

## **AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO DIFUSA EM BACIAS SEMI-URBANAS UTILIZANDO AMOSTRAGEM AUTOMÁTICA INTELIGENTE**

*Patrícia Dall' Agnol*<sup>1\*</sup> & *Sérgio Michelotto Braga*<sup>2</sup> & *Artur Sass Braga*<sup>3</sup> & *Cristovão V. Scapulatempo Fernandes*<sup>4</sup> & *Tamiris Kostianovicz*<sup>5</sup>

**Resumo** – O desenvolvimento e aprimoramento de estudos que compreendam holisticamente os efeitos e o comportamento da poluição difusa em bacias hidrográficas são de grande importância para estimar a carga transportada, os poluentes carregados e os efeitos na qualidade da água. Porém essas pesquisas sofrem algumas limitações, em especial no que concerne ao método de amostragem e caracterização dos eventos de precipitação que contribuem com a poluição difusa. Deste modo, o projeto desenvolvido pela equipe do Laboratório de Monitoramento Eletrônico do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos de Ambiental – PPGERHA possibilitou que eventos pluviométricos pudessem ser registrados pelo processo de amostragem automática inteligente. Aplicado em um ponto na sub Bacia do Rio Barigui, localizado nas proximidades de Curitiba – PR, as amostras coletadas por esse método foram analisadas laboratorialmente a fim de verificar a relação entre os eventos de poluição difusa e a qualidade da água. Os resultados demonstraram que é possível relacionar hidrogramas com as concentrações de poluentes carregados por uma seção do rio. Sendo relevante a extrapolação do método de amostragem inteligente para outras bacias hidrográficas com o objetivo de avaliar a qualidade da água e a carga transportada por um evento de poluição difusa.

**Palavras-Chave** – Poluição difusa, sensores eletrônicos e sedimentos.

## **DIFFUSE POLLUTION ASSESSMENT IN SEMI-URBANS WATERSHEDS BASED ON AUTOMATIC SMART SAMPLING**

**Abstract** – The development and improvement of studies that holistically understand the effects and behavior of diffuse pollution in river basins are of great importance to estimate the pollutants load and the effects on water quality. But these studies carry on some limitations most related to sampling and characterization of precipitation that contribute to diffuse pollution. Thus, this project developed by the staff of Electronic Monitoring Laboratory of the Graduate Program in Water Resources Engineering Environmental - PPGERHA enabled rainfall events could be recorded by automatic intelligent sampling process. Applied at a point in the sub Barigüi River Basin, located near Curitiba - PR, samples collected by this method were analyzed in a laboratory to check the relationship between the events of diffuse pollution and water quality. The results showed that it is possible to relate hydrograph to concentrations of pollutants washed down by a section of the river.

**Keywords** – Diffuse Pollution, automatic sensors, sediments

<sup>1\*</sup> Bolsista de Iniciação Científica, Universidade Federal do Paraná – Departamento de Hidráulica e Saneamento, patricia.dall@gmail.com

<sup>2</sup> Mestre, Professor Assistente, Universidade Federal do Paraná – Departamento de Hidráulica e Saneamento, sergio.dhs@ufpr.br

<sup>3</sup> Físico, Mestrando, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - UFPR, arturbra@ufpr.br

<sup>4</sup> PhD, Professor Associado, Universidade Federal do Paraná – Departamento de Hidráulica e Saneamento, cris.dhs@ufpr.br

<sup>5</sup> Técnico, Universidade Federal do Paraná – Departamento de Hidráulica e Saneamento, tamiris@ufpr.br

## INTRODUÇÃO

Os mecanismos de transporte de poluentes por via difusa em rios urbanos e semi urbanos são pouco conhecidos no Brasil. Estes processos precisam ser compreendidos uma vez que estudos em outros países demonstram que quando são controladas as fontes pontuais de poluentes, o aporte por via difusa é responsável por cerca de 50% dos casos nos quais as águas naturais não atendem de padrões legais de conformidade (Novotny, 2004).

O aporte de poluentes em corpos hídricos é um fenômeno observado inclusive em bacias que sofreram pouca ou nenhuma intervenção humana, mas pode ser intensificado pela ação antrópica e por eventos de precipitação. No caso da poluição difusa, a principal dificuldade para a realização de estudos no Brasil decorre da própria amostragem, que precisa ser realizada durante eventos de cheia para que se possa estimar adequadamente a quantidade de poluentes que é carregada para dentro dos rios durante a ocorrência de escoamento superficial. Neste sentido, é necessário fazer coincidir a coleta de amostras com a evolução aleatória dos eventos pluviométricos, coleta esta que precisa ser realizada, geralmente, em regiões remotas e ao longo de várias horas.

O uso de amostradores automáticos torna-se imperativo, mas impõe dificuldades de programação, uma vez que os equipamentos não substituem a observação humana. Decisões sobre os parâmetros de amostragem precisam levar em conta a duração e a intensidade dos eventos que ocorrem na seção para que as amostras coletadas possam coincidir ao menos em alguns casos, com os hidrogramas dos eventos.

Dificuldades no ajuste dos parâmetros de amostragem levaram à idealização de um sistema adaptativo, capaz de corrigir estes parâmetros durante o desenrolar dos eventos, de forma a melhorar o desempenho da amostragem.

Este artigo apresenta os primeiros resultados de um experimento realizado pela equipe do Laboratório de Monitoramento Eletrônico do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos de Ambiental – PPGERHA - na Bacia do Rio Barigui, nas proximidades de Curitiba – PR, no qual um processo de amostragem adaptativo – ora denominado *amostragem inteligente* foi utilizado com sucesso.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização da Área de Estudo

O rio Barigui compõe a sub bacia com este mesmo nome possui suas nascentes em Almirante Tamandaré e sua foz no rio Iguaçu, entre Curitiba e Araucária (figura 1A) . Trata-se de uma sub bacia semi urbanizada que atravessa regiões parcialmente preservadas e corta a município de Curitiba - PR, tendo assim uma ocupação bastante diversificada. Ao longo de sua extensão, o rio cruza regiões industrializadas, áreas de extração mineral, aterros sanitários, lixões, cemitérios e áreas agrícolas com uso de fertilizantes. Possui pouca vegetação densa, já que grande parte da sub bacia está em áreas urbanizadas e, além disso, atravessa regiões com ocupações irregulares, o que em alguns pontos pode ser sinal de lançamentos clandestinos de efluentes domésticos (Froehner, 2008).

O ponto adotado para a instalação do equipamento de coleta e de armazenamento de dados é denominado P1 (figura 1-B). Localizado na região urbana do município de Almirante Tamandaré,

na porção mais ao norte da bacia, encontra-se em região mais bem preservada, e drena cerca de 44km<sup>2</sup> ocupando cerca de 10% são de área urbanizada.

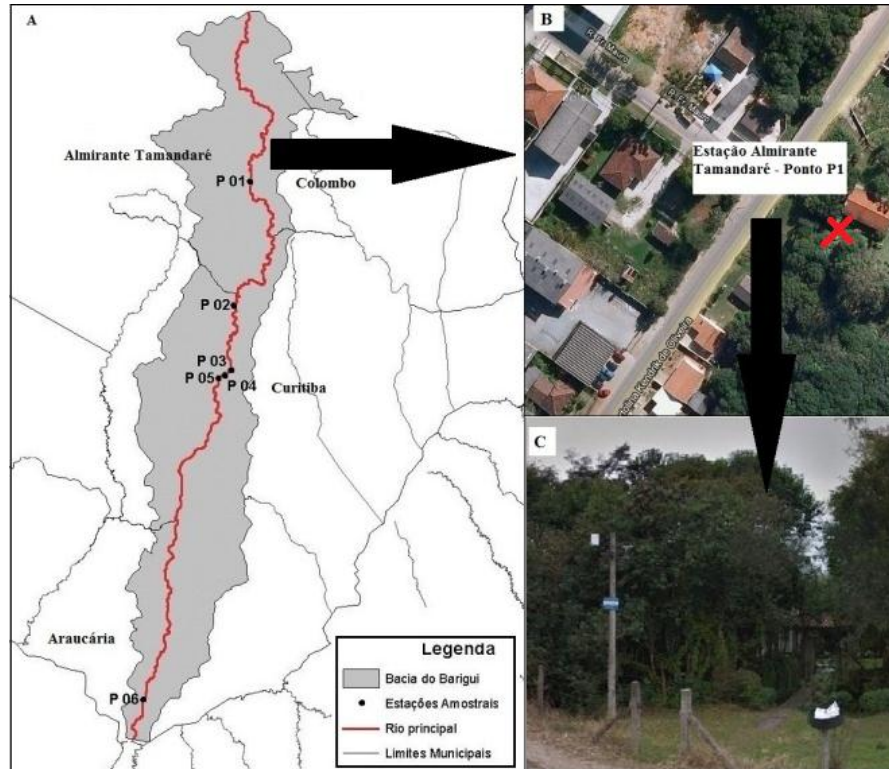


Figura 1- A) Mapa da Bacia do Barigui e sua localização no estado do Paraná. B) Localização da estação Almirante Tamandaré ponto P1. C) Local de instalação dos sensores e dos equipamentos de amostragem. (Fonte adaptada de Froehner).

### Critérios da Seleção da Seção

Para a escolha da seção foram considerados diversos fatores. O ponto P1 já possuía uma estação hidroambiental, composta de um datalogger da marca *Waterlog* modelo H-500-L, um pluviômetro de balsa da mesma marca, modelo H-340 e um sensor de nível *Druck* PTX-1830. Além disso, era necessário um local seguro e de fácil acesso para que o amostrador automático ISCO 6712 e o equipamento de armazenamento de dados pudessem ser alocados (figura 1C). Trata-se de uma seção curva, turbulenta, com pedras no fundo, o que impede a formação de zona de estratificação vertical, bem como permite uma adequada homogeneização da água viabilizando a coleta em um único ponto fixo da seção.

### Coleta das Amostras

A programação do de comando da amostragem foi desenvolvido pela equipe responsável pelo monitoramento eletrônico. O datalogger da estação foi programado para detectar o início de um evento de interesse quando a uma variação de nível na seção de >5 cm em um intervalo <=10 min, sendo ajustado para efetuar leituras a cada 2,5 min. Uma vez detectado o início do evento, o programa passava a comandar coletas de amostras sucessivas quando novas mudanças de nível de alcançavam um patamar mínimo de 10 cm.

A interface foi programada para coletar 1 L em cada ponto analisado, uma vez que o amostrador possui capacidade de armazenamento de 24 garrafas de 1 L. Esta configuração possibilitou registro maior da quantidade de pontos e eventos (figura 2A e 2B). A coleta das amostras utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada entre os meses de fevereiro de 2012 e março de 2013 na estação hidroambiental de Almirante Tamandaré, totalizando 24 eventos.

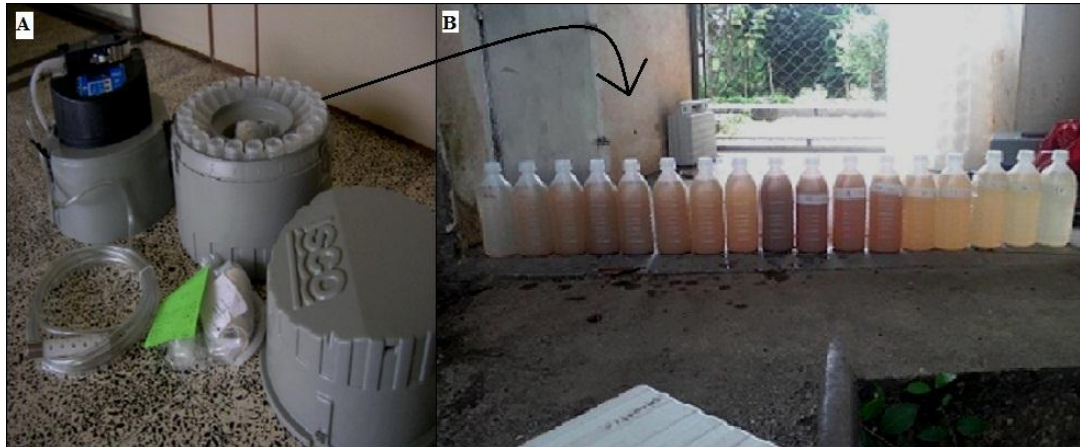


Figura 2 -A) Amostrador automático ISCO. B) Variação da coloração nas amostras após coleta.

## Metodologia Laboratorial

As amostras de água coletadas foram analisadas no Laboratório de Engenharia Ambiental Francisco Borsari Neto - LABEAM, do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Paraná seguindo os procedimentos laboratoriais descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). Os seguintes parâmetros de qualidade da água foram analisados: carbono total dissolvido; carbono orgânico dissolvido; carbono inorgânico dissolvido; demanda química de oxigênio; concentrações de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis; sólidos suspensos totais, suspensos fixos e suspensos voláteis; sólidos dissolvidos totais, dissolvidos fixos e dissolvidos voláteis; sólidos sedimentáveis; turbidez; pH e condutividade. Sendo as concentrações de sólidos os dados de interesse deste trabalho já que esta variável interfere nos demais parâmetros e no caso do rio Barigui, que tem sua foz localizada no lago Barigui, é de suma importância estimar a carga transportada ao longo da seção a fim de quantificar a carga que pode levar ao assoreamento da foz.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentre os eventos registrados, aquele que ocorreu entre os dias 10 e 12 de fevereiro de 2012 foi escolhido ser apresentado em mais detalhes. Nas figuras 3, 4 e 5 são apresentados o hidrograma do evento; as concentrações para Sólidos Totais, Sólidos Suspensos Totais e Sólidos Dissolvidos Totais e as concentrações de Carbono Dissolvido e DQO, respectivamente.

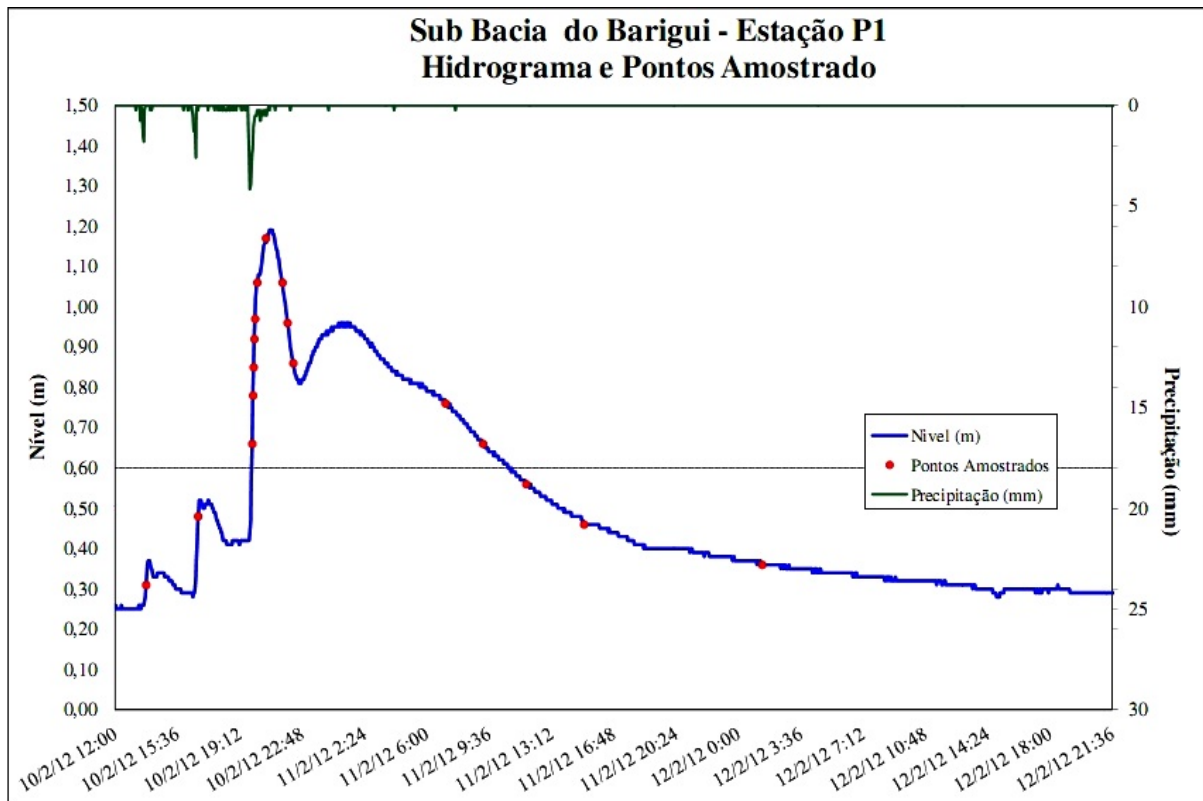


Figura 3 - Variação de nível (m) durante a ocorrência do evento.

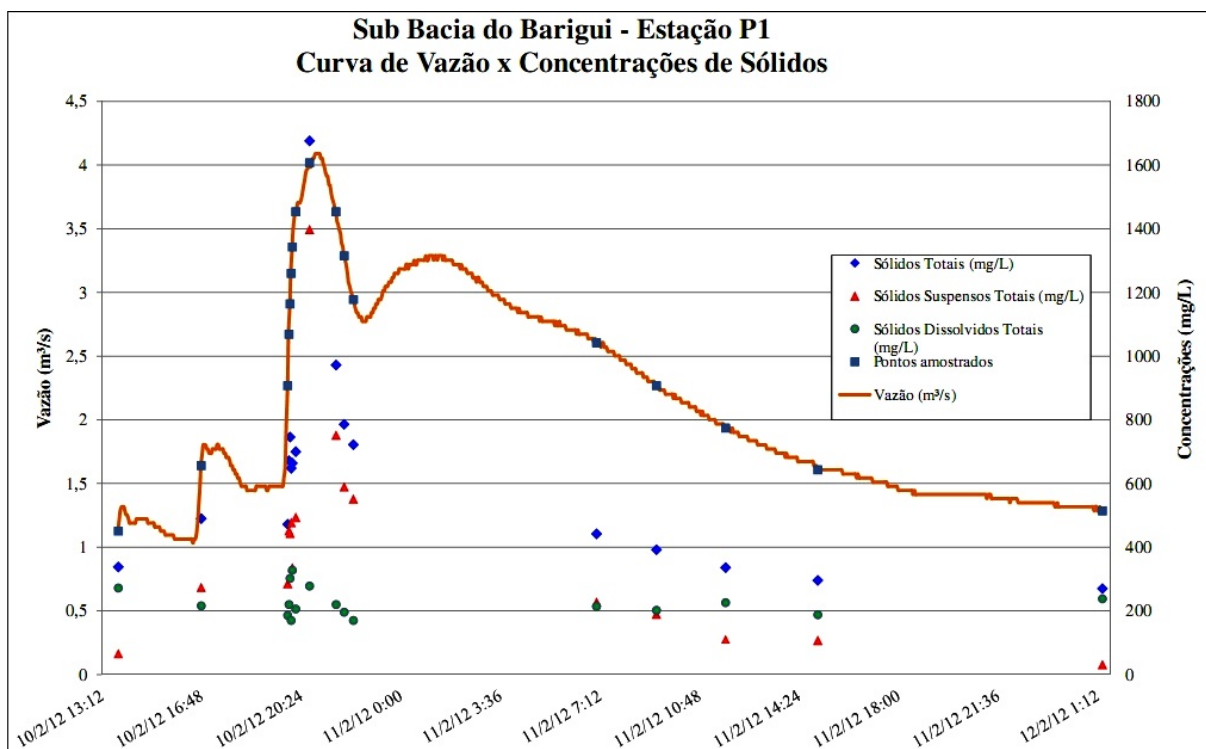


Figura 4 - Concentrações de sólidos nas amostras.

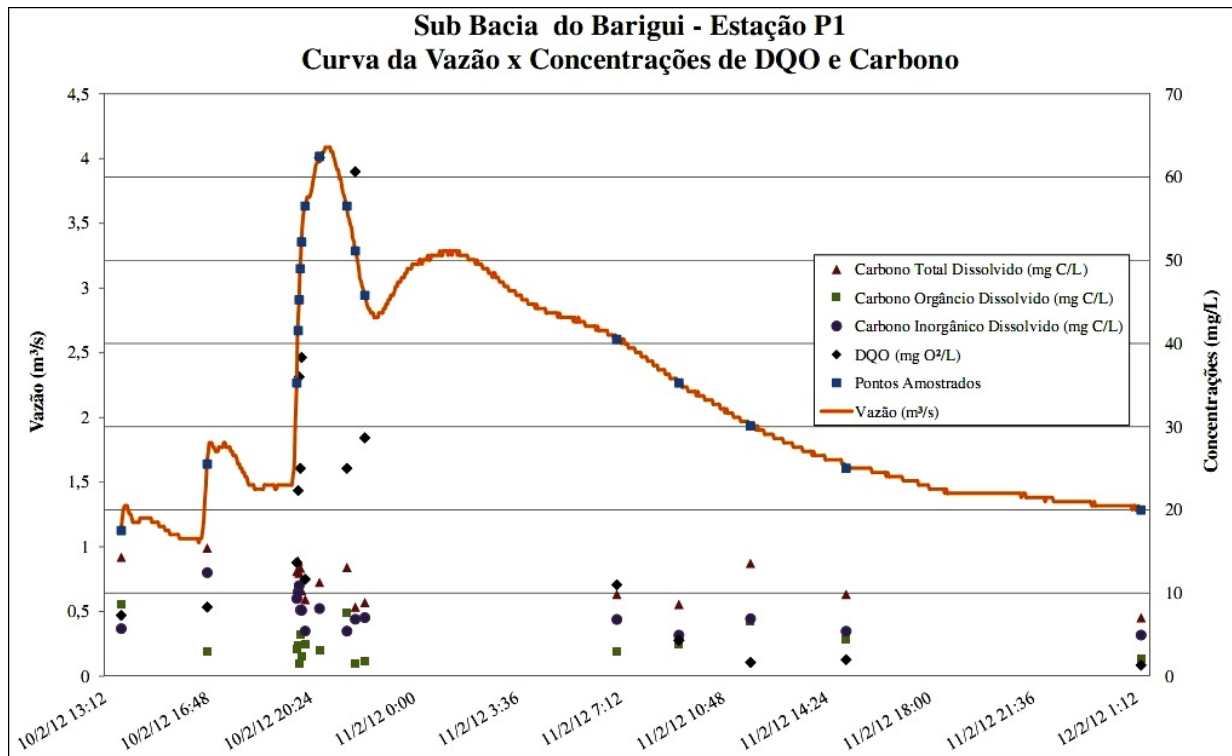


Figura 5 - Concentrações de carbono e DQO nas amostras coletadas.

No hidrograma do evento, que teve duração de cerca de 40 horas, é possível observar a relação esperada de convergência entre os máximos de precipitação e o pico de vazão. Verificou-se que a metodologia de amostragem inteligente se mostrou adequada, visto que o primeiro ponto coletado de fato se deu no início do evento e uma boa distribuição das amostras ao longo do evento foi obtida.

Além disso, no histograma citado, é possível notar a ocorrência de um segundo pico para a vazão que não acompanha a precipitação. Como este comportamento é recorrente em vários outros eventos registrados na estação, pode-se supor que essa discordância pode ter sido ocasionada pela ocorrência de precipitação na região a montante mais afastada da seção, a qual é predominantemente rural o que explicaria o maior tempo de resposta observado para o segundo pico da vazão.

As concentrações de carbono orgânico e inorgânico podem representar algumas características específicas da bacia hidrográfica. Os resultados para esses parâmetros demonstram muito bem esta situação. A seção estudada localiza-se em uma região de extração mineral, sendo possível explicar a superação da concentração de carbono inorgânico em relação a parcela orgânica.

Porém em alguns pontos a relação entre DQO e COD não é constante, indicando a superestimação ou subestimação de um parâmetro em relação ao outro. Tendo em vista que a DQO, pode resultar em dados com discrepância de até 20% STANDARD, (1998), este parâmetro poderia estar contribuindo com a superestimação ou subestimação dos resultados.

As leituras de nível foram transformadas em vazão por meio da curva chave da seção Eq. (1). Os valores obtidos foram utilizados para o cálculo da Concentração Média do Evento (EMC) de acordo com a Eq (2). Resultados para todos os parâmetros analisados são apresentados na Tabela 1 apresenta os resultados médios do evento para todos os parâmetros analisados. Para a obtenção da

concentração média do evento (EMC) em cada análise utiliza-se a Eq.(2) informando os valores das concentrações obtidas analiticamente, as vazões calculadas e o intervalo de duração do evento.

$$Q = 3,1517 \times (h + 0,07941)^{1,0907} \quad (1)$$

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^{t_r} C_t Q_t dt}{\int_0^{t_r} Q_t dt} \cong \frac{\sum C_t Q_t \Delta t}{\sum Q_t \Delta t} \quad (2)$$

Tabela 1 – Concentração média do evento para cada parâmetro analisado.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
pH	7,7	Sólidos Suspensos Totais (mg. L <sup>-1</sup> )	226,9
Turbidez (NTU)	564,3	Sólidos Suspensos Fixos (mg. L <sup>-1</sup> )	122,2
Condutividade (µS)	104,2	Sólidos Suspensos Voláteis (mg. L <sup>-1</sup> )	104,7
Sólidos Totais (mg. L <sup>-1</sup> )	763,4	Sólidos Sedimentáveis (ml. L <sup>-1</sup> )	1,5
Sólidos Totais Fixos (mg. L <sup>-1</sup> )	574,3	Carbono Total Dissolvido (mg C. L <sup>-1</sup> )	11,1
Sólidos Totais Voláteis (mg. L <sup>-1</sup> )	189,2	Carbono Orgânico Dissolvido (mg C. L <sup>-1</sup> )	3,6
Sólidos Dissolvidos Totais (mg. L <sup>-1</sup> )	563,6	Carbono Inorgânico Dissolvido (mg C. L <sup>-1</sup> )	7,5
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg. L <sup>-1</sup> )	452,0	DQO (mg O <sub>2</sub> . L <sup>-1</sup> )	28,4
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg. L <sup>-1</sup> )	84,5		

Os resultados para os sólidos merecem destaque especial, pois quando carregados em elevadas concentrações podem causar o assoreamento da foz, além de abrigar microorganismos; transportar pesticidas e outras substâncias tóxicas (Braga *et al.* 2002). No caso do rio Barigui, há a preocupação com o assoreamento e o acúmulo de poluentes no lago do Parque Barigui, localizado a jusante da seção estudada, em Curitiba, e que é um dos cartões postais da cidade.

Apenas durante o evento em questão, considerando que o escoamento totalizou 322.000 m<sup>3</sup>, passaram pela seção cerca de 244 toneladas em sólidos totais, 60 das quais em material volátil. Em termos de DQO, passaram pela seção 60 toneladas durante o evento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da amostragem automática inteligente e os resultados obtidos através das análises permitiram a verificação do transporte de poluentes oriundos de fontes difusas no P1 da sub bacia do Barigui. O que ficou evidenciado pela relação entre o hidrograma e as concentrações dos

parâmetros analisados. Sendo que as curvas das concentrações, principalmente de sólidos, obtiveram seus picos concomitantemente à máxima vazão, comprovando que há um maior aporte de cargas poluidoras quando da ocorrência dos eventos de chuva. Este trabalho contribuiu com a avaliação positiva do funcionamento do novo método de amostragem escolhido e desenvolvido pela equipe do Laboratório de Monitoramento Eletrônico do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos de Ambiental – PPGERHA .

Constata-se que a programação da interface criada possibilitou o registro do evento pluviométrico através da amostragem inteligente automatizada. Pode-se considerar um avanço no estudo da poluição difusa, já que as barreiras com relação a amostragem no durante os episódios da precipitação estão sendo superadas.

Os demais eventos registrados estão em fase de estudo análoga ao apresentado. O objetivo é classificá-los por intensidade de escoamento, pelo intervalo de seco entre eventos e pela duração temporal. Com a sequência do estudo, será possível caracterizar o transporte de poluentes difusos na bacia, proporcionando uma ferramenta para o planejamento de ações que visem mitigar os problemas ambientais. Existem poucos resultados sobre o comportamento da poluição difusa, portanto esse trabalho também contribuirá neste sentido para a melhora da base de dados da sub Bacia do Barigui.

Os valores para a carga total transportada pela seção estudada durante o evento merecem destaque, tendo duração de aproximadamente 40 horas e escoamento total de 322.000 m<sup>3</sup>, passaram pela seção que está localizada à montante cerca de 244 toneladas em sólidos totais. A carga de aporte de toda a extensão de aproximadamente 66 km do rio Barigui que desagua no lago como mesmo nome, pode ser estimada através dos dados obtidos com este estudo. Sendo esta outra aplicação dos resultados deste projeto. Já que carga recebida pela foz do Barigui pode contribuir significativamente com o assoreamento do lago.

## REFERÊNCIAS

- APHA; AWWA; WPC – American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 th Ed.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; EIGGER, S.; et.al. (2002). Introdução à Engenharia Ambiental .In *O Meio Aquático*. Prentice Hall, São Paulo- SP, pp. 72 – 122.
- CHELLA, M. R.; FERNANDES, C.V.S.; FERMIANO, G.A.; FILL, H.D; SANTOS, I. (2005). Avaliação do Transporte de Sedimentos no Rio Barigüi. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol.10, nº.3 , pp. 105-111.
- FROEHNER, S.; MARTINS, R. F. (2008). Avaliação da Composição Química de Sedimentos do Rio Barigüi da Região Metropolitana de Curitiba. *Química Nova*, vol. 31, nº. 8, pp.2020-2026.
- LEE , J.H.; BANG, K.W ; KATCHUM, L.H.; CHOE, J.S. ; YU, M. J. (2002). Firts Flush Analysis of Urban Storm Runoff . *The Science of the Total Environment*. vol. 293, pp. 163-175.
- NOVOTNY , V. (2004). Linking Pollution to Water Body Integrity . Relatório. Center for Urban Environmental Studies Northeastern University, Boston – MA, 84p.