
Concentrações de nutrientes e de carbono transportados por ondas de cheia em uma bacia agrícola no estado de Santa Catarina

Concentrations of nutrients and carbon transported by flood in an agricultural basin in Santa Catarina state

Evelyn Zucco¹; Adilson Pinheiro² e Pétrick A. Soares³

¹ Doutoranda em Engenharia Ambiental, Universidade Regional de Blumenau, SC, Brasil
evelynzucco@gmail.com

² Professor do departamento de Engenharia Civil, Universidade Regional de Blumenau, SC, Brasil
pinheiro@furb.br

³ Doutorando em Engenharia Ambiental, Universidade Regional de Blumenau, SC, Brasil
petrickps@gmail.com

Recebido: 23/01/14 - Revisado: 07/11/14 - Aceito: 05/02/15

RESUMO

O aumento da vazão geralmente é acompanhado por alterações nas concentrações de sedimentos e de espécies químicas, podendo gerar mudanças na qualidade dos corpos hídricos. Este trabalho tem como objetivo avaliar o transporte de espécies químicas nos eventos de chuva geradores de ondas de cheia, bem como, estudar o efeito da mudança de escala espacial no transporte destes constituintes. O estudo foi desenvolvido na bacia do ribeirão Concórdia, localizada em Lontras - Santa Catarina, que apresenta uso agrícola. Foram coletadas amostras de água em eventos chuvosos no período de 2008 à 2010, em amostradores de nível ascendente e de nível descendente, instalados em três seções de monitoramento fluviométrico da bacia. Pela análise, foi possível concluir que na ascensão do hidrograma, as concentrações de fosfato, de nitrato e de nitrito diminuem, provavelmente, devido aos processos responsáveis pelo transporte destes constituintes. As concentrações de carbono orgânico total (COT) e de carbono inorgânico (CI) não foram influenciadas pela vazão. Estes parecem estar mais associados a sua disponibilidade no solo. O manejo e o uso do solo realizados na bacia do ribeirão Concórdia influenciaram as concentrações de fosfato, nitrito e nitrato. Não foram identificadas diferenças significativas entre a ascensão e a recessão do hidrograma e também entre as seções de monitoramento da bacia.

Palavras Chave: Eventos de cheia. Transporte de nutrientes e carbono. Poluição difusa

ABSTRACT:

Increased flow is generally accompanied by changes in the sediment and nutrient concentrations, and may cause physical and chemical changes in water bodies. This work is to evaluate the transport of chemical species in rainfall events that generate floods, as well as to study the effect of a changing spatial scale in the transport of these constituents. The study is applied to an agricultural basin (Concordia river basin) located in Lontras - Santa Catarina. Water samples were collected at rainfall events during the period from 2008 to 2010, in ascending and descending level samplers installed in three river monitoring sections in the basin. We concluded that in the ascending hydrograph concentrations of phosphate, nitrate and nitrite decreased, probably due to the processes responsible for the transport of these constituents. The concentrations of total organic carbon (TOC) and inorganic carbon (IC) were not influenced by the flow, and appear to be more related to their availability in the soil. Land use and management performed in the Concordia basin influenced the concentrations of phosphate, nitrite and nitrate. No significant differences were found between the rise and recession of the hydrograph and also between basin monitoring sections.

Keywords: Flood events. Transport of nutrients and carbon. Diffuse pollution

INTRODUÇÃO

O escoamento superficial em áreas agrícolas, decorrente de precipitações pluviométricas, transporta espécies químicas para a rede de drenagem. Desta forma, o rio é um integralizador dos fenômenos ocorrentes nas vertentes da bacia. A degradação da qualidade da água via escoamento superficial ocorre, principalmente, quando as aplicações de fertilizantes e de pesticidas são seguidas de chuvas de alta intensidade (HAUPT, 2009). Nessas condições, o escoamento superficial pode propiciar o transporte de material solúvel e de partículas em suspensão, constituindo fontes de poluição difusa.

A poluição difusa, produzida pelo escoamento superficial em bacias agrícolas, tem sido uma grande preocupação sobre a qualidade dos recursos hídricos (SHARPLEY et al., 2003). A aplicação excessiva de fertilizantes em campos agrícolas é considerada a maior fonte de entrada de nitrogênio para sistemas de água doce na Europa, e a produção agrícola intensiva nas últimas décadas resultou em grande ameaça à qualidade da água de superfície devido à transferência de sedimentos, pesticidas e nutrientes (OEURNING et al., 2010). Nutrientes como, nitrogênio (N) e fósforo (P), são transportados a partir de terras agrícolas fertilizadas através do escoamento superficial e da erosão, o que contribui e acelera o processo de eutrofização, entre outros problemas (QUILBÉ et al., 2006; SHARPLEY et al., 2003).

Estima-se que 50% da carga de poluição que adentra em uma bacia são provenientes de fontes difusas (HAUPT, 2009). A característica mais marcante deste tipo de poluição é a grande variabilidade da concentração de poluentes lançados nos corpos de água. Conforme Porto (1995) estas concentrações variam em ordens de magnitude entre bacias hidrográficas, entre diferentes eventos de precipitação e, também, ao longo de um mesmo evento. As distribuições temporais das concentrações dos poluentes apresentam grandes diferenças entre os eventos hidrológicos (PORTO; HAUPT, 2004) podendo gerar mudanças físicas e químicas no ambiente aquático.

O aumento da vazão é geralmente acompanhado por profundas alterações na concentração de sedimentos em suspensão, resultando em um aumento considerável das cargas de poluentes particulados associados (ZONTA et al., 2005). Estas alterações estão relacionadas não só a produção de sedimentos da bacia, mas também pela mobilização de partículas fixas durante o período de fluxo de base (ZONTA et al., 2005). Variações de determinadas concentrações em rios, durante eventos pluviométricos, freqüentemente resultam em um efeito de histerese com diferentes concentrações durante a parte ascendente e descendente do poluto grama (BOWES et al., 2005). Assim, conhecer a dinâmica e os processos que envolvem o transporte de espécies químicas em eventos de cheia são de grande importância para identificar as mudanças ocorridas na qualidade do corpo hídrico.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o transporte de espécies químicas nos eventos de chuva geradores de ondas de cheia, bem como, estudar o efeito da mudança de escala espacial no transporte destes constituintes em uma bacia agrícola.

METODOLOGIA

Área de Estudo

A área de estudo é a bacia do ribeirão Concórdia (Figura 1), localizada no município de Lontras, estado de Santa Catarina. O ribeirão Concórdia é afluente do rio Lontras e, este é afluente do Rio Itajaí-Açu. Possui uma área de 30,74 Km². A bacia tem uso e ocupação do solo essencialmente agrícola por produtores rurais do tipo familiar. As propriedades são de pequeno e médio porte. Os principais usos do solo na bacia estão destinados à mata nativa (47,61%), pastagem (20,35%) e plantio de milho (9,29%).

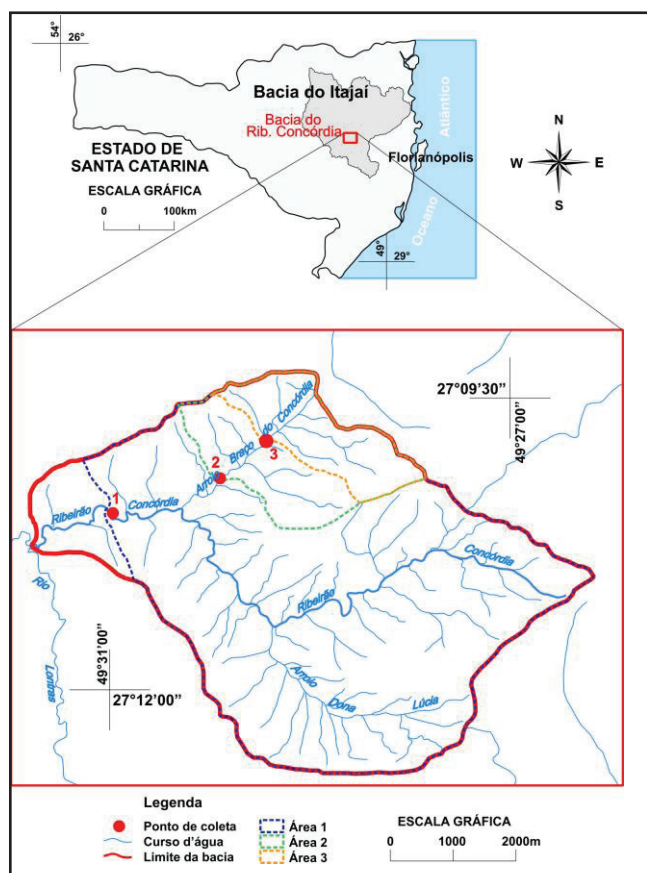


Figura 1 - Área de estudo

Monitoramento da bacia e aquisição dos dados

A bacia do ribeirão Concórdia é monitorada em três seções fluviométricas denominadas ponto 1, 2 e 3. Estas seções possuem sensores de nível e amostradores de nível ascendente (ANA) e descendente (AND) construído e implantado conforme descrito por Paranhos et al. (2002). O ANA é utilizado para a coleta de amostras de água na fase ascendente do hidrograma de cheias e o AND para a coleta de amostras na fase de recessão do hidrograma.

A ANA é composto por um conjunto de frascos onde em cada um deles são acoplados dois tubos, um para admissão da amostra e outro para a saída do ar. O tubo de admissão é em

forma de sifão para impedir a recirculação de água no interior do frasco enquanto a mesma estiver submersa. A coleta de água em cada cota inicia no instante em que o nível de água chega ao bocal de entrada até o momento em que atinge o ponto mais alto do seu sifão. O AND parte do mesmo princípio, porém possui um sistema de roldanas com alavanca que mantém o bico de entrada fechado durante a elevação do nível de água. A partir do momento que o nível começa a baixar o contrapeso força a abertura do bico de entrada permitindo o enchimento do frasco.

A seção fluviométrica do ponto 1 é constituída por um vertedor misto. É equipado com um sensor de nível de boia de flutuação, da marca OTT, com registro a cada 5 minutos e armazenamento em datalogger. Esta seção possui um ANA com quatro frascos de coleta de água. Inicia-se na cota de 0,21m e termina na cota 0,69 m, com uma vazão de 0,03 e 1,56m³/s, respectivamente. A área de drenagem desta seção é de 2,36 Km².

O ponto 2 possui uma área de drenagem de 5,81 Km². Esta seção fluviométrica é equipada com um sensor de nível de bóia de flutuação, da Thalimedes da OTT. O sensor possui registro automático, a intervalos de 5 minutos, onde os dados são armazenados em datalogger. Este ponto possui somente o amostrador de nível ascendente com sete frascos para coleta da água. O primeiro frasco coletor está instalado a uma cota de 0,31m, que corresponde a uma vazão de 0,18 m³/s e o último frasco na cota 1,20m com vazão de 10,95 m³/s.

A seção fluviométrica do ponto 3 possui sensor de nível de pressão Global Water WL15 com registro contínuo a intervalos de 5 min armazenados em um datalogger. Esta seção possui amostradores de nível ascendente e descendente. O ANA e o AND possuem oito frascos cada. O ANA inicia na cota 2,06m e termina na cota 3,52m, que correspondem as vazões de 0,39 m³/s e 5,99 m³/s, respectivamente. O AND inicia na cota 3,72m e termina na cota 2,32m, que correspondem as vazões 7,94 m³/s e 0,72 m³/s, respectivamente. A área de drenagem deste ponto é de 29,89 Km².

Nas seções 2 e 3 foram estabelecidas as curvas chave com vazões medidas com molinete C-20 e contador Z-30, da marca OTT. Na seção 1, a vazão foi medida no vertedor misto. As curvas chave foram estabelecidas com vazões medidas em ampla variação de nível.

Os três pontos amostrais permitem uma análise de mudança de escala espacial. Foram coletadas amostras de água nos amostradores de nível ascendente e de nível descendente no período de 2008 à 2010. No ponto 1 e 2, o monitoramento foi realizado durante o período de outubro de 2008 à agosto de 2010, totalizando 18 eventos chuvosos. Para o ponto 3, o período monitorado foi de janeiro de 2008 à agosto de 2010, totalizando 48 eventos de precipitações intensas. A coleta nos amostradores foi realizada sempre após um evento gerador de ondas de cheia.

Análise da amostra de água

Foram determinadas as concentrações dos parâmetros pH, nitrito, nitrato, fosfato, acetato, cloreto, brometo, sulfato, carbono inorgânico (CI) e carbono orgânico total (COT). As concentrações foram determinadas seguindo os seguintes

procedimentos: (a) os frascos com as amostras de água foram recolhidos dos amostradores ANA e AND e homogeneizados, após foram transferidos para uma proveta para aferição do volume; (b) foi recolhida uma alíquota de 40mL para realização das análises; (c) esta amostra foi filtrada, utilizando um filtro de 0,45 micros, para separação da fração de sedimentos suspensos; (d) após o preparo as amostras foram analisadas o mais rapidamente possível.

Para determinação das concentrações dos nutrientes foi utilizado um cromatógrafo de troca iônica da marca DIONEX AG4A, equipado com uma coluna de separação aniônica, um supressor e um detector de condutividade. As condições de injeção da amostra, temperatura, vazão de gás entre outras foram: Injeção da amostra: 10µL; Temperatura: 30°C; Taxa de fluxo: 1,2 mL.min.⁻¹; Efluente: Na₂CO₃ 4,5mM/NaHCO₃ 1,4mM; Detecção: condutividade; Supressor: aniônico auto regenerante; Solução estoque: NaHCO₃ 100mM; Corrente aplicada: 31 mA. As curvas de calibração foram realizadas com padrões obtidos junto a DIONEX, 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 total as amostras foram analisadas diretamente no analisador de carbono da marca (TOC) SHIMADZU. Para a determinação do pH foi utilizado um pHmetro (B474) da marca MICRONAUL.

Análise Estatística

As séries de concentrações dos nutrientes e carbono foram descritas em termos de suas características estatísticas, tais como valores médios, medianas, máximas e mínimas, correlações com as vazões escoadas, distribuição temporal e espacial. São realizadas comparações com os padrões de qualidade das águas estabelecidos pelas normas legais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta as características estatísticas das séries de concentrações de nutrientes e de carbonos obtidas nos eventos de cheias registrados na seção 3. Os valores das concentrações são comparados com os padrões estabelecidos pela Resolução n.º 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005) para corpos de águas de classe 2, no qual o sistema de drenagem superficial da bacia está enquadrado, de acordo com a Resolução 02/2008 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (SANTA CATARINA, 2008). Observa-se que os parâmetros pH, nitrito, nitrato, cloreto e sulfato encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela resolução. O restante dos parâmetros analisados não possuem padrões estabelecidos por esta resolução.

A concentração de íon H⁺ nas águas naturais é de grande importância nas reações químicas (PERCEBON, 2003). Nesta pesquisa, o parâmetro pH sempre se manteve em uma faixa de 6 a 7, sem sofrer muitas variações. Nota-se que 75% dos valores correspondem a 6,37 e 6,39, para o ANA e o AND, respectivamente.

A resolução CONAMA n.º 357/2005 considera o valor limite para o parâmetro nitrato de 10 mg.L⁻¹. Este parâmetro não ultrapassou os limites estabelecidos pela resolução, obtendo

Tabela 1 – Características estatísticas das séries de concentrações (mg L^{-1}) nos eventos de cheias na seção 3

Parâmetro	Mínima		Máxima		Mediana		3º quartil		Desvio Padrão		Padrão Classe 2
	ANA	AND	ANA	AND	ANA	AND	ANA	AND	ANA	AND	
pH	6,15	6,20	6,39	6,53	6,36	6,36	6,37	6,39	0,08	0,10	6,0 a 9,0
Nitrito	0,05	0,06	0,16	0,27	0,08	0,11	0,09	0,17	0,04	0,07	1,0
Nitrato	1,14	0,82	1,91	1,80	1,48	1,41	1,69	1,58	0,26	0,31	10,0
Fosfato	0,31	0,19	0,94	0,52	0,44	0,29	0,59	0,36	0,21	0,11	-
Acetato	1,26	1,31	3,65	2,53	1,77	2,14	2,27	2,20	0,83	0,39	-
Cloreto	2,21	1,89	3,28	3,31	2,64	2,47	3,16	2,63	0,44	0,46	250
Brometo	0,01	0,02	0,07	0,06	0,02	0,03	0,03	0,05	0,02	0,02	-
Sulfato	2,06	1,87	11,56	3,97	2,97	2,51	3,35	2,62	3,12	0,65	250
CI	4,41	4,35	5,26	5,60	4,84	4,79	4,97	4,99	0,28	0,40	-
COT	4,81	4,83	6,76	7,13	5,56	5,31	5,78	6,31	0,56	0,84	-

Tabela 2 - Concentração média dos parâmetros nos amostradores de nível ascendente e descendente

Seção	Nitrito	Nitrato	Fosfato	Acetato	Cloreto	Brometo	Sulfato	CI	COT
ANA (P1)	0,12	1,58	0,11	1,81	2,24	0,02	2,12	8,34	3,73
ANA (P2)	0,08	1,09	0,16	5,26	2,01	0,01	1,89	4,53	6,45
ANA (P3)	0,09	1,51	0,51	1,99	2,72	0,02	3,93	4,81	5,64
AND (P3)	0,14	1,42	0,31	2,01	2,47	0,04	2,63	4,82	5,66

variações para o ANA de 1,14 a 1,91 mgL^{-1} , e para o AND de 0,82 a 1,80 mgL^{-1} . Conforme Percebon (2003), o teor médio de nitratos, em rios pouco poluídos, é de 5,0 mgL^{-1} . Valores mais elevados foram encontrados por Oeurng et al. (2010), onde os valores máximos de nitrato obtidos nos eventos de cheia variaram de 8,2 a 41,1 mgL^{-1} , com uma vazão de 6,75 a 112,60 m^3s^{-1} . Neste caso, a área de drenagem pode ter ocasionado esta diferença, visto que a área analisada pelos autores corresponde a 1.110 Km^2 e a do estudo 30,74 Km^2 . O parâmetro nitrito, possui limites estabelecidos pela resolução citada de 1,0 mgL^{-1} . Os valores máximos obtidos para este parâmetro foram de 0,16 e 0,27 mgL^{-1} , para o ANA e o AND, respectivamente.

O parâmetro cloreto possui limite estabelecido pela resolução CONAMA n° 357/2005 de 250 mgL^{-1} . O valor máximo obtido foi de 3,31 mgL^{-1} . Conforme Percebon (2003) a irrigação de culturas com águas que possuem elevado teor de sais induz a uma crescente salinização do solo, onde estes componentes acabam se concentrando nas camadas superiores do solo, podendo ser lixiviado.

O parâmetro sulfato também não ultrapassou o valor limite de 250 mgL^{-1} . Este parâmetro obteve valor máximo de 11,56 mgL^{-1} obtido para o ANA na vazão 2,06 m^3s^{-1} , justificando assim o desvio padrão de 3,12 obtido para este amostrador.

Para o carbono orgânico total e o carbono inorgânico, a resolução não define valores limites. Os valores máximos obtidos para estes parâmetros foram de 7,13 mg L^{-1} para o COT e 5,60 mg L^{-1} para o CI. Estudos realizados nesta bacia, só que em análise de estiagem, apresentaram valores para CI de 4,650 a 6,827 mgL^{-1} e para COT 6,007 e 9,925 mgL^{-1} (Fath, 2009). Os valores máximos para as espécies químicas de carbono analisadas foram maiores para o AND.

Os amostradores de nível não revelaram significativas

diferenças entre a ascensão e a recessão do hidrograma, ou seja, os valores apresentados pelas características estatísticas das séries analisadas foram, geralmente, muito próximos do ANA e do AND.

A Tabela 2 apresenta as concentrações médias nas três seções. A análise das concentrações médias nas três seções permite avaliar o efeito da mudança de escala. Verifica-se que o efeito de escala espacial não é uniforme para todos os parâmetros. As concentrações médias do fosfato aumentam da montante para jusante da bacia, enquanto as concentrações médias dos parâmetros nitrito e nitrato apresentam comportamento inverso. O menor valor médio obtido para o nitrito e nitrato correspondem ao ponto 2, enquanto, para o ponto 1 e 3, no ANA, os valores foram próximos.

Observa-se que as concentrações médias de nutrientes são mais elevadas na ascensão do hidrograma de cheia do que na recessão. Para o carbono inorgânico, a média apresentada para o ponto 1 foi superior do ponto 2 e 3. Mas, apresentando um comportamento mais uniforme do ponto 2 ao 3. O carbono orgânico total apresentou um aumento de montante para jusante, porém o ponto 2 apresentou a média mais elevada.

Análise do comportamento no transporte de nutrientes e carbono

A Figura 2 apresenta as evoluções temporais das concentrações médias medidas nos amostradores de nível ascendente e descendente de nutrientes nas três seções monitoradas. O eixo “x” do ponto 3 representa o número dos amostradores, onde 1 ao 8 corresponde ao ANA e 9 ao 16 ao AND. Nota-se que as variações temporais das concentrações médias ao longo dos eventos de cheias são pouco expressivas. Trabalhos desenvol-

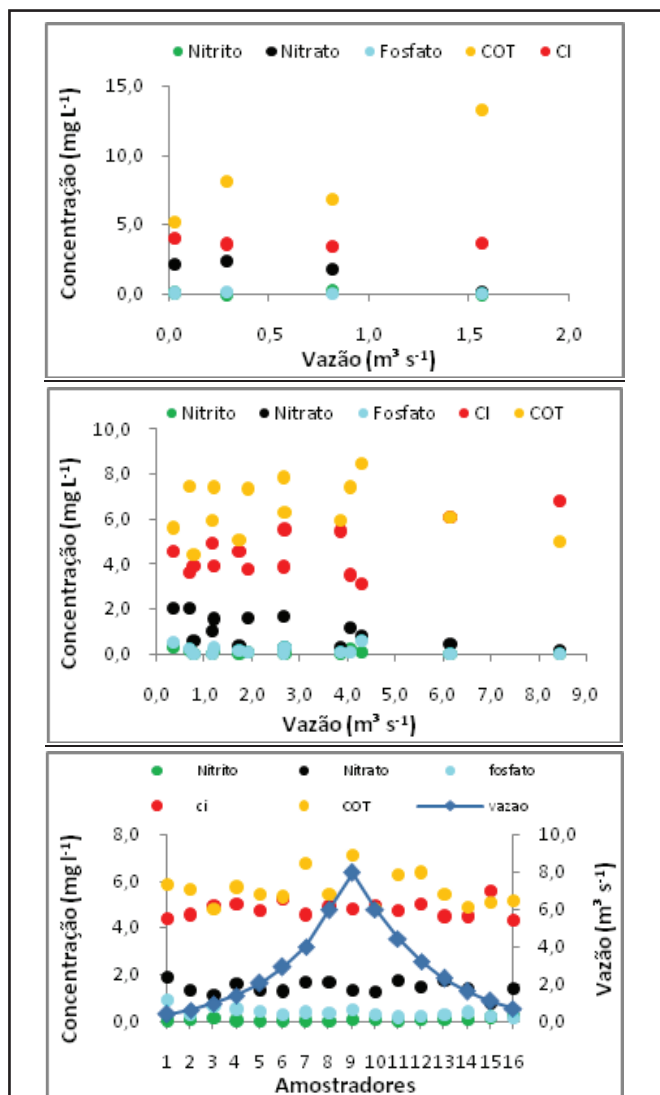


Figura 2 - Evolução temporal das concentrações médias dos nutrientes nos amostradores de nível ascendente e descendente. (A) Ponto1; (B) Ponto 2 e (C) Ponto 3

vidos em bacias urbanas e rurais em eventos de cheia (WIT; BENDORICCHIO, 2000; MOUHRI et al., 2008; LEE et al., 2013) mostram que as evoluções temporais das concentrações de nutrientes e de sedimentos aumentam com a ascensão do hidrograma e diminuem com a recessão do hidrograma, demonstrando contribuição mais significativa do escoamento superficial e/ou do aumento da contribuição crescente de montante para jusante da bacia.

Na bacia do ribeirão Concórdia, com pequenas e médias propriedades rurais, a agricultura familiar é bem distribuída. Desta forma, várias hipóteses podem ser levantadas para explicar estas evoluções temporais. Uma hipótese pode estar associada a uma contribuição uniforme das cargas difusas ao longo da bacia, de modo que as quantidades transportadas nas seções não sofrem variação temporal. Outra hipótese pode ser descrita pelo equilíbrio entre as entradas no sistema de drenagem fluvial e as perdas por sedimentação, assimilação ou transformações bioquímicas das espécies químicas. Ainda poderia ser considerada a hipótese de equilíbrio entre as contribuições dos escoamentos

superficiais e subterrâneos.

Porém constata-se um comportamento constante nos parâmetros de qualidade da água monitorados. O ponto 1 é a exceção observada para o comportamento do carbono orgânico total, o qual apresentou um comportamento crescente com o aumento da vazão. O ponto 3 é o único ponto que possui o AND e mesmo nestas condições demonstra um comportamento sem muita variação na concentração dos parâmetros analisados.

Evolução do pH

O pH influencia o equilíbrio de compostos químicos podendo afetar o comportamento das espécies químicas nas ondas de cheia analisadas. A Figura 3 apresenta a relação entre o valor de pH e a vazão correspondente. Observa-se uma tendência decrescente em todos os pontos monitorados, ou seja, os maiores valores de pH são obtidos na ascensão do hidrograma. Os coeficientes obtidos através da correlação dos valores de pH com a vazão foram mais elevados no ponto 1, apresentando um coeficiente de 0,6524. O ponto 2 apresentou o menor valor de coeficiente, de 0,3906.

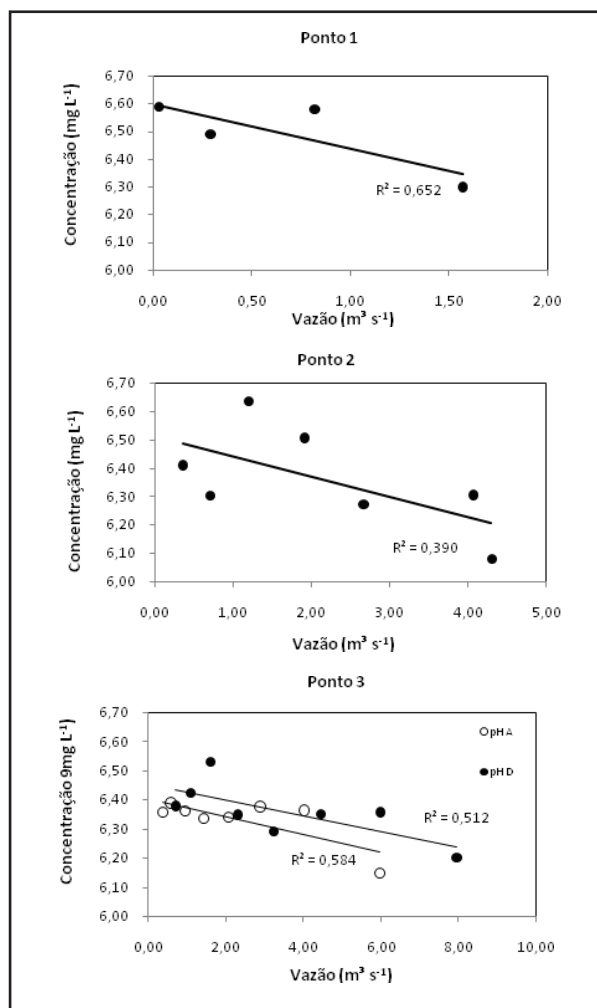


Figura 3 - Evolução do pH nas seções de monitoramento da bacia do ribeirão Concórdia

Relação entre concentração e vazão

Foram analisadas as relações entre as concentrações dos nutrientes e do escoamento nos eventos de cheia. A Tabela 3 apresenta a correlação da vazão com a concentração dos parâmetros analisados para todos os pontos de monitoramento.

Tabela 3 - Coeficiente de correlação entre a concentração e a vazão em eventos de cheias nos pontos de monitoramento

	Coeficiente de Correlação (R ²)				
	Nitrito	Nitrato	Fosfato	COT	CI
P1	0,143	0,878	0,554	0,783	0,155
P2	0,104	0,354	0,075	0,003	0,362
P3ANA	0,210	0,059	0,303	0,048	0,088
P3 AND	0,384	0,016	0,298	0,38	0,009

No ponto 1, o nitrato apresentou coeficiente de 0,878, indicando forte correlação com a vazão. O COT e o fosfato apresentaram coeficientes de 0,783 e 0,554, respectivamente. Este ponto foi responsável pelos maiores valores de coeficientes obtidos no monitoramento. Somente apresentou baixa correlação para os parâmetros nitrito (0,143) e CI (0,155).

No ponto 2, o nitrato e o carbono inorgânico apresentaram os maiores coeficientes, 0,354 e 0,362, respectivamente. É observado que os coeficientes obtidos, apesar de serem os maiores encontrados nesta seção, demonstraram fraca correlação entre a vazão e as concentrações analisadas. Os parâmetros nitrito, fosfato e COT apresentaram fraca ou nenhuma correlação com a vazão. O nitrato, nitrito e o fosfato demonstraram uma tendência de diminuição com o aumento da vazão.

O ponto 3 apresenta dois comportamentos. Um na ascensão do hidrograma e outro na recessão do hidrograma. A correlação da vazão com a concentração de nutrientes demonstrou comportamento similar no ANA e no AND, não apresentando diferença significativa quando observado o mesmo parâmetro. Somente para o parâmetro COT houve diferença significativa entre a ascensão e a recessão do hidrograma. Este comportamento permite dizer que a vazão não é um interferente significativo no comportamento destas espécies químicas, devido aos baixos coeficientes obtidos. Tanto o parâmetro fosfato como o nitrito, apresentaram os maiores valores de concentrações no início do hidrograma. Fato este, podendo estar ligado ao transporte de sedimentos no início da precipitação.

O fosfato é resultante da decomposição do fósforo orgânico, o qual encontra-se aderido as partículas do solo. As espécies químicas aderidas aos sedimentos não foram quantificados na análise efetuada no cromatógrafo de troca iônica. De uma maneira geral, observa-se que o parâmetro fosfato apresentou correlação com a vazão no ponto 1 e 3. A tendência de diminuição do fosfato pode estar associada ao transporte de sedimentos pelo escoamento superficial. Conforme Kato et al. (2009), o efeito do aumento da vazão diminui a concentração do fosfato, provavelmente devido a seu transporte estar associado ao material particulado. Outros autores também encontraram esta relação, onde citam que grande parte do fosfato presente na superfície do solo é transportado ligado ao sedimento durante os eventos de cheia (MEYNENDONCKX et al., 2006;

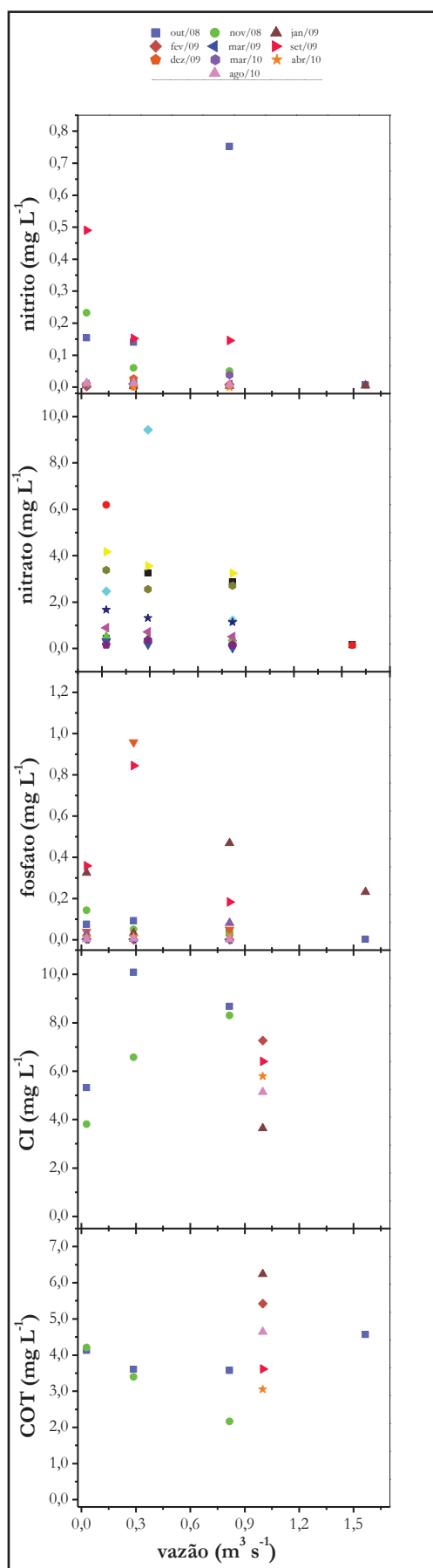


Figura 4 - Concentração e vazão nos eventos registrados na seção 1.

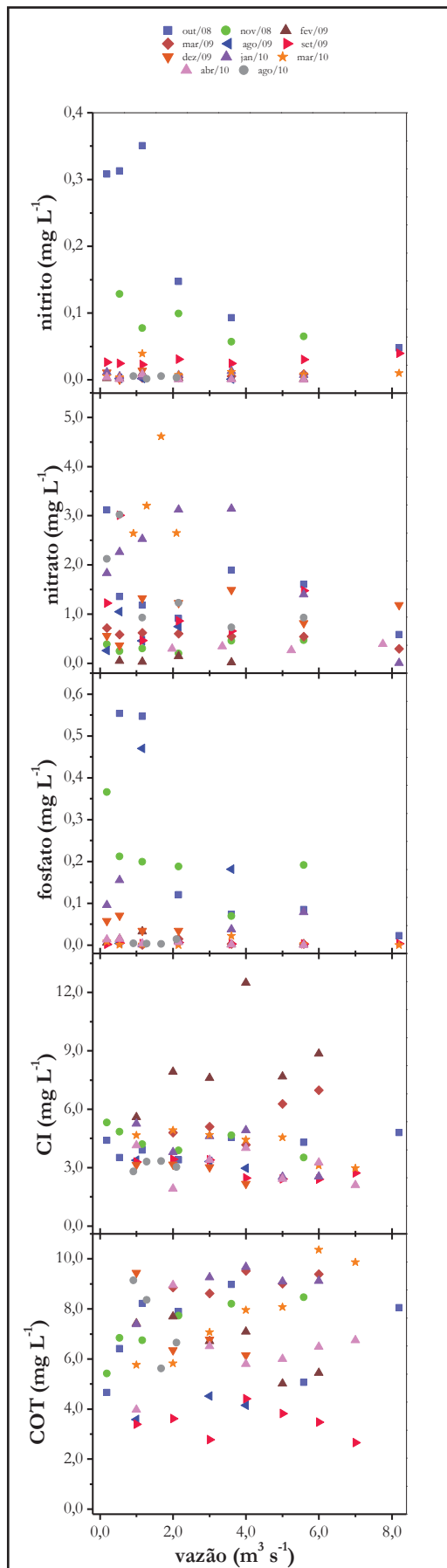


Figura 5 - Concentração e vazão nos eventos registrados na seção 2

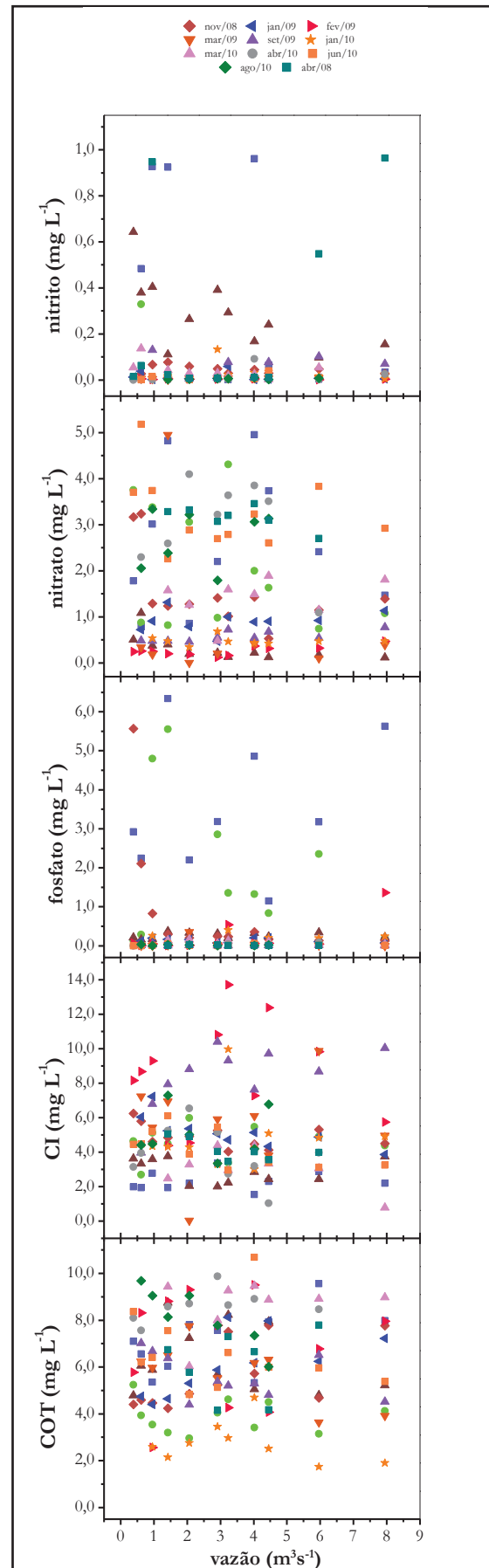


Figura 6 - Concentração e vazão nos eventos registrados na seção 3

MAROTTA et al., 2008).

O nitrato, apesar de o comportamento ser similar em todas as seções monitoradas, apresentou fraca correlação com a vazão, variando o R^2 de 0,104 à 0,384. O nitrato também apresentou fraca correlação com a vazão, mas somente no ponto 3 e 2. O nitrato pode ser explicado devido a diluição provocado pelo escoamento superficial. O nitrato é solúvel e facilmente transportado no perfil do solo de modo que durante a ocorrência do escoamento superficial, a quantidade transportada na superfície do solo é reduzida. Conforme Malta (2009), as formas nítricas apresentam dificuldades para serem fixadas as partículas do solo permanecendo em solução e podendo ser facilmente lixiviadas.

A forte correlação indicada para o ponto 1 (R^2 igual a 0,878) é provavelmente devido à agentes externos, como aplicação de fertilizantes, descargas orgânicas de animais, entre outros. Segundo Bruland et al. (2008) a exportação de nitrogênio em forma de nitrato e nitrito é associada a fatores como a aplicação de fertilizantes e ao preparo do solo.

Para as espécies químicas de carbono analisadas foi observado que o COT e o CI possuem comportamento contrário nos eventos analisados. O parâmetro COT teve suas concentrações menores nos períodos de menores vazões para o ponto 1. Neste ponto ele obteve o maior índice de correlação, 0,7832. Contudo para o restante dos pontos ele apresentou um comportamento mais constante.

O CI apresentou comportamento constante nos pontos 1 e 3, sendo que o ponto 3 não apresentou nenhuma relação com a vazão (R^2 : 0,009 e 0,088), e o ponto 1 uma fraca correlação (R^2 : 0,155). Para o ponto 2, o índice obtido foi maior (R^2 : 0,363), revelando o mesmo comportamento do COT, onde as concentrações são menores na medida que a vazão diminui.

O carbono em corpos hídricos pode ser encontrado associado ao material particulado. Esta análise corrobora com o argumento de Veum et al. (2009), o qual cita que tanto COT como CI são influenciados pelo escoamento superficial, justificando que a medida que diminui o escoamento superficial diminui também a concentração. Os autores ressaltam ainda que a química do solo e outras propriedades físicas podem influenciar o escoamento e as perdas de carbono. A relação do carbono parece ser mais dependente de sua disponibilidade do solo, o que pode justificar a baixa relação com o ponto 3 e a fraca relação com os pontos 1 e 2.

Interferência do uso do solo

Visando identificar possíveis interferências do uso do solo na bacia do ribeirão Concórdia, na Figura 4 é apresentada uma relação entre a concentração e a vazão em todo o período monitorado, mês a mês, para o ponto 1. Relacionando a quantidade de nutrientes transportados pelo volume de água escoado é possível notar que alguns meses possuem maiores concentrações do que outros. Isto pode indicar possíveis interferências realizadas na bacia, visto que se trata de uma bacia agrícola, a qual esta submetida a diferentes atividades de manejo do solo. O parâmetro nitrito apresentou concentrações elevadas nos meses de outubro e novembro de 2008 e setembro de 2009. O

parâmetro nitrato apresentou maiores concentrações nos meses de outubro e novembro de 2008, dezembro e janeiro de 2009, agosto e abril de 2010. O parâmetro fosfato apresentou maiores concentrações nos meses dezembro, setembro e janeiro de 2009. Para os parâmetros COT e CI quase todos os meses apresentaram algum valor de concentração, mantendo um comportamento constante, sem indicar interferência do uso do solo.

Para o ponto 2 (Figura 5), os meses agosto e abril de 2010 apresentaram maiores concentrações para o parâmetro nitrato, enquanto o parâmetro nitrito resultou em concentrações mais elevadas nos meses de outubro e novembro de 2008. Os meses de outubro de 2008 e agosto de 2009 foram mais expressivos para as concentrações de fosfato. As espécies químicas de carbono foram marcadas por maiores concentrações nos meses de fevereiro e março, para CI, e janeiro e março para COT. Contudo o parâmetro COT revelou um comportamento constante, podendo não estar ligado com as variações sazonais ocorridas na bacia.

Para o ponto 3 (Figura 6) os meses de maio, outubro e abril de 2008, apresentaram maiores valores médios para as concentrações de nitrito. Já os meses de março de 2008 e abril de 2010, para nitrato. O carbono sofre bastante oscilações, obtendo somente alguns picos mais expressivos em relação aos outros meses, indicando que este parâmetro não é alterado conforme as mudanças de uso do solo. Para as concentrações médias de fosfato, os meses de abril e maio revelaram os maiores resultados, sendo que existem alguns picos para o mês de outubro de 2008.

Constata-se que os períodos de maiores concentrações coincidem com a maior atividade no manejo e uso do solo na bacia, onde nos meses de abril e maio de cada ano os produtores rurais preparam o solo para o plantio de hortaliças e pastagem de inverno. Os parâmetros de nitrito e nitrato apresentaram valores elevados para estes dois períodos. A área também é preparada para o plantio de tabaco e cereais a partir da segunda quinzena de agosto, sendo que o plantio vai até o final de setembro e início de outubro. Os parâmetros nitrito, nitrato e fosfato também apresentaram valores elevados para estes períodos.

Na bacia do ribeirão Concórdia os agricultores, na implantação de suas lavouras, utilizam fertilizantes fosfatados e nitrogenados podendo este fato explicar as maiores concentrações obtidas nestes períodos. A intensa movimentação do solo no preparo da terra ocasiona o arraste dos sedimentos para os corpos de água podendo transportar os poluentes associados a ele. Outro fato a destacar foram as precipitações intensas ocorridas nos meses de outubro e novembro do ano de 2008. Este evento ocasionou o maior transporte de sedimentos e também elevou as concentrações nas seções analisadas. Isso pode explicar a incidência deste mês para os parâmetros de nitrito, nitrato e fosfato. Conforme Zonta et al. (2005), o aumento da vazão geralmente é acompanhado por alterações na concentração de sedimentos, resultando em um aumento das cargas de poluentes.

CONCLUSÕES

Pela análise pode-se observar que não existe diferença marcante entre as seções de monitoramento. Este resultado

permite concluir que as cargas específicas da bacia do ribeirão Concórdia são distribuídas uniformemente ao longo da bacia devido aos processos atuantes na bacia hidrográfica.

A análise de ascensão e recessão do hidrograma revelou que as maiores concentrações médias são obtidas nos amostradores de nível ascendente, apesar destes mostrarem resultados próximos aos amostradores de nível descendente.

O aumento da vazão durante os eventos de cheia diminuem as concentrações de fosfato, nitrato e nitrito. A fraca correlação destes com a vazão pode ser explicada pela mobilidade no solo e lixiviação do nitrito e nitrato, enquanto que o fosfato apresenta-se ligado aos sedimentos. Para as concentrações de carbono estes parecem ser mais influenciados pela sua disponibilidade no solo.

A influência do uso do solo, em período de cheias, foi identificada para as concentrações de fosfato, nitrato e nitrito, as quais coincidem com a maior atividade de manejo e uso do solo, ficando associados com o cultivo agrícola e seus tratamentos culturais realizados na bacia do ribeirão Concórdia. Estes dados assumem significativa importância no estabelecimento de políticas de gestão eficazes na busca de um melhor gerenciamento na bacia hidrográfica.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao MCT/FINEP/CT-Hidro-CNPq, edital 04/2005 Bacias Representativas, convênio 3490/05 e MCT/FINEP/AÇÃO TRANSVERSAL - Previsão de Clima e Tempo 04/2008, convênio 1406/08, pelo financiamento da pesquisa e, à CAPES pelas bolsas de mestrado.

REFERÊNCIAS

BOWES, M.J.; HOUSE, W.A.; HODGKINSON, R.; LEACH, D.V. "Phosphorus-discharge hysteresis during storm events along a river catchment: the River Swale, UK". *Water Research*, v.39, p. 751-762, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, 17 mar. 2005.

BRULAND, G.L.; BLISS C.M.; GRUNWALD, S.; COMERFORD, N.B.; GRAETZ, D.A. "Soil nitrate-nitrogen in forested versus non-forested ecosystems in a mixed-use watershed". *Geoderma*, v.148, pp. 220-231, 2008.

FATH, G. *Distribuição espacial e temporal de nutrientes e carbono nas bacias dos ribeirões Concórdia e Garcia* – SC. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau, 2009.

HAUPT, J. P. O. *Metodologia para avaliação do potencial de produção de poluição difusa: estudo de caso da bacia do rio Jundiá*. 2009. Dissertação (Mestrado) - Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.

KATO, T.; KURODA, H.; NAKASONE, H. Runoff characteristics of nutrients from an agricultural watershed with intensive livestock production. *Journal of Hydrology*, p. 79-87, 2009.

LEE, T, T.-Y.; HUANG, J.-C.; KAO, S.-J.; TUNG, C.-P. Temporal variation of nitrate and phosphate transport in headwater catchments: the hydrological controls and land use alteration. *Biogeoscience* v.10, p. 2617-2632, 2013.

MAROTTA, H.; PINHO, L.; ENRICH-PRAST, A. Relação positiva entre pluviosidade, carbono orgânico dissolvido e a supersaturação de CO₂ em uma lagoa costeira tropical. *Ecologia Brasileira*, v. 12, n. 1, p. 92-99, 2008.

MEYNENDONCKX, J.; HEUVELMANS, G.; MUYS, B.; FEYEN, J. Effects of watershed and riparian zone characteristics on nutrient concentrations in the River Scheldt Basin. *Paper Hydrology Earth System Science*, 3, p. 653-679, 2006

MOUHRI, A.; MOTELAY-MASSEI, A.; MASSEI, N.; FOURNIER, M.; LAIGNEL, B. Polycyclic aromatic hydrocarbon transport processes on the scale of a flood event in the rural watershed of Le Bebec, France. *Chemosphere*, v.73, p.443-450, 2008.

MALTA, L. R. D. S. *Simulação do balanço e transporte de nitrogênio e fósforo provenientes de dejetos animais aplicados em áreas agrícolas. Estudo de caso: bacia do rio Toledo - Paraná - Brasil*. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

OEURNG, C.; SAUVAGE, S.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J.-M. Temporal variability of nitrate transport through hydrological response during flood events within a large agricultural catchment in south-west France. *Science of the Total Environment*, p. 140-149, 2010.

PARANHOS, R. M.; SARTORI, A.; PAIVA, J. B. D. Amostrador de sedimentos em suspensão de nível descendente - Desenvolvimento e avaliação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 5., São Paulo. *Anais...* São Paulo, p.139-146, 2002.

PERCEBON, C. M. *Influência de processos naturais e tecnológicos na qualidade das águas superficiais de Blumenau* – SC. 2003. 181f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial urbano. In: TUCCI, C. E. M. et al. *Drenagem urbana*, Porto Alegre: Editora da Universidade/ UFRGS, 1995. 238p.

PORTO, M. F. A.; HAUPT, J. P. O. "Carga difusa de poluição gerada em áreas urbanas." In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 8, São Luís: ABRH, 2004.

QUILBÉ, R.; ROUSSEAU, A. N.; DUCHEMIN, M.; POULIN, A.; GANGBAZO, G.; VILLENUEVE, J.P. Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams:

Application to the Beauvillage River (Québec, Canadá). *Journal of hydrology*, p. 1-16, 2006.

SHARPLEY, A.N.; SIMS, T.D.; LEMUNYON, J.; STEVENS, R.; PARRY, R. Agricultural Phosphorus and Eutrophication, second edition. United States Department of Agriculture. *Agricultural Research Service*, 2003. 149p.

VEUM, K.S.; GOYNE, K.W.; MOTAVALLI, P. P; UDAWATTA, R. P. Runoff and dissolved organic carbon loss from a paired-watershed study of three adjacent agricultural watersheds. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 130, p. 115–122, 2009.

WIT, M. D.; BENDORICCHIO, G. Nutrient fluxes in the Po Basin. *Science of the total environment*, v. 273, p. 147-161, 2001.

ZONTA, R.; COLLAVINI F; ZAGGIA, L.; ZULIANI, A. The effect of floods on the transport of suspended sediments and contaminants: A case study from the estuary of the Dese River (Venice Lagoon, Italy). *Environment International*, v.31, p. 948 – 958, 2005.