

# Fluxos de sedimentos em suspensão e metais em uma bacia urbana de cabeceira

Cristiano Poletto

**RESUMO:** Grande parte dos sedimentos transportados em bacias hidrográficas ocorre durante os eventos de chuva. Por isso, a avaliação temporal da concentração de sedimentos deve ser realizada por meio de um programa de monitoramento capaz de coletar amostras durante os eventos de cheia e estiagem. Em pequenas bacias urbanas, a dificuldade em se obter uma curva-chave de descarga de sedimentos em suspensão é muito grande, principalmente devido aos diferentes tipos de fontes ou material estocado, que estarão disponíveis para serem carregados da bacia para dentro do corpo d'água. Um exemplo disto é a quantidade de sedimentos depositados na drenagem pluvial e nas ruas pavimentadas, refletindo em variações bruscas de concentração. Assim, o presente trabalho teve o objetivo de estimar os fluxos de sedimentos em suspensão e metais (Zn e Ni) que foram exportados através do exutório de uma bacia hidrográfica na região metropolitana de Porto Alegre/RS nos anos de 2004 e 2005. As descargas sólidas calculadas resultaram em  $51,06 \text{ ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  para o ano de 2004 e em  $47,72 \text{ ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  para o ano de 2005. As concentrações de Zn apresentaram uma média de  $330,41 \mu\text{g.g}^{-1}$  e as de Ni em uma média de  $13,58 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Através das estimativas dos fluxos dos metais que estão sendo exportados anualmente pela área de estudo, obteve-se uma média de  $0,67 \text{ kg.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  para o Ni e a média de  $16,32 \text{ kg.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  para o Zn. Por ser de uma área residencial, a produção de sedimentos e os fluxos de metais podem ser considerados altos e, conseqüentemente, resultam em sérios problemas ambientais (físicos e químicos) que comprometem o ecossistema aquático à jusante.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fluxo de sedimentos; bacia hidrográfica urbana; metais.

**ABSTRACT:** Much of the sediment transported in the watershed occurs during rain events. Therefore, temporal assessment of sediment concentration should be performed by a monitoring program capable of collecting samples during the flood and drought events. In small urban watersheds, the difficulty to obtain a curve of relationship between sediment discharge and water flow because suspended sediment discharge is very high, mainly due to the different types of sources or stored material, which will be available to be transported to rivers and lakes. An example is the amount of sediment deposited in urban drainage systems and paved streets, reflecting changes in concentration. Thus, this study aimed to estimate the flow of suspended sediments and metals (Zn and Ni) that were exported across the watershed outlet in the metropolitan region of Porto Alegre in 2004 and 2005. The calculated sediment discharge resulted in a production of  $51.06 \text{ ton.km}^{-2}.\text{year}^{-1}$  in 2004 and  $47.72 \text{ ton.km}^{-2}.\text{year}^{-1}$  in 2005. Zn concentrations showed an average of  $330.41 \mu\text{g.g}^{-1}$  and Ni showed an average of  $13.58 \mu\text{g.g}^{-1}$ . By estimates of the flows of metals that are being exported annually by the study area, it has obtained an average of  $0.67 \text{ kg.km}^{-2}.\text{year}^{-1}$  for Ni and an average of  $16.32 \text{ kg.km}^{-2}.\text{year}^{-1}$  for Zn. Even the study area is residential, the sediment production and metals' flows can be considered high, and consequently result in serious environmental problems (physical and chemical) that threaten the aquatic ecosystem downstream.

**KEYWORDS:** Sediment fluxes; urban watershed; metals.

## INTRODUÇÃO

Grande parte dos sedimentos transportados em bacias hidrográficas ocorre durante os eventos de chuva. Por isso, a avaliação temporal da concentração de sedimentos deve ser realizada por meio de um programa de monitoramento capaz de coletar amostras durante os eventos de cheia. Entretanto, um grande problema enfrentado em pequenas bacias urbanas, é que os eventos ocorrem em poucas horas e algumas vezes durante a noite, o que normalmente

impossibilita qualquer avaliação (Paiva & Costas, 2002). Muitas vezes tenta-se utilizar amostradores automáticos para facilitar a obtenção de amostras, mas como geralmente este tipo de bacia possui altas concentrações de resíduos sólidos e matéria orgânica, normalmente os aparelhos são danificados, ou simplesmente, obstruídos.

Além disso, muitos estudos mostram que, por exemplo, os picos de concentração de sedimentos em suspensão ocorrem previamente ao pico da

vazão, e que segundo NCASI (1999), isso pode ser atribuído aos sedimentos prontamente disponíveis, tanto dentro do canal quanto da proximidade das fontes em relação ao corpo d'água. Frequentemente, a concentração de sedimentos não apenas aumenta abruptamente, mas também diminui rapidamente. Além da depleção das fontes de sedimentos, um decréscimo na concentração de sedimentos durante um evento pode ser resultado da entrada de águas mais limpas dos tributários e da contribuição da água subterrânea (Walling & Webb, 1987). Como o decréscimo de concentração de sedimentos em suspensão pode ser temporário, ou mesmo ocorrerem vários picos de aumentos e decréscimos de concentração, os sedimentos em suspensão precisam ser amostrados continuamente durante um grande evento de chuva.

Assim, em pequenas bacias urbanas, a dificuldade em se obter uma curva-chave de descarga de sedimentos em suspensão é muito grande, principalmente devido aos diferentes tipos de fontes ou material estocado (*budget*), que estarão disponíveis para serem carregados da bacia para dentro do corpo d'água. Um exemplo disto é a quantidade de sedimentos depositados na drenagem pluvial e nas ruas pavimentadas, refletindo em variações bruscas de concentração. Assim, segundo Poletto *et al.* (2009), no início dos eventos chuvosos existe uma pequena concentração de sedimentos em suspensão sendo transportada, logo após a concentração torna-se alta, para após alguns intervalos de tempo se reduzir substancialmente. Segundo Tucci (2003), nos primeiros 25 mm de chuva geralmente se concentram aproximadamente 95% da carga total de sedimentos que serão transportados.

A coleta dos sedimentos do leito tem características próprias, isso porque as partículas estão sujeitas a diferentes forças de resistência ao seu movimento. Segundo Gyr (1983), os sedimentos do fundo, compostos, principalmente, por frações mais grosseiras, são transportados no leito por rolamento, deslizamento ou em saltos. Os sedimentos que se movem no leito estão sujeitos ao atrito, o que resulta em menor velocidade de movimento do que aquelas que estão em suspensão. Estando os sedimentos de fundo sujeitos a todas essas influências, a variabilidade temporal e espacial da descarga sólida de fundo é significativa, e o monitoramento com coletas em diferentes seções transversais, mesmo com a mesma vazão, resultam em diferentes quantidades de sedimentos.

Todas as dificuldades encontradas em se realizar um monitoramento hidrossedimentométrico, com uma alta frequência de amostragens, faz com que se

recorram a métodos alternativos, segundo Horowitz (2003), como a confecção de curvas-chave, para se estimar (predizer) os fluxos de sedimentos exportados pelas bacias hidrográficas. Mas mesmo as curvas-chave possuem algumas limitações e, portanto, uma mesma área poderá exigir que sejam confeccionadas várias curvas. Entre os principais motivos que levam a existência de mais de uma curva-chave, pode-se citar as alterações morfológicas, a variabilidade das concentrações de sedimentos durante a ascensão e recessão da vazão, ou mesmo as diferentes estações do ano e diferentes níveis de cobertura do solo.

Segundo Paiva & Costas (2002), estas constatações podem influenciar a construção da curva-chave de sedimentos, uma vez que a carga inicial depende das condições de chuva antecedente, intensidade da chuva e carga disponível para transporte, fatores estes que apresentam grande variação ao longo dos diversos eventos.

Devido a essa grande variabilidade nas concentrações de sedimentos exportados em áreas urbanas, torna-se necessário que sejam realizadas coletas de amostras com uma boa frequência, priorizando eventos de chuva de grande intensidade, para que as curvas-chave sejam adquiridas com uma grande quantidade de resultados representativos dessa variabilidade temporal. Além disso, a quantidade de poluentes que estarão sendo exportados através do exutório, também variará de acordo com os fluxos de sedimentos.

Assim, o presente trabalho teve o objetivo de estimar os fluxos de sedimentos em suspensão e metais (zinco e níquel contidos nos sedimentos) que foram exportados através do exutório dessa bacia hidrográfica urbanizada nos anos de 2004 e 2005.

## MATERIAL E MÉTODOS

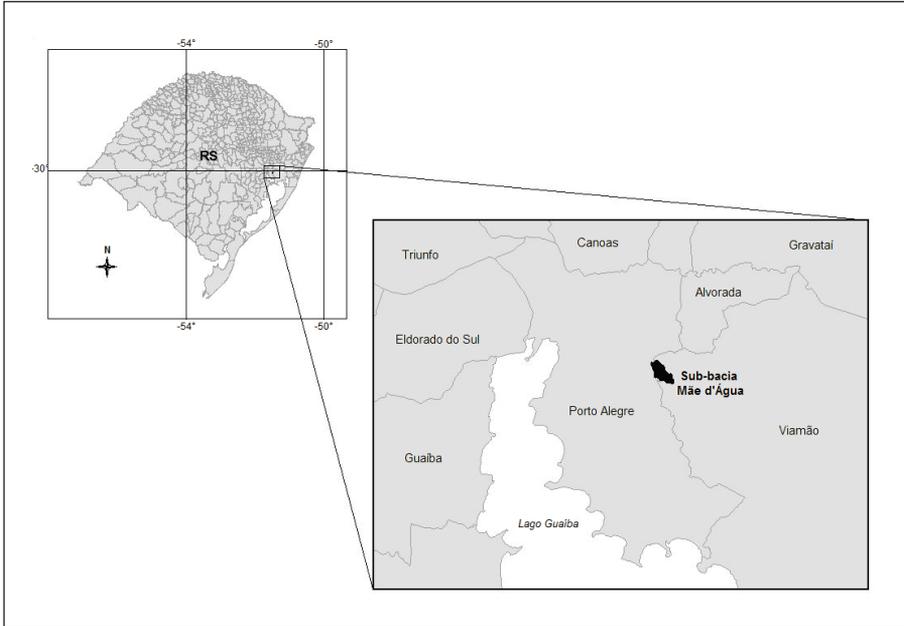
### Monitoramento hidrossedimentométrico

A sub-bacia urbana em estudo está inserida na Vila Santa Isabel, localizada no município de Viamão, região metropolitana de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul (Figura 1).

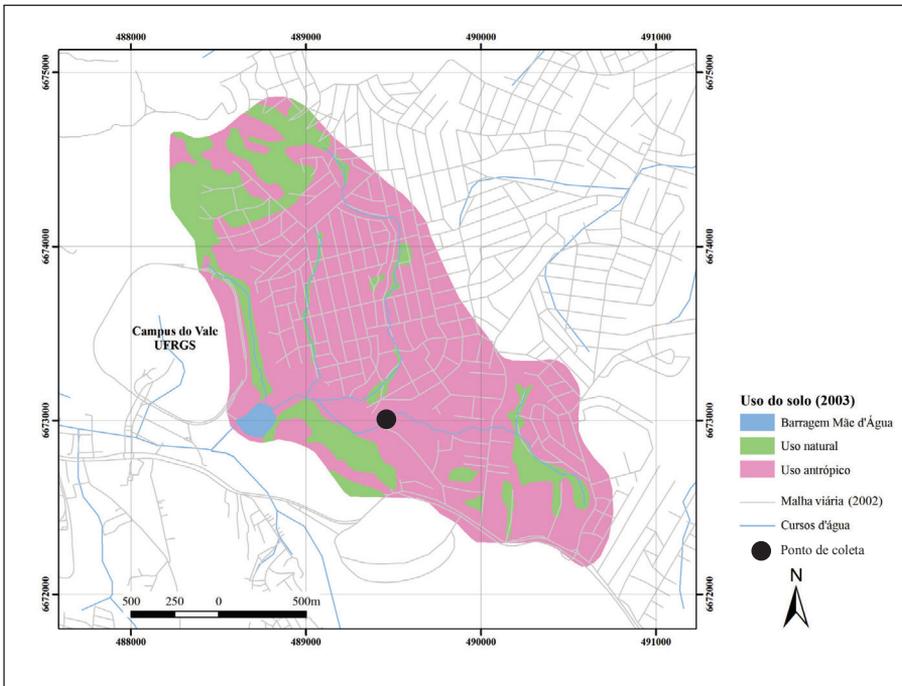
A área de estudo possui aproximadamente 0,83 km<sup>2</sup>, é uma bacia de cabeceira (bacia Mãe d'Água) e, segundo Poletto *et al.* (2005), a área é predominantemente residencial. A bacia Mãe d'Água é uma das componentes da cabeceira do Arroio Dilúvio, importante curso d'água que se estende para o município de Porto Alegre, cortando-o no sentido leste-oeste.

Segundo Poletto (2007), a bacia hidrográfica possuía, em 2005, quase metade da área total (42,57%) im-

permeabilizada pelas ruas e construções civis, como pode ser observado na Figura 2.



**FIGURA 1.** Carta imagem da área de estudo, com base em imagem Quickbird, ano de 2003.



**FIGURA 2.** Interpretação do uso do solo, da bacia hidrográfica, baseada em imagem de satélite de 2003. Adaptado de: Cardoso (2011)

A topografia da área é suavemente ondulada e, segundo Alves (2000), o perfil destes solos está diretamente relacionado com o tipo de rocha subjacente em virtude das suas propriedades texturais e a declividade das vertentes. Segundo o Levantamento de Reconhecimento de Solos do Rio Grande do Sul realizado em 1973, a área possui um solo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Streck *et al.*, 2002).

Quanto ao clima, segundo Livi (1999), a Região Metropolitana de Porto Alegre por estar situada na latitude 30°S e a 100 km do Oceano Atlântico é classificada como subtropical úmido (Cfa), segundo classificação de Köppen (1928), por registrar valores de temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. Como característica marcante tem-se a grande variabilidade dos elementos do tempo meteorológico ao longo do ano, com temperatura média para o mês mais frio (junho/julho) entre -3°C e 18°C e superior a 22°C no mês mais quente (janeiro/fevereiro). A precipitação é uniforme todo o ano, com totais superiores a 1.200 mm (Zurita & Tolfo, 2000).

A estação de monitoramento e coleta (seção hidrossedimentométrica) foi instalada no exutório da bacia experimental em agosto de 2003 para os primeiros testes dos equipamentos, podendo ser observada na Figura 3. Nesta seção foram instalados os equipamentos fixos para o monitoramento da área, tais como linígrafo, régua linimétrica e pluviógrafo, além dos materiais descartáveis e de apoio utilizado durante as coletas de amostras de sedimentos e medições de vazão.

O linígrafo é com transdutor de pressão e o pluviógrafo digital com dataloger, com discretização temporal de 5 minutos e precisão de 0,1 mm.

### Medição de vazão

Para as medições de velocidade e posterior cálculo de vazões nos anos de 2004 e 2005, foi utilizado um molinete com sensor eletromagnético.

As medições de vazão foram realizadas durante os eventos de chuva, procurando-se avaliar as vazões de ascensão e recessão durante as precipitações.

### Coleta de amostras de sedimentos fluviais em suspensão

Como a maior parte da carga de sedimentos nessa área é transportada durante as vazões geradas por precipitações, as coletas de amostras de sedimentos em suspensão foram, principalmente, coletadas durante os eventos de chuva na seção hidrossedimentométrica localizada no exutório da área de estudo. As amostragens foram realizadas em 2 pontos da seção transversal, a 0,60 m e 1,20 m da margem esquerda do córrego.

Para a coleta de sedimentos em suspensão, utilizou-se um amostrador integrador na vertical do tipo US-DH-48 com haste a vau e bico de  $\frac{3}{16}$ ”.

As amostras foram coletas ao longo do evento (início, meio e fim das precipitações) e seu número variou de acordo com a intensidade das precipitações.



FIGURA 3. Seção Hidrossedimentométrica instalada no exutório da bacia de estudo. (a) Linígrafo; (b) Régua linimétrica.

Para não gerar dados tendenciosos, não foi fixado um número de amostragens por evento.

### Estimativas da descarga sólida e da produção de sedimentos

As amostras de sedimentos em suspensão foram transportadas para o laboratório de sedimentos do IPH/UFRGS, onde foram realizadas as análises de concentração e granulometria das amostras.

As concentrações foram analisadas pelo método de evaporação e granulometria por pipetagem, conforme Carvalho *et al.* (2000). Para as pesagens de sedimentos, utilizou-se uma balança digital com precisão de 4 casas após a vírgula.

Com os resultados das concentrações dos sedimentos em suspensão ( $\text{g.L}^{-1}$ ), foram confeccionadas as curvas-chave de concentrações de sedimentos em suspensão pela altura da lâmina d'água. Para avaliar o melhor ajuste dos dados, foram separadas as concentrações ocorridas no início das precipitações (vazões de subida) das concentrações obtidas durante a recessão, além de uma curva com o conjunto total dos dados. Essa avaliação se faz necessária devido às alterações que ocorreram na largura da seção transversal, havendo a necessidade de que sejam geradas curvas-chave para 2 períodos distintos. Segundo Horowitz (2003), tem se notado uma melhora significativa nas estimativas de concentrações de sedimentos em suspensão ao se calibrar os dados subdivididos em grupos por estações (chuvosa ou seca) ou hidrológicos (ascensão ou recessão da vazão). Na presente pesquisa adotou-se a subdivisão hidrológica, pois em bacias hidrográficas urbanizadas algumas fontes de sedimentos (áreas impermeáveis) se esgotam em um curto período de tempo, interferindo principalmente na ascensão da vazão.

A produção de sedimentos foi calculada, para o período de estudo (anos de 2004 e 2005), com multiplicação da concentração de sedimentos instantânea ( $\text{g.L}^{-1}$ ) pela vazão instantânea ( $\text{L.s}^{-1}$ ) correspondente. Conforme Walling & Collins (2000), a produção de sedimentos corresponde ao somatório das multiplicações, como mostra a equação (1).

$$PS = K \sum_{i=1}^n [C_{S_i} \times Q_i] \quad (1)$$

onde:

$PS$  é a produção de sedimentos (toneladas);

$C_s$  é a concentração de sedimentos ( $\text{g.L}^{-1}$ );

$Q$  é a vazão ( $\text{L.s}^{-1}$ );

$K$  é um fator de conversão de unidades e quantidade de tempo.

### Análise das concentrações de Zn e Ni

Os elementos selecionados (Zn e Ni) tiveram suas concentrações totais determinadas por digestão ácida ( $\text{HCl} - \text{HF} - \text{HClO}_4 - \text{HNO}_3$ ) para destruição total dos minerais dos sedimentos, conforme descrito por Horowitz *et al.* (2001). Essas análises foram realizadas em duplicata e um branco para o controle de qualidade.

As pipetas utilizadas durante os procedimentos foram exclusivas para cada tipo de reagente. As vidrarias utilizadas foram lavadas com água destilada, ficando submersas em ácido nítrico 14% (v/v) por 24 horas e, depois, novamente enxaguadas com água deionizada.

Nos extratos resultantes da digestão total das amostras foram determinadas as concentrações totais dos metais por espectroscopia de emissão indutiva de plasma acoplado (ICP-OES).

Foram analisadas 32 amostras retiradas aleatoriamente de todos os 32 eventos de chuva que ocorreram entre os anos de estudo e que foram monitorados.

### Estimativas da exportação de Zn e Ni

As estimativas da exportação dos metais  $Z_i$  e  $Ni$  foram obtidas através das estimativas de fluxo de sedimentos obtidas da equação (1), sendo inserido nesta equação a variável concentração média dos metais ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) presentes nas digestões ácidas totais dos sedimentos em suspensão. A concentração média dos metais supracitados foi obtida através dos estudos de qualidade realizados nos anos de 2004 e 2005.

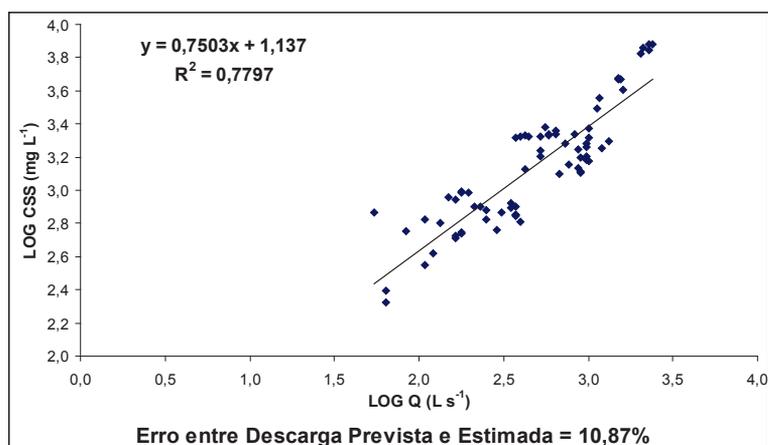
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Concentrações dos sedimentos em suspensão

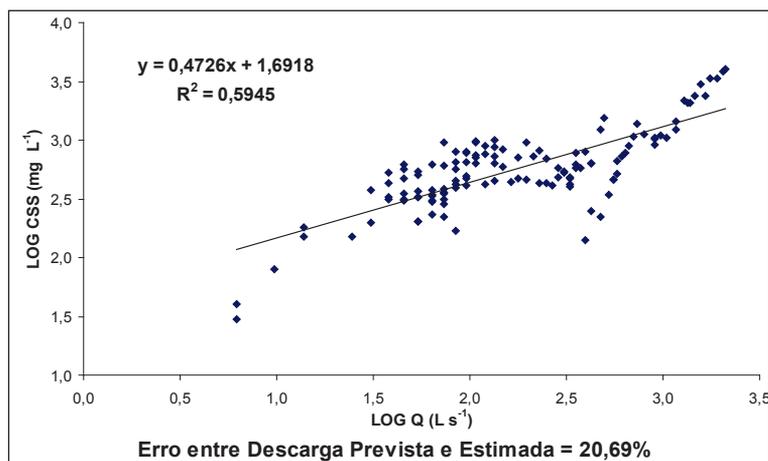
Após os 03 primeiros meses de coleta em 05 verticais da seção transversal e análises das suas concentrações, percebeu-se que os resultados das concentrações de sedimentos em suspensão, obtidos com amostrador US-DH-48, apresentaram valores aproximadamente homogêneos nas verticais analisadas. Por isso, adotou-se apenas 02 verticais ao longo dos estudos, conforme descrito no item 2.3. Isto ocorre principalmente por se tratar de uma bacia de cabeceira, portanto com maior declividade (declividade média da superfície da bacia: 9,58%;

declividade média do rio principal: 7,85%). Além disso, dado a esta característica e ao alto grau de impermeabilização da área urbanizada, apresenta tempos de resposta rápidos (Tempo de Concentração por Kirpich: 16,06 minutos) e uma pequena seção transversal (largura de 1,55 m) que facilitam a homogeneização da mistura “água + sedimentos”. Paiva & Costas (2002) apresentaram resultados similares de homogeneização das concentrações de sedimentos em suspensão após o aumento das vazões.

As concentrações de sedimentos em suspensão variaram entre  $204 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $10.566 \text{ mg.L}^{-1}$  (no período que vai do início da precipitação até o pico dos hidrogramas de vazões) e  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $6.122 \text{ mg.L}^{-1}$  (durante a recessão da vazão). Essa característica propiciou a separação das amostras em duas fases distintas, início e fim das precipitações, possibilitando a realização de diferentes ajustes para as curvas de concentração de sedimentos em suspensão e, posteriormente, compará-las. As três curvas-chave de sedimentos em suspensão x vazão geradas podem ser observadas nas Figuras 04, 05 e 06.



**FIGURA 4.** Curva-chave das concentrações dos sedimentos em suspensão (n=72 amostras obtidas durante 32 eventos de chuva) durante a ascensão da vazão (do início dos eventos de chuva até o pico dos hidrogramas) para os anos de 2004 e 2005 e o erro entre a descarga prevista e a estimada.



**FIGURA 5.** Curva-chave das concentrações dos sedimentos em suspensão (n=127 amostras obtidas durante 32 eventos de chuva) durante a recessão da vazão (após os picos dos hidrogramas e com amostragens até o fim dos eventos de chuva) para os anos de 2004 e 2005 e o erro entre a descarga prevista e a estimada.

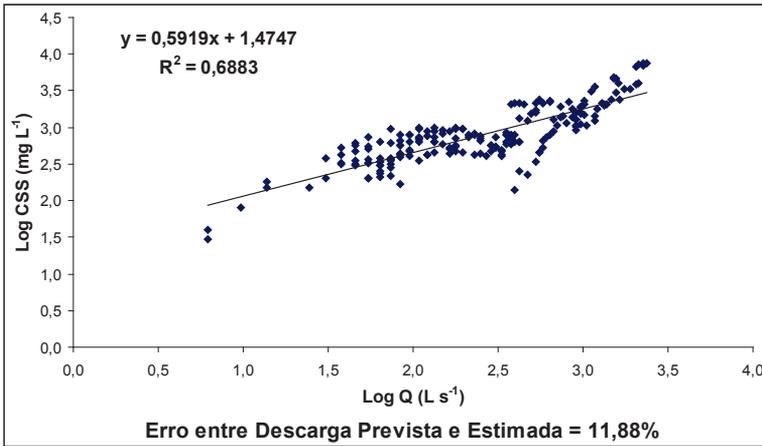


FIGURA 6. Curva-chave com todas as concentrações dos sedimentos em suspensão (n = 199 amostras obtidas durante 32 eventos de chuva – ascensão e recessão da vazão) obtidas durante os anos de 2004 e 2005 e o erro entre a descarga prevista e a estimada.

Apesar da separação das duas curvas-chave terem sido úteis para melhorar o ajuste dos dados na ascensão do hidrograma, a curva para todos os dados também apresentou um bom ajuste e de erro entre a descarga prevista e estimada (próximos ao erro da Figura 04). Por isso, a utilização da equação da Figura 06, durante os cálculos de fluxos e descarga sólida, tornou-se mais conveniente e, portanto, foi aplicada nos hidrogramas dos anos de 2004 e 2005.

Com um número maior de dados amostrais, como ocorreu na Figura 06, proporcionou uma maior representatividade dos eventos, pois conseguiu abranger uma faixa maior de concentrações de sedimentos (para mais e para menos) gerando, portanto, uma estimativa média com erro de 11,88%. Essa representatividade, gerada pelo aumento da faixa de concentrações e o número maior de amostras, possibilitou a sua utilização com maior precisão nos cálculos de fluxos de sedimentos para esse tipo de bacia hidrográfica.

### Fluxos de sedimentos e Descarga Sólida

Portanto, para a simulação dos fluxos de sedimentos utilizou-se a equação  $Y = 0,5919.X + 1,4747$  e aplicou-se aos hidrogramas dos anos de 2004 e 2005 (com discretização de 5 em 5 minutos), como pode ser observado parcialmente no exemplo da Figura 07. A curva gerada não representou, ainda que de forma tão pronunciada, o que ocorre em um sistema urbano, com os picos de sedimentos ocorrendo antes dos picos de vazão e, posteriormente,

com uma redução das concentrações devido à redução dos sedimentos disponíveis nas áreas impermeáveis e no sistema de drenagem urbano (redução da disponibilidade de sedimentos nas fontes). Mas ao longo do projeto, pôde-se perceber que alguns eventos apresentaram os picos de sedimentos antes dos picos de vazão, sendo que isto não ocorreu sempre, portanto podendo ocorrer de forma contrária. E no presente estudo (Figura 07), o horário do pico de sedimento fica exatamente igual àquele do pico do hidrograma.

As descargas sólidas calculadas resultaram em  $51,06 \text{ ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  para o ano de 2004 e em  $47,72 \text{ ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  para o ano de 2005. Os valores ficaram próximos as médias de áreas urbanizadas, como as apresentadas por Ellis (1996) e representam uma alta taxa de produção de sedimentos na qual favorece o assoreamento de corpos d'água lânticos que estão à jusante dessa área urbana.

### Concentrações e Fluxos de Zn e Ni

As concentrações de Zn apresentaram uma média de  $330,41 \mu\text{g.g}^{-1}$ , mediana de  $337,00 \mu\text{g.g}^{-1}$ , concentração máxima de  $587,00 \mu\text{g.g}^{-1}$ , mínima de  $157,00 \mu\text{g.g}^{-1}$  e desvio padrão de  $105,01 \mu\text{g.g}^{-1}$ , conforme Poletto & Merten (2008). O Zn foi o elemento que obteve as concentrações totais mais elevadas em relação aos valores de referência local (background =  $47,45 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). Essas elevadas concentrações podem representar uma fonte de desequilíbrio e grande ameaça ao ecossistema aquático local.

Quanto ao Ni, as análises das amostras resultaram em uma média de 13,58  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , mediana de 13,60  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , máximo de 18,80  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , mínimo de 7,60  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  e desvio padrão de 2,69  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , conforme Poletto & Merten (2008). Todos os valores ficaram acima do valor de background que é de 4,89  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (até três vezes maior que esse limite pré-determinado).

Através das estimativas dos fluxos dos metais que estão sendo exportados anualmente pela área de estudo, obteve-se uma média de 0,67  $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$  para o Ni e a média de 16,32  $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$  para o Zn. Essas concentrações refletem os resultados de estudos desses metais nos sedimentos que estão assoreando o lago Mãe d'água e são apresentados por Cardoso (2011).

## CONCLUSÕES

Após as análises dos resultados pode-se concluir que:

- ☒ Apesar da separação dos dados de concentração de sedimentos em suspensão por diferentes estágios do evento do cheia ter resultado em um bom ajuste, a curva determinada pela união de todos os dados facilitou a determinação da descarga sólida para uma série maior de dados

(32 eventos de chuvas com 199 amostras de sedimentos em suspensão) e pela representatividade proporcionada por uma faixa maior de concentrações amostradas;

- ☒ Uma descarga sólida média de 49,39  $\text{ton}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$  ocorrida entre os dois anos de estudo apresentaram valores similares aos encontrados em outros estudos de áreas urbanas, porém estes valores podem ser considerados baixos se comparados a estudos em bacias hidrográficas rurais, como o realizado em uma bacia de cabeceira em Arvorezinha/RS por Minella (2007) que resultou em 150  $\text{ton}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$ ;
- ☒ A exportação de Zi e Ni através dos sedimentos em suspensão sugere sérios problemas ambientais, mas principalmente refletem o risco que áreas urbanas representam aos recursos hídricos, principalmente levando em consideração que a área de estudo é essencialmente residencial.

## AGRADECIMENTOS

O Autor gostaria de agradecer ao Laboratório de Sedimentos do IPH/UFRGS, aos Hidrotécnicos participantes do Projeto, ao CNPq e CAPES.

## Referências

- ALVES, I. C. 2000. A Perspectiva Socioambiental na Vila Santa Isabel, Viamão – RS: Estudo de Caso. In: **Ambiente e Lugar no Urbano: A Grande Porto Alegre**. Suertegaray, D. M. A.; Basso, L. A.; Verdum, R. (orgs.). Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS. 239p.
- CARDOSO, A. R. 2011. **Evolução urbana e enriquecimento de sedimentos por metais-traço na Barragem Mãe d'Água, sub-bacia do Arroio Dilúvio, RMPA/RS**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: IPH/UFRGS, PPG em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.
- CARVALHO, N. O.; FILIZOLA Jr., N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. 2000. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL, 185p.
- ELLIS, J. B. 1996. **Sediment yield and BMP control strategies in urban catchments**. In: *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives*. IAHS, Exeter.
- GYR, A. 1983. Towards a better definition of the three types of sediment transport. **Journal Of Hydraulic Research**, v.21, n.1, pp.1–15.
- HOROWITZ, A. J. 2003. An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations. **Hydrological Processes**, v.17, pp.3387–3409.
- HOROWITZ, A. J.; ELRICK, K. A.; SMITH, J. J. 2001. Estimating Suspended Sediment and Trace Element Fluxes in Large River Basins: Methodological Considerations as Applied to the NASQAN Programme. **Hydrological Processes**, v.15, pp.1107-1132.
- KÖPPEN, W. **Klimakarte der erde**. Gotha: Perthes, 1928.
- LIVI, F. P. 1999. **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. 2.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS. 70p.
- MINELLA, J. P. G. 2007. **Utilização de Técnicas Hidrossedimentométricas combinadas com a identificação de fontes de sedimentos para avaliar o efeito do uso e do manejo do solo nos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica rural no Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado. Porto Alegre: IPH/UFRGS, PPG em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.
- National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement, Inc (NCASI). 1999. Scale Considerations and the Detectability of Sedimentary Cumulative Watershed Effects. **Tech. Bull. No. 776**. Research Triangle Park, NC. 327p.
- PAIVA, E. M. C. D.; COSTAS, M. F. T. 2002. **Produção de Sedimento em Bacia Urbana**. In: 5º Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. São Paulo: ABRH, v.1. pp.423-432.

POLETO, C. 2007. **Fontes Potenciais e Qualidade dos Sedimentos Fluviais em Suspensão em Ambiente Urbano**. Tese de Doutorado. Porto Alegre: UFRGS/IPH, 137p.

POLETO, C.; MERTEN G. H. 2008. **Estudos de Zn e Ni em Sedimentos Fluviais em Suspensão e o Risco Potencial aos Recursos Hídricos**. Porto Alegre: RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.13, n.3. pp.147-154.

POLETO, C.; MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. 2009. The identification of sediment sources in a small urban watershed in southern Brazil: an application of sediment fingerprinting. **Environmental Technology**, issue 30 (11), pp.1145-1153.

POLETO, C.; MERTEN, G. H.; SILVEIRA, A. L. L. 2005. **Socio-Economic Impacts On Fluvial System An Urban Watershed In Southern Brazil**. In: 10<sup>o</sup> International Conference on Urban Drainage, Copenhagen. 10<sup>o</sup> ICUD.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. 2002. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS. 107p. il.

TUCCI, C. E. M. 1998. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: ABRH e Editora da UFRGS, 669p.

TUCCI, C. E. M. 2003. Inundações e Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 1<sup>a</sup> edição. pp.45-150.

WALLING, D. E.; COLLINS, A. L. 2000. **Integrated assessment of catchment sediment budgets: a technical manual**. University of Exeter, Exeter.

WALLING, D. E.; WEBB, B. W. 1987. Material transported by the world's rivers: evolving perspectives. In: **Water for the Future: Hydrology in Perspective**. RODDA, J. C.; MATALAS, N. C. (Eds). pp.313-329. IAHS Publ. no.164.

ZURITA, M. L. L.; TOLFO, A. M. **The quality of air in Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2000.