais atividades antrópicas da bacia (lavouras e número de suínos) corrobora com os resultados obtidos no monitoramento da qualidade da água. As concentrações de elementos químicos foram maiores nos pontos de coleta amostrados em áreas bastante antropizadas, próximas a estrebarias, granjas de suínos e a jusante de lavouras onde é feita a aplicação do efluente como fertilizante orgânico. À medida que vai entrando água de tributários menos impactados há uma diluição nas concentrações.

Assim como observado nas três amostragens realizadas no fluxo de base dos arroios, a água coletada diariamente no mês de março de 2013, no exutório (Pt8) e no médio curso (Pt4), mostrou que em áreas bastante antropizadas (Pt4) as concentrações de elementos químicos são altas e, à medida que vai entrando água de tributários menos impactados há uma diluição nas concentrações (Pt8).

O nitrato por ser um elemento bastante móvel é rapidamente lixiviado em dias de chuva. Isto pode ser observado no ponto de coleta no médio curso. No exutório, as concentrações estavam superiores nos dias de chuva, o que decorre dos fluxos d'água das áreas a montante. Conforme Barcellos (1992), a quantidade natural de nitrato e amônia em águas superficiais é baixa ($< 1 \text{ mg L}^{-1}$) e, concentrações acima de 5 mg L^{-1} normalmente indicam poluição por fertilizantes usados na agricultura, ou dejetos humanos e animais. Nos sistemas aquáticos

quando o nitrato atinge altas concentrações, é comum o aparecimento e crescimento de algas, o que reduz o nível de oxigênio e, muitas vezes, ocasiona a morte de peixes. No que se refere à saúde humana, elevadas concentrações de nitrato na água estão ligadas a doenças como metahemoglobina em lactentes (síndrome do bebe azul) e câncer de estômago em adultos (LEE et al., 1991; ADDISCOTT et al., 1992; WOLFE & PATZ, 2002).

O P solúvel apresentou os maiores picos nas coletas realizadas próximo aos eventos pluviométricos. Isso se deve a alta energia de ligação desse elemento às partículas do solo. Assim, as concentrações de fosfato nas águas superficiais estão, dentre outros fatores, diretamente relacionadas ao escoamento superficial. Geralmente, concentrações na faixa de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ de fosfato são suficientes para manutenção do fitoplâncton, e concentrações na faixa de $0,03$ a $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, ou maiores, já são suficientes para disparar o crescimento desenfreado (USEPA, 1996). Esses resultados indicam que a lixiviação de nitrato através do perfil do solo e o transporte do fósforo via escoamento superficial são os dois principais problemas de impacto ambiental sobre a qualidade da água em locais que desenvolvem a criação intensiva de animais podendo vir a causar a eutrofização dos mananciais.

Embora a ração utilizada na criação de suínos possua elevados teores totais de cobre e zinco, a água coletada no médio curso e exutório continha muito baixa concentração desses metais. Isto se deve a alta reatividade e energia de ligação que estes elementos apresentam com os colóides (substâncias orgânicas e partículas inorgânicas) que se encontra em suspensão e nas margens dos arroios, o que dificulta a presença desses na forma solúvel. Provavelmente esteja havendo enriquecimento desses metais no sedimento de fundo no sentido nascente exutório.

Nutrientes como o Ca, Mg e K, têm como origem a utilização de fertilizantes nas áreas agrícolas, a erosão de rochas e ainda o lançamento de efluentes domésticos e de granjas além da decomposição da vegetação das margens ou mesmo daquelas áreas onde a vegetação fica submersa e é oxidada pela ação de bactérias. Nas águas superficiais os ânions sulfato e cloreto estão ligados às descargas de esgotos domésticos e efluentes animais, por exemplo, através da degradação de proteínas. As concentrações desses elementos obtidas no presente trabalho apresentaram o mesmo comportamento que o fósforo e o nitrato indicando a influência das atividades agropecuárias na qualidade das águas superficiais bem como, a capacidade de autodepuração do próprio rio. As concentrações de Fe e Al obtidas estão mais relacionados com o material de origem (rocha ígnea extrusiva) do que propriamente com as atividades agropecuárias desenvolvidas na BH.

Como visto na Figura 2, a classe de uso da terra predominante na bacia hidrográfica é mata, no entanto isso não minimiza os efeitos das atividades antrópicas nos sistemas aquáticos, uma vez que, a maioria das fontes pontuais de poluição encontram-se próximas aos canais de drenagem, muitas vezes inseridas em área de preservação permanente. Além disso, as áreas de lavouras, fontes difusas de poluição, onde são aplicados os efluentes suínos como fertilizante orgânico, estão situadas nos vales próximas aos canais de drenagem, então, além

da possibilidade de fitotoxidez e perturbações metabólicas nas plantas está ocorrendo à transferência direta de poluentes para os canais de drenagem.

Os efeitos esperados nos sistemas aquáticos se medidas conservacionistas não forem tomadas pelos proprietários nas áreas agrícolas e nas instalações pecuárias em curto prazo são: a eutrofização dos mananciais e, o enriquecimento do sedimento de fundo de rios com substâncias químicas tóxicas e persistentes, pois, tem sido reconhecido que sedimentos aquáticos adsorvem poluentes a níveis muitas vezes superiores à concentração da coluna d'água (LINNIK & ZUBENKO, 2002) e, uma vez adsorvidos ao sedimento, os poluentes são geralmente liberados devido a alterações nas condições ambientais e físico-químicas, podendo contaminar a água e outros sistemas ambientais, levando à bioacumulação e transferência na cadeia trófica (HOROWITZ, 1991), conseqüentemente efeitos deletérios ocorrem na biota devido à exposição a esses níveis de concentração.

Conclusão

O manejo inadequado das atividades agropecuárias está causando a degradação da qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão, como mostrou a correlação entre as concentrações dos principais elementos químicos de origem antropogênica com as atividades agropecuárias desenvolvidas na bacia hidrográfica. Houve um aumento nas concentrações de alguns elementos no sentido nascente exutório do canal principal. Contudo, o aumento não foi gradual como o observado no tributário, em função do efeito de diluição pela entrada de água de sub-bacias menos impactadas.

Como as redes fluviais ligam paisagens terrestres, perturbações nesse ecossistema podem ter grandes conseqüências nos ciclos biogeoquímicos em escalas local, regional e global. Nesse sentido, é importante estabelecer práticas de gestão adequadas tanto nas áreas agrícolas quanto nas estrebarias e granjas de suínos, a fim de evitar perdas de solo e nutrientes e a transferência de poluentes para os sistemas aquáticos.

Referências

- ADDISCOTT, T. M. et al. Farming, Fertilizers and the Nitrate Problem, CAB International, Wallingford. 1992.
- ANDRADE, A. C. et al. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). Ciência e Agrotecnologia, Lavras, Edição especial, p. 1643-1651, 2003.
- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 24, n. 4, p. 905-915, 2000.
- BICUDO J. R.; GOYAL, S. M. Pathogens and Manure Management Systems: A Review. Environmental Technology, v. 24, n. 1, p. 115-130, 2003.
- BORAH, D. K.; BERA, M.; SHAW, S. Water, sediment, nutrient, and pesticide measurements in an agricultural watershed in Illinois during storm events. Transactions of the ASAE, v. 46, n. 3, p. 657-674, 2003.
- BRANCO, A. M. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. 3. ed. São Paulo: Cetesb/Ascetesb, 1986. 640 pg.
- BROOKSHIRE, E. N. J. et al. Coupled cycling of dissolved organic nitrogen and carbon in a forested stream. Ecology, v. 86, n. 9, p. 2487-96, 2005.

- BURNISON, B. K. et al. A Toxicity Identification Evaluation Approach to Studying Estrogenic Substances in Hog Manure and Agricultural Runoff. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 22, n. 10, p. 2243-2250, 2003.
- Council for Agricultural Science and Technology (CAST). Environmental impacts of livestock on U.S. grazing lands. Issue Paper 22. Ames, IA. 2002.
- CUNHA, N. G. et al. Estudos de Solos do Município de Palmitinho, RS. Documentos (Circular Técnica, Embrapa Clima Temperado), v. 105, p. 1-28, 2010.
- GIROTTI, E. et al. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 3, p. 955-965, 2010.
- GUARDINI, R. et al. Accumulation of phosphorus fractions in typical Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 93, n. 2, p. 215-225, 2012.
- HASENACK, H.; WEBER, E. (org.). (2010). Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. 1 DVD-ROM (Série Geoprocessamento).
- HAVLIN, J. L. Technical basis for quantifying phosphorus transport to surface and groundwaters. *Journal of Animal Science*, v. 82, n. 13, p. 277-291. 2004.
- HOROWITZ, A. A primer on sediment-trace element chemistry, 2nd ed., Lewis Publishers. 1991.
- KATO, T.; KURODA, H.; NAKASONE, H. Runoff characteristics of nutrients from an agricultural watershed with intensive livestock production. *Journal of Hydrology*, 368 (1-4), pp. 79-87. 2009.
- KAY, P.; BLACKWELL, P. A.; BOXALL, A. B. A. Fate of Veterinary Antibiotics in a Macroporous Tile Drained Clay Soil. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23 (5), pp. 1136-1144. 2004.
- KERR, J. G. et al. Examining the link between terrestrial and aquatic phosphorus speciation in a subtropical catchment: The role of selective erosion and transport of fine sediments during storm events. *Water Research*, v. 45, n. 11, p. 3331-3340, 2011
- KLESSA, D. A. et al. The effect upon soil and herbage Cu and Zn of applying pig slurry to grassland. *Research and Development in Agriculture*, v. 2 n. 3, p. 135-141, 1985.
- LEE, Y. W. et al. Nitrate risk management under uncertainty. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 118, n. 2, p. 151-165, 1991.
- LINNIK, P. M.; ZUBENKO, B. Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy-metal compounds. *Lakes & Reservoirs Research and Management*, v. 5, n. 1, 2002.
- LOURENZI, C. R. et al. Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 1, p. 157-167, 2013.
- MAKRIS, Konstantinos Christos. Soil and colloidal phosphorus dynamics in three ky soils: bioavailability, transport and water quality implications. Dissertation (Master Science in the College of Agriculture at the University of Kentucky) - College of Agriculture at the University of Kentucky, Lexington. 170 f. 2002.
- NICHOLSON, F. A. et al. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresource Technology*, v. 70, p. 23-31, 1999.
- NICHOLSON, F. A. et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *The Science of the Total Environment*, v. 311, p. 205-219, 2003.
- OLIVEIRA, P. A. V.; NUNES, M. L. A. Sustentabilidade ambiental da suinocultura. In: *Seminário Internacional sobre Produção, Mercado e Qualidade da Carne de Suínos*, 2002, Florianópolis - SC. Concórdia - SC: Embrapa Suínos e Aves, 2002. p. 63-71.
- OLIVEIRA, P. A. V. Manual de utilização dos dejetos de suínos. Concórdia-SC: EMBRAPA-CNPQA. Documento n. 27, 1993. 188p.
- POULSEN, H. D. Zinc and copper as feed additives, growth factors or unwanted environmental factors. *Journal of animal and feed sciences*, v. 7, p. 135-142, 1998.
- ROSSATO, Maira Suertegaray Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.
- SAGER, M. Trace and nutrient elements in manure, dung and compost samples in Austria. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 39, p. 1383-1390, 2007.
- SEITZINGER, S. P. et al. Bioavailability of DON from natural and anthropogenic sources to estuarine plankton. *Limnology Oceanography*, v. 47, n. 2, p. 353-366, 2002.

STEINFELD, H. et al. Livestock's long shadow - Environmental issues and options, 2006. FAO Agriculture Technical paper, Rome.

STUTTER, M. I. et al. Spatial contributions of diffuse inputs and within-channel processes to the form of stream water phosphorus over storm events. *Journal of Hydrology*, v. 350, n. 3-4, p. 203-214, 2008.

US Environmental Protection Agency (USEPA). Proposed guidelines for ecological risk assessment: Notice. FRL-5605-9. *Federal Register*, 61, 47552-47631, 1996.

WEBER, J. et al. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 39, p. 1294-1302, 2007.

WOLFE, A. H.; PATZ, J. A. Reactive nitrogen and human health: acute and long-term implications. *Ambio*, v. 31, n. 2, p. 120-125, 2002.