

## Descarga sólida em suspensão do sistema fluvial do Guaíba, RS, e sua variabilidade temporal

João Silva de ANDRADE NETO<sup>1</sup>, Letícia Thiesen RIGON<sup>1</sup>, Elírio Ernestono TOLDO JR.<sup>1</sup> Carlos Augusto França SCHETTINI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Caixa Postal 15.001, Porto Alegre, RS, Brasil, CEP 91509-900. E-mail: jneto1986@yahoo.com.br, le507@hotmail.com, toldo@ufrgs.br.

<sup>2</sup> Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil, CEP 50670-901. E-mail: guto.schettini@gmail.com.

Recebido em 04/2011 Aceito para publicação em 08/2012

Versão online publicada em 13/12/2012 ([www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br](http://www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br))

**Resumo** - O presente trabalho apresenta uma avaliação da variação temporal da descarga sólida em suspensão no sistema fluvial do Guaíba. Foi utilizada uma base de dados históricos entre 2003 a 2006, constituída de vazões diárias dos rios afluentes (rios Jacuí, Sinos e Caí), e da turbidez da água monitorada em intervalos de 30 minutos na estação de tratamento de água do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE). Os dados de turbidez foram convertidos em concentração de sedimentos em suspensão (CSS) através da calibração do sensor de turbidez com amostras de sedimentos em suspensão coletadas no Guaíba. Também foi realizada uma validação da estação de monitoramento para verificar se os dados obtidos a partir da estação representavam as condições simultâneas no Guaíba. Os dados de turbidez foram reduzidos para médias diárias. Foi elaborada a curva chave de CSS (em  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) em função da vazão ( $Q$  em  $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ), representada por  $\text{CSS}(Q) = 0,0057 + 0,0045 Q^{0,2884}$  com  $r^2 = 0,68$ . A descarga sólida em suspensão foi obtida pelo produto simples entre a vazão e a CSS. Os resultados demonstraram que a descarga sólida em suspensão varia consideravelmente ao longo do tempo, principalmente durante eventos de alta vazão de curta duração. A maior parte dos sedimentos em suspensão é transportada com valores de vazões entre  $1.000$  e  $3.000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  e representou  $47,2\%$  do total. O valor médio de descarga sólida transportada para a Lagoa dos Patos entre os períodos de 2003 a 2006 foi da ordem de  $1,1 \times 10^6 \text{ t/ano}$ , o que representa uma exportação da ordem de  $400.000 \text{ m}^3$  de sedimentos ( $2.650 \text{ kg/m}^3$ ) da bacia de drenagem do rio Guaíba para os sistemas deposicionais lagunares e, posteriormente a plataforma continental adjacente.

**Palavras-chave:** sedimento em suspensão, descarga sólida em suspensão, rio Guaíba.

**Abstract** - SUSPENDED LOAD OF GUAÍBA FLUVIAL SYSTEM, RS, AND ITS TEMPORAL VARIABILITY. The suspended load of the Guaíba fluvial system and its temporal variability were assessed. A dataset was assembled gathering river discharge daily data from the main rivers that form the Guaíba (Jacuí, Sinos and Caí rivers), and water turbidity data from a water treatment plant of Water and Sewage Municipal Department (DMAE), recorded at 30 minutes interval. The turbidity data were converted to suspended sediment concentration (SSC) throughout calibration procedures with samples of suspended sediments from the Guaíba. The turbidity monitoring station was also validated for representativeness to the Guaíba waters, with synoptic sampling. The turbidity data were reduced to mean daily values. The function of the SSC ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) as function of river discharge ( $Q$ ,  $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) was built given the rating curve  $\text{SSC}(Q) = 0,0057 + 0,0045 Q^{0,2884}$  with  $r^2 = 0,68$ . The suspended load was directly obtained by the product of river discharge and SSC. The results indicated that the suspended load varies considerably along the time, mainly during short period discharge peaks. The majority of suspended load is carried with river discharge between  $1,000$  and  $3,000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , representing  $47,2\%$  of the total. The averaged suspended load to Patos Lagoon for the 2003-2006 period was of the order of  $1,1 \times 10^6 \text{ t/yr}$ ; or, of about  $400.000 \text{ m}^3$  of sediments ( $2650 \text{ kg/m}^3$ ) from the Guaíba's drainage basin towards the lagoon depositional sites, and further the continental shelf.

**Keywords:** suspended sediment, suspended load, Guaíba River.

### 1. Introdução

Sedimentos em suspensão são definidos como um total de sólidos que se mantêm em suspensão na água por ação da turbulência e que podem ser determinados através de filtragem (McCave, 1979). A permanência dos sedimentos na

coluna de água ocorre devido à força de sustentação que age no sentido oposto a gravidade, permitindo a sua advecção das partículas como transporte em suspensão. Os sedimentos transportados por suspensão são compostos principalmente por argilo-minerais e silte, podendo representar até  $90\%$  do total de carga sólida transportada por rios

(Ward & Trimble, 1995).

Os sedimentos em suspensão apresentam diversas implicações e desempenham um papel fundamental para a qualidade ambiental e o desenvolvimento sócio-econômico, tais como aporte sedimentar (Milliman & Meade, 1983; UNESCO, 1988), navegação (Parker, 1989), assoreamento de reservatórios, portos e o aumento do potencial destrutivo de inundações. Por apresentarem natureza coesiva e forte tendência em agregar poluentes solúveis, sua dinâmica influencia na distribuição destes e pode ser indicadores da qualidade ambiental (Förstner & Wittmann, 1983; Schettini & Toldo Jr., 2006). Os sedimentos em suspensão têm também grande importância no metabolismo aquático, uma vez que são responsáveis pelo suprimento de nutrientes oriundos dos continentes para regiões estuarinas e marinhas, bem como pode reduzir significativamente a produtividade primária pela obstrução da luz (Gupta & Chakrapani, 2005).

A concentração de sedimentos em suspensão (CSS) apresenta alta variabilidade temporal, resultante das variações de descarga líquida e suprimento de sedimentos, que normalmente apresenta valores maiores em períodos de descargas elevadas. Via de regra, a maior parte do transporte de sedimentos em suspensão ocorre em curtos períodos ao longo do ano associado com eventos hidrológicos (Webb & Walling, 1982; Mano *et al.*, 2009; Rodríguez-Blanco *et al.*, 2010). Fatores que influenciam a variabilidade temporal da CSS é a variação temporal do hidrograma em relação ao uso e ocupação de terras; a declividade da bacia hidrográfica; a intensidade de chuvas; a temperatura antecedente e condições de umidade e descarga líquida, entre outros (Reid *et al.*, 1997).

A Bacia Hidrográfica do rio Guaíba é a maior bacia do Rio Grande do Sul e maior contribuinte da Lagoa dos Patos (Vaz *et al.*, 2006), sendo intensamente ocupada para atividades agropecuárias no seu interior, e tem no seu exutório a Região Metropolitana de Porto Alegre onde concentra atividades industriais e comerciais. Atividades estas que tem intrínsecas relações com a quantidade e qualidade dos sedimentos em suspensão carreados pelo sistema fluvial. A Lagoa dos Patos retém parte da descarga sólida em suspensão liberada pelo rio Guaíba (e.g. Calliari & Fachin, 1993; Bachi, 2000; Nogueira *et al.*, 2006), sendo que Toldo *et al.* (2000) relatam taxas de sedimentação da ordem 0,8 mm por ano durante o Holoceno na

porção central da lagoa. Estimativas indiretas da descarga sólida em suspensão (DSS) feitas por Baisch (1994) e Rigon (2009) sugerem um aporte médio anual de sedimentos em suspensão de 1 e 4 x10<sup>6</sup> de toneladas, respectivamente. O objetivo do presente trabalho é apresentar uma estimativa mais robusta da descarga sólida em suspensão do rio Guaíba bem como sua variabilidade temporal, utilizando como base de dados séries históricas de dados de turbidez da água monitorados em estações de tratamento de água, calibrados para fornecer estimativas de CSS.

## 2. Área de estudo

O Rio Grande do Sul é delimitado por três grandes regiões hidrográficas, a Bacia do rio Uruguai que abrange o norte e o oeste, as Bacias Litorâneas no sul e no sudeste do estado e a Bacia Hidrográfica do rio Guaíba (BHRG), que está situada no centro e no nordeste do estado apresentando uma área de 84.760 km<sup>2</sup> (Fig. 1). O clima regional é do tipo subtropical úmido segundo a classificação de Koeppen (1948), com temperaturas médias anuais entre de 14° C e 18° C (IBGE, 1977) e com chuvas bem distribuídas ao longo do ano com a precipitação anual média de 1324 mm (Livi, 1998).

A BHRG é constituída por rochas plutônicas, vulcânicas e sedimentares, as quais representam a fonte da grande parte dos sedimentos produzidos na bacia, sendo que as formações pleistocênicas são as principais fontes (Cunha, 1971; Toldo Jr., 1994). O solo é caracterizado pelo uso intensivo da agricultura, principalmente por lavouras de arroz irrigado, os quais possuem uma grande demanda de recursos hídricos para seu cultivo.

O rio Guaíba se estende desde o delta do Jacuí até a ponta de Itapuã do Sul, com cerca de 50 km de comprimento, 470 km<sup>2</sup> de superfície e com uma profundidade média de 2 m e máxima de 31 m. Apresenta uma largura mínima de 900 m e máxima de 19 km, com formações graníticas na margem leste e pontas arenosas na margem oeste. O regime de escoamento das águas do rio Guaíba é bidimensional, podendo ser longitudinais e transversais ao seu canal (Menegat *et al.*, 1998).

O rio Guaíba recebe a afluência de oito bacias, das quais as maiores são aquelas dos rios Jacuí, Caí, Sinos e Gravataí. Estas formam o delta do Jacuí, com área de 47 km<sup>2</sup> e com uma vazão média de 1.493 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (Torres, 2000). A bacia hidrográfica do rio Jacuí corresponde a 25 % da área total do esta-

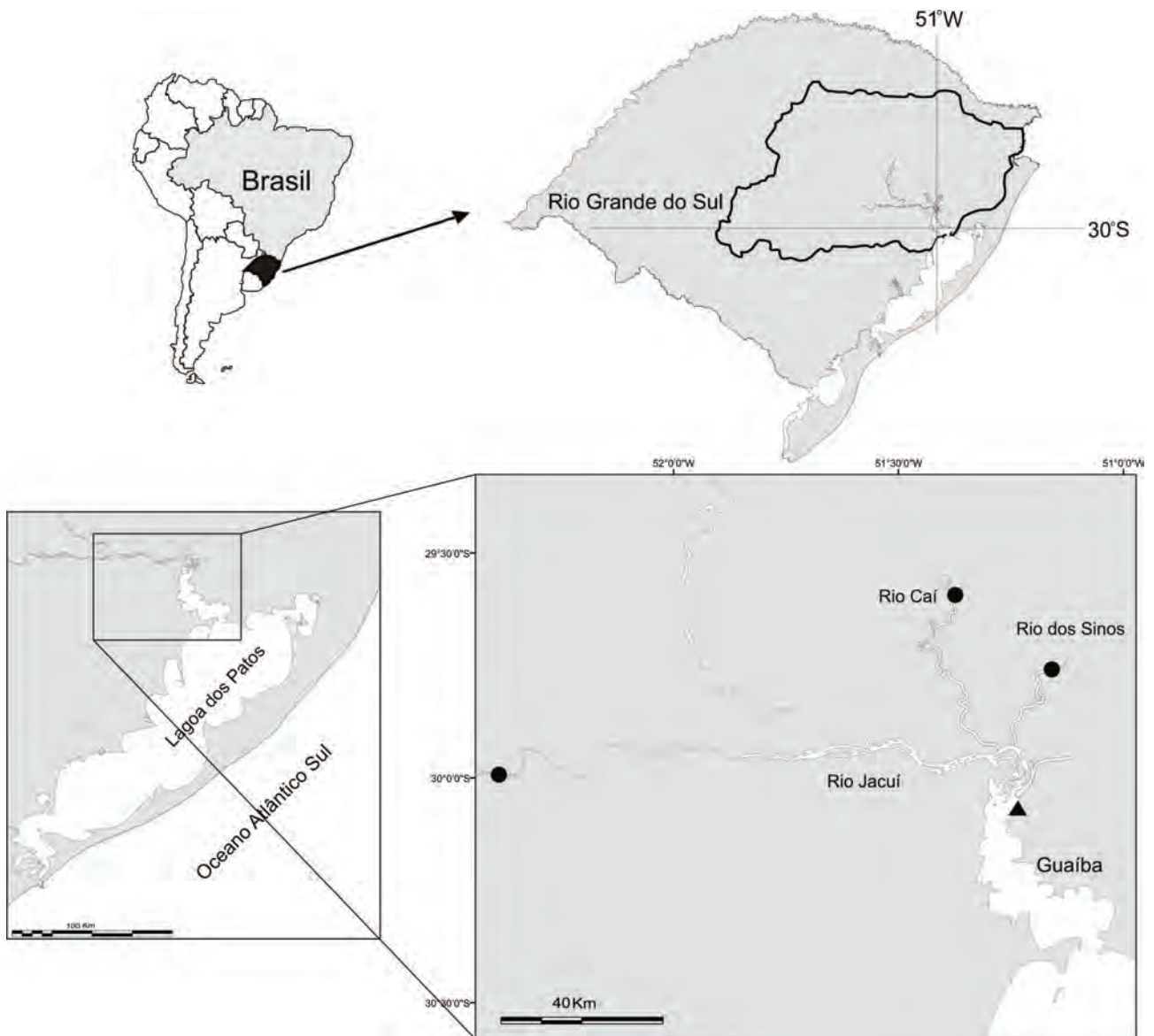


Figura 1. Localização da área de estudo. Painel superior direito apresenta o limite da bacia hidrográfica do rio Guaíba. O painel inferior esquerdo apresenta o detalhe da Lagoa dos Patos, e à direita o detalhe do baixo curso dos rios Jacuí, Caí e Sinos, indicando a localização das estações fluviométricas. O triângulo indica a localização da estação de bombeamento de água para a ETA.

do e a 84 % da área da BHRG, com área de 71.600 km<sup>2</sup>. O rio Jacuí tem suas nascentes no planalto gaúcho em uma altitude de 730 m e seu comprimento total é de aproximadamente de 710 km, e vazão média de 452 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (Lima *et al.*, 2007). Dentre seus afluentes destaca-se o rio Taquarí, com uma área de 10.900 km<sup>2</sup>. Na bacia do rio Jacuí há diversas barragens, sendo as principais as barragens Itaúba, Passo Real, Dona Francisca e Bom Retiro, esta última próxima da região de Porto Alegre. A bacia hidrográfica do rio Caí é composta por duas regiões distintas, com as encostas superiores da bacia na Serra Gaúcha e a parte inferior se estendendo no Vale do Caí. A bacia tem área de 5.060 km<sup>2</sup>, o que representa 1,8 % da área do estado e 6 % da BHRG. A bacia hidrográfica do rio dos Sinos é delimitada a

leste pela Serra Geral, a oeste e norte pela bacia do rio Caí e ao sul pela bacia do rio Gravataí, com área de 3.820 km<sup>2</sup>, equivalente a 4,5 % da BHRG.

### 3. Materiais e métodos

A DSS é obtida pelo produto entra a descarga líquida pela CSS média de uma seção transversal do rio. Embora no Brasil exista uma extensa rede de monitoramento da descarga líquida (Agência Nacional de Águas: ANA, vide [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)), o monitoramento da DSS é muito mais modesto. A descarga líquida é realizada através de curvas chave de vazão, onde é estabelecida a relação da descarga em função da cota do nível da água na seção. Assim, uma vez estabelecida a relação descarga/cota, o

monitoramento é realizado com a leitura de réguas instaladas na margem por um monitor adestrado que faz anotações em caderneta, ou por sensores de pressão e enviados por telemetria. A aferição das estações e recolhimento dos dados é feito regularmente, e é nestas ocasiões que são realizadas medição de vazão utilizando instrumentos diretos como molinetes ou perfiladores acústicos por efeito Doppler, e também medições da CSS. Ou seja, enquanto a descarga líquida é monitorada em escala diária a DSS é obtida em intervalos de meses. Isto limita a obtenção de valores robustos pois a CSS é altamente variável e imprevisível. Para contornar esta limitação, no presente estudo foram utilizados como aproximação da CSS os dados de turbidez da água que são monitorados continuamente (e.g. 30 minutos) em estações de tratamento de água (ETA).

Séries temporais de descarga líquida dos rios Jacuí, Caí e Sinos foram obtidas junto a ANA através do sítio HIDROWEB. Para o rio Jacuí foram utilizados os dados obtidos na estação fluviométrica rio Pardo, disponíveis para o período de 1939 a 2006; para o rio Caí foram utilizados os dados obtidos na estação Braça do Caí, disponíveis para o período de 1947 a 2006; para o rio dos Sinos foram utilizados os dados obtidos na estação São Leopoldo, disponíveis para o período de 1973 a 2006. A descarga do rio Guaíba foi estimada como o somatório da descarga destas três estações. Para o cálculo da DSS foram utilizados os anos de 2003 a 2006, sinótico as séries disponíveis de turbidez. As lacunas existentes nas séries neste período foram preenchidas utilizando modelos de regressão linear entre as três estações, optando-se sempre pela que apresentou melhor coeficiente de explicação.

Uma série temporal de turbidez da água foi obtida junto ao Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) para a ETA no bairro Menino Deus. A figura 1 indica a localização da estação de bombeamento, sendo que a ponteira de entrada de água fica a 400 m da margem do rio Guaíba em um local com lâmina de água superior a 2 m, com vazão de  $2,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . A série temporal de turbidez compreende 13.062 medições entre junho de 2003 e maio de 2006, obtidas em intervalos de duas horas, utilizando um turbidímetro da marca Hach modelo 2100P que fornece a turbidez em NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) com precisão de  $\pm 2\%$ .

Os dados de turbidez foram convertidos em CSS  $[\text{M}][\text{L}^{-3}]$  através de um modelo de conversão obtido por um procedimento de calibração. Inicial-

mente foi elaborada uma solução de alta CSS a partir de 300 litros de água do rio Guaíba. A água foi armazenada em bombonas e deixada em repouso por 24 horas. Após este período foi cuidadosamente sifonada, seguido pela coleta do material decantado. Em laboratório, após agitação, alíquotas desta solução foram diluídas em diferentes proporções, sendo então obtida a turbidez e a CSS destas alíquotas. A turbidez foi determinada com o mesmo instrumento utilizado na ETA. Todas as leituras foram feitas em triplicatas. A tabela 1 apresenta a gradação de turbidez e CSS, e a figura 2 apresenta o modelo de conversão de turbidez em CSS obtido, equacionado por  $\text{CSS}(\text{NTU}) = 11,89 + 0,845 \text{ NTU}$ , com  $r^2 = 0,98$ .

Tabela 1. Relação de valores das medidas de turbidez (NTU) e concentração de sedimentos em suspensão (CSS) em  $\text{mg.l}^{-1}$  durante o procedimento de calibração.

Nº Amostra	Turbidez (NTU)	CSS ( $\text{mg.l}^{-1}$ )	Desvio Padrão ( $\text{mg.l}^{-1}$ )
1	543,0	459,1	18,1
2	420,0	346,0	14,7
3	348,0	331,9	1,8
4	292,0	262,9	10,5
5	218,0	212,2	2,5
6	160,0	160,6	6,1
7	110,0	102,6	9,2
8	89,0	88,9	3,4
9	70,0	74,6	3,5
10	57,5	42,3	0,5
11	0,6	0,0	0,0

A análise da CSS foi através de filtração em membranas millipore de acetato de celulose com poro de  $0,45 \mu\text{m}$ . Os filtros foram secos em estufa durante 24 horas a  $60^\circ \text{C}$ , resfriados em dissecador, pesados e armazenados. Após a filtração das amostras, o processo de secagem e pesagem foi repetido. A razão entre a diferença de massa seca pré e pós-filtragem pelo volume filtrado fornece a CSS.

A representatividade da turbidez medida na ETA, como uma aproximação da CSS no rio Guaíba, foi verificada com 2 campanhas onde foram coletadas simultaneamente amostras de água no local da ponteira no rio e na ETA, as quais foram analisadas para determinação da CSS, através da filtração de um volume em um filtro de  $0,45 \mu\text{m}$  de poro de massa pré-determinada. Posteriormente o filtro foi seco e sua massa determinada novamente. Desta forma, foi verificado que não há diferença significativa entre a CSS no rio Guaíba e a ETA durante o processo de bombeamento.



#### 4. Resultados e discussão

Uma vez que o período de análise da DSS está limitado aos três anos da série de turbidez, é importante estabelecer a representatividade relativa deste período em relação à série histórica de descarga. Para isto foi utilizado o período de descarga para o rio Jacuí para o período entre 1985 a 2006. O rio Jacuí foi escolhido por ser o mais impor-

tante no deflúvio do rio Guaíba, e também por que apresenta o menor número de falhas no registro (Fig. 3). A descarga média para este período de 21 anos foi de  $988 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , que é 20 % acima do valor indicado por Vaz *et al.* (2006) de  $801 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  para o período de 1940 a 1997. A descarga máxima foi de  $5.426 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  no final do ano 2002, e valores acima de  $5.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  representam apenas 0,18 % do total dos dados analisados no rio Jacuí.

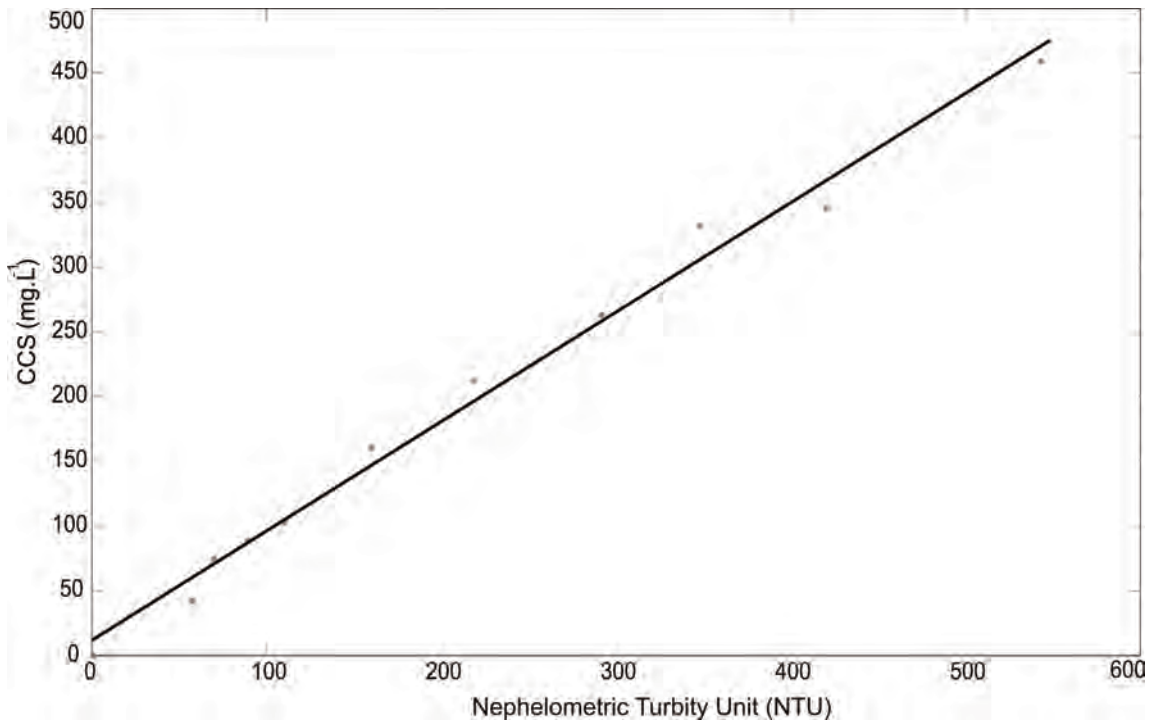


Figura 2. Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão (CCS) em função da turbidez (NTU) obtida pelo procedimento de calibração.

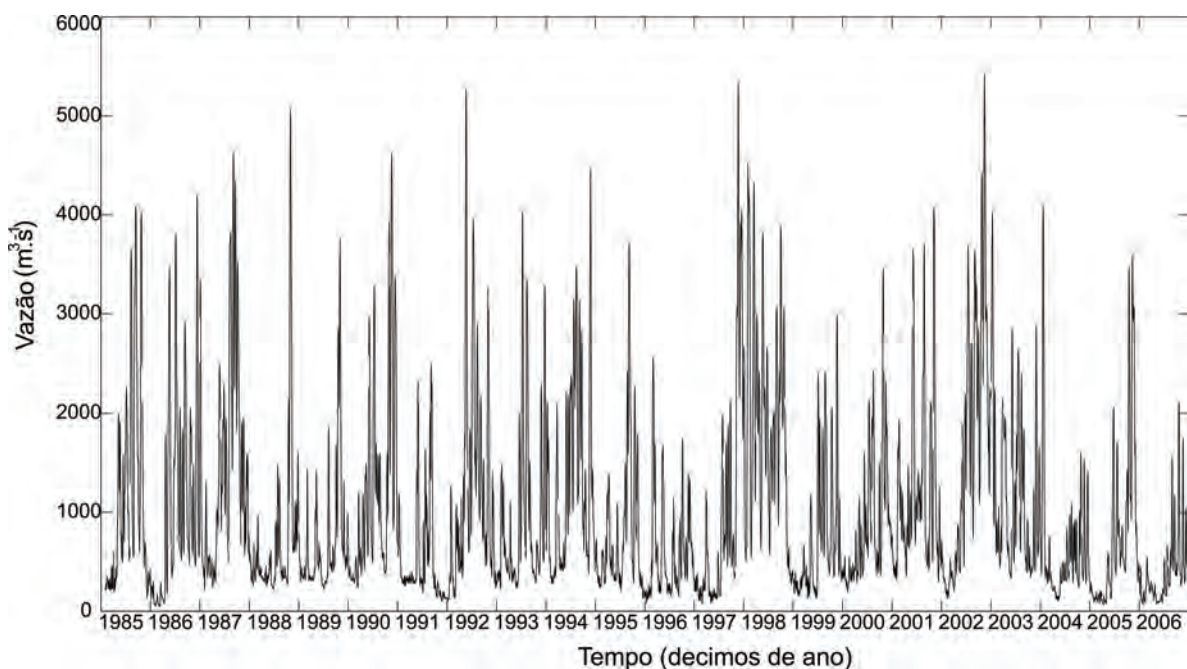


Figura 3. Série temporal da descarga diária do rio Jacuí para o período de 1985 a 2006.

A figura 4 demonstra comparativamente os histogramas de frequência de descarga para os períodos de 1985-2006 (em cima) e 2003-2006 (em baixo). O padrão de distribuição de frequências não apresenta diferença estatística significativa para um nível de confiança de 95 %. No entanto, o período de 2003-2006 evidencia descarga líquida média inferior à média do período de 21 anos. Em ambos os casos a descarga é inferior a  $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  na maior parte do tempo, representando 40% do total dos valores. No período de 2003-2006 não ocorreram eventos de descarga acima de  $5.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; eventos de descarga acima de  $4000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  representaram apenas 0,8% do total; e valores acima de  $3.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  representam 5,2% do total.

A figura 5 explana as séries temporais de descarga dos rios Jacuí, Caí e Sinos para o período de 2003-2006, as quais somadas resultam na descarga do rio Guaíba. Os registros mostraram descargas distintas, principalmente quanto à magnitude, porém com similaridade na ocorrência dos picos de descarga. O rio Jacuí obteve os maiores valores de descarga fluvial com picos de até  $4.090 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , enquanto a descarga dos rios Caí e dos Sinos não ultrapassaram  $1.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Para todos os rios é possível identificar um padrão sazonal, com maior

descarga no período de inverno. De acordo com Möller (1996), estes rios são típicos de médias latitudes, apresentando maiores descargas no fim do inverno e início de primavera seguida de baixa descarga durante verão e outono, e com grandes variações interanuais devido à variabilidade climática de larga escala, como o El Niño.

A figura 6 ilustra as séries temporais de descarga e a CSS do rio Guaíba. A descarga média foi de  $781 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , abaixo dos valores de referência de Vaz et al. (2006), de  $1.031 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , e de Baisch (1994), de  $850 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , indicando que este período é mais seco que o normal. Eventos de descarga acima de  $3.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  contabilizaram 3,5 % do tempo, e o maior valor de vazão foi de  $4.583 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  no dia 21 de dezembro de 2003. A variabilidade da CSS demonstrou relação direta com a descarga. A CSS média é de  $35 \text{ mg.l}^{-1}$ , e o maior valor foi de  $150 \text{ mg.l}^{-1}$  registrado em 11 de julho de 2003, quando a vazão foi de  $2.763 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . A figura 7 representa a relação da CSS em função da descarga. O modelo que melhor representou a CSS em função da descarga (Q) foi  $\text{CSS}(Q) = 5,7 \times 10^{-3} + 4,6 \times 10^{-3} Q^{0,29}$ , com coeficiente de explicação  $r^2 = 0,68$ . Entretanto, apesar de um coeficiente de explicação razoável, principalmente para descargas abaixo de  $1.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  a variação da

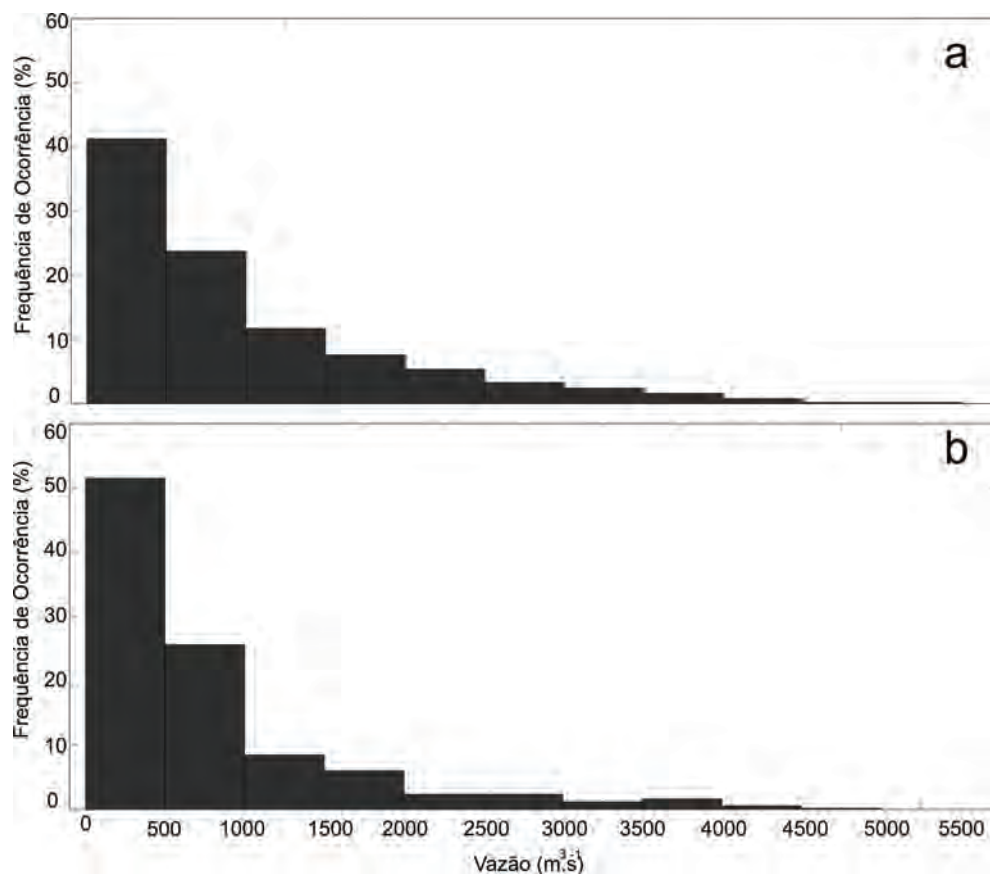


Figura 4. Distribuições de frequência de ocorrência de descargas médias anuais da série histórica de 21 anos do Jacuí (a) e das descargas médias anuais do Jacuí, Caí e Sinos, no período de 2003 a 2006 (b).

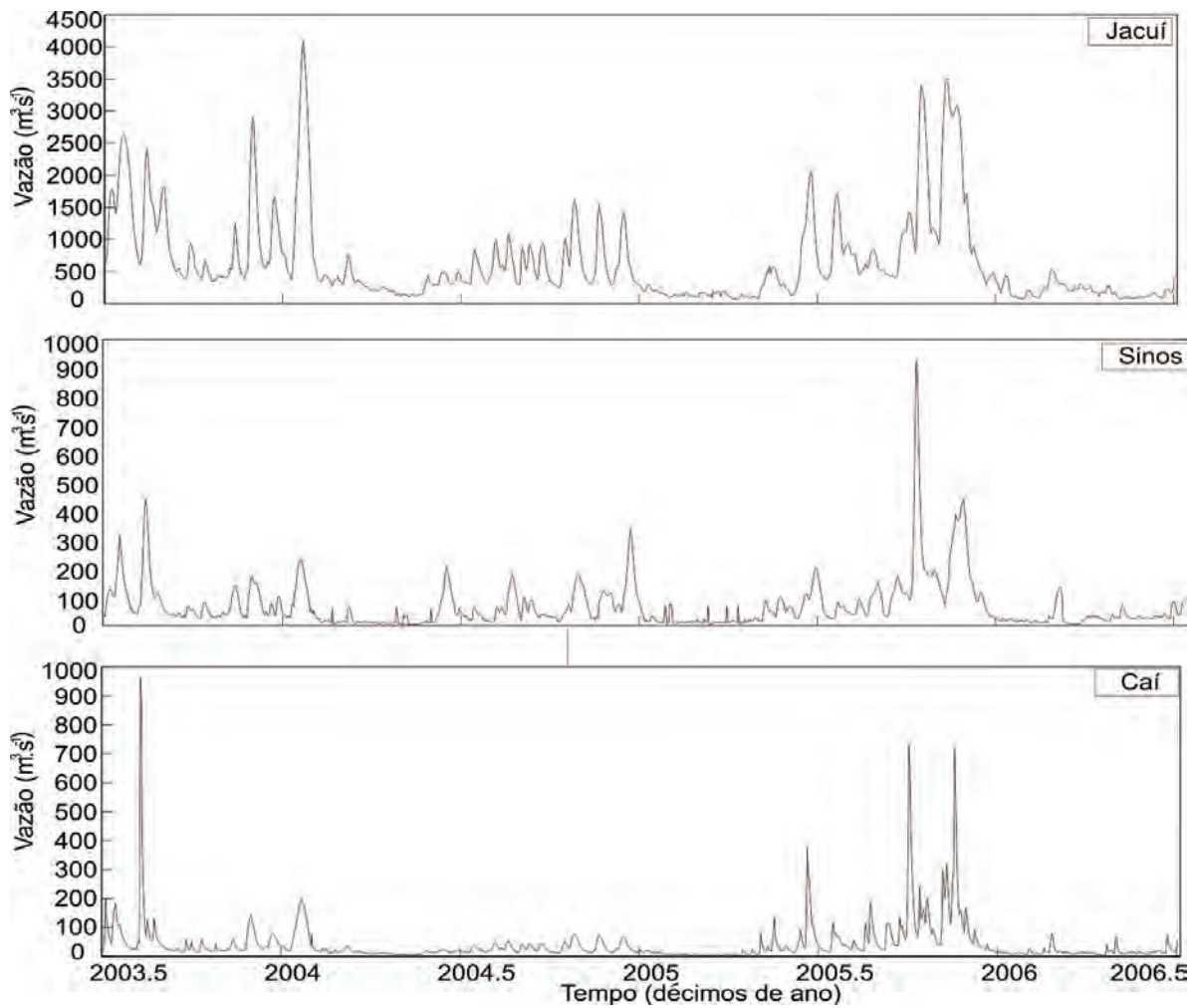


Figura 5. Séries temporais de vazão diária dos rios Jacuí, Sinos e Caí para o período de 2003 a 2006.

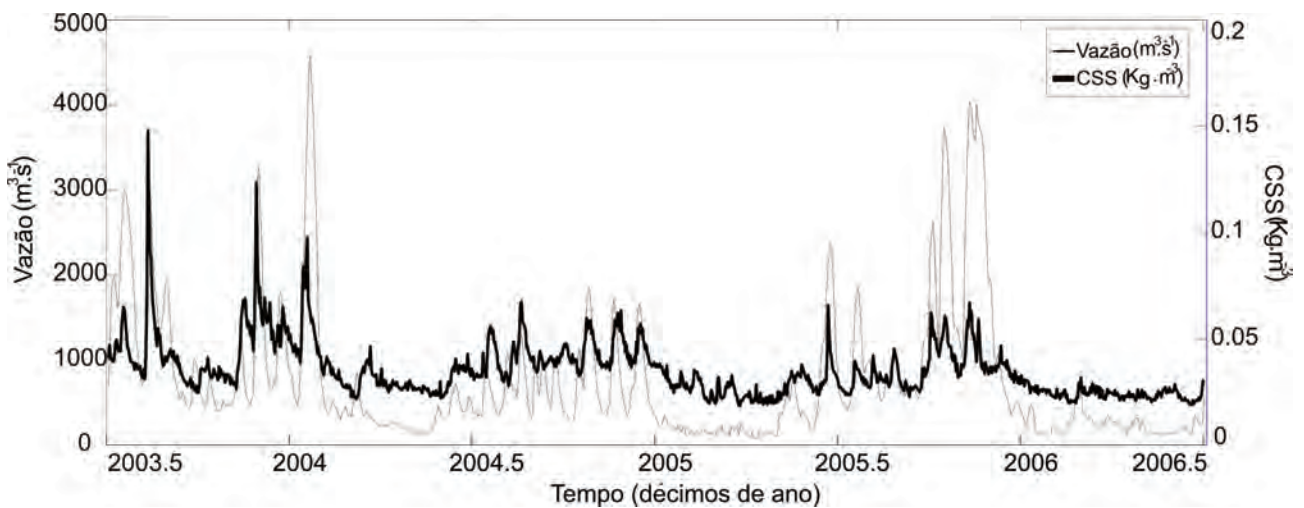


Figura 6. Séries temporais da descarga e CSS (linha cheia) diárias do rio Guaíba para o período de 2003 a 2006.

CSS para um mesmo valor de descarga aumenta em formato de um cone, o que representa a imprevisibilidade do CSS em sistemas fluviais. Isto se deve ao fato de que a CSS é função de diversos outros fatores além da descarga, tais como a ocupação do solo, disponibilidade de sedimentos, estação do ano

relacionada com fases de plantio na lavoura, intensidade das chuvas, etc (Rovira & Batalla, 2006). Desta forma, as primeiras chuvas após um período de estiagem produzem maiores CSS do que as posteriores, mesmo que estas resultem em descargas maiores.

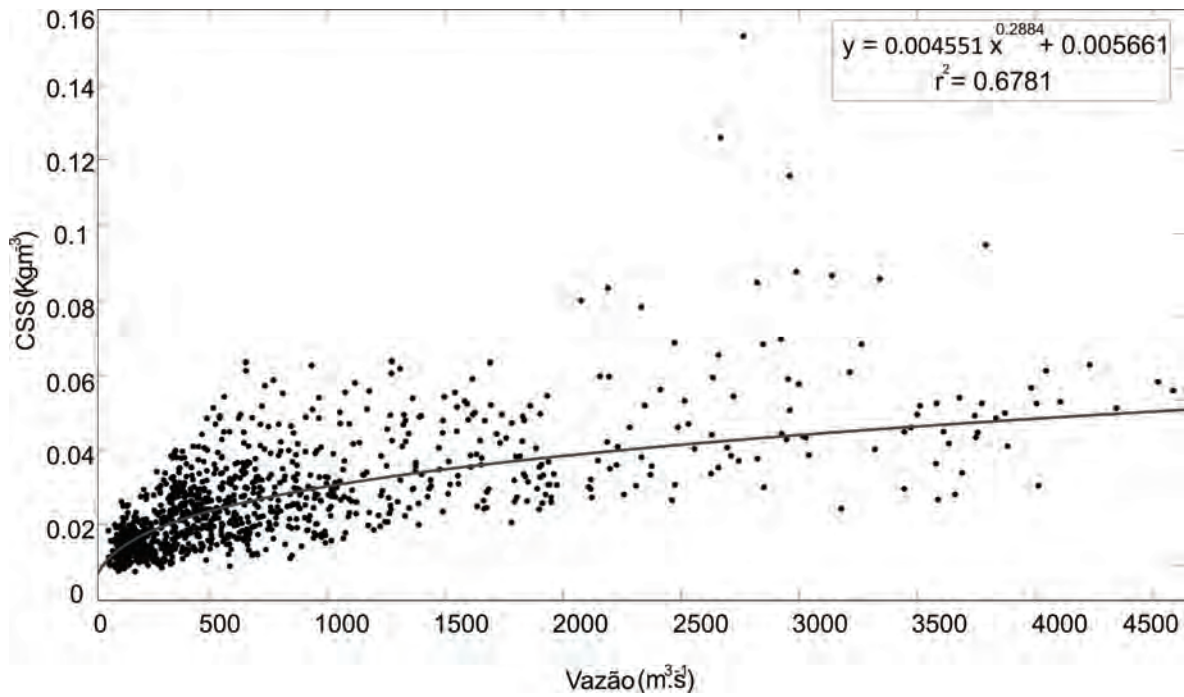


Figura 7. Relação da CSS em função da descarga do rio Guaíba.

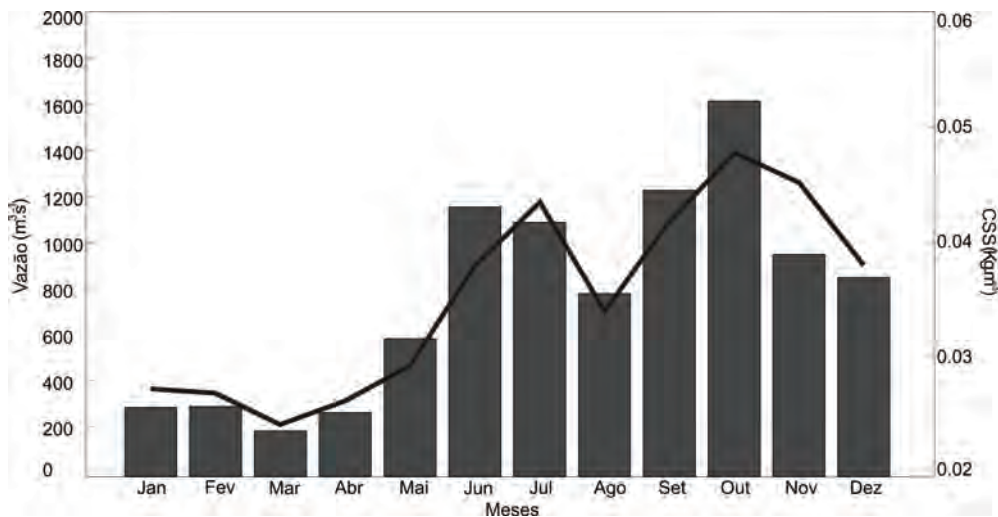


Figura 8. Variação mensal da descarga (barras) e da CSS (linha) do rio Guaíba para o período de 2003 a 2006.

Ainda que para um período relativamente curto de três anos, os valores médios mensais apresentaram um padrão sazonal definido da CSS (Fig. 8), como esperado para sistemas que possui variação sazonal da descarga (e.g. Rovira & Batalla, 2006). Os maiores valores de CSS ocorreram durante os meses de inverno, de junho a outubro, quando também ocorre os maiores valores de descarga. Nos meses entre janeiro a maio a descarga fluvial é menor, e o mesmo se dá com a CSS. O padrão de descarga é diretamente relacionado com a pluviometria, onde as taxas médias mensais históricas têm seus maiores valores entre os meses de junho e outubro (DNAE, 1983).

A série de DSS para o rio Guaíba é apresen-

tada na figura 9, como resultado do produto entre a descarga e a CSS média diária. Os maiores picos de DSS aconteceram em 2003 e 2004, sendo que o maior foi de 408 kg.s<sup>-1</sup> que foi observado em uma vazão de 2.763 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Outros dois picos expressivos de DSS foram de 368 kg.s<sup>-1</sup> para uma vazão de 3.790 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, e de 328 kg.s<sup>-1</sup> para uma vazão de 2.667 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Ocorreram outros picos menos expressivos entre 2005 e 2006, com valores de 222 e 271 kg.s<sup>-1</sup>, relacionados com picos de descarga de 3.678 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 4.044 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, respectivamente. Os maiores valores de descarga obtida nos últimos meses do período chuvoso não corresponderam aos maiores picos de DSS. Isto é explicado pelo processo de exaustão. No início da temporada de chuvas os sedimentos das



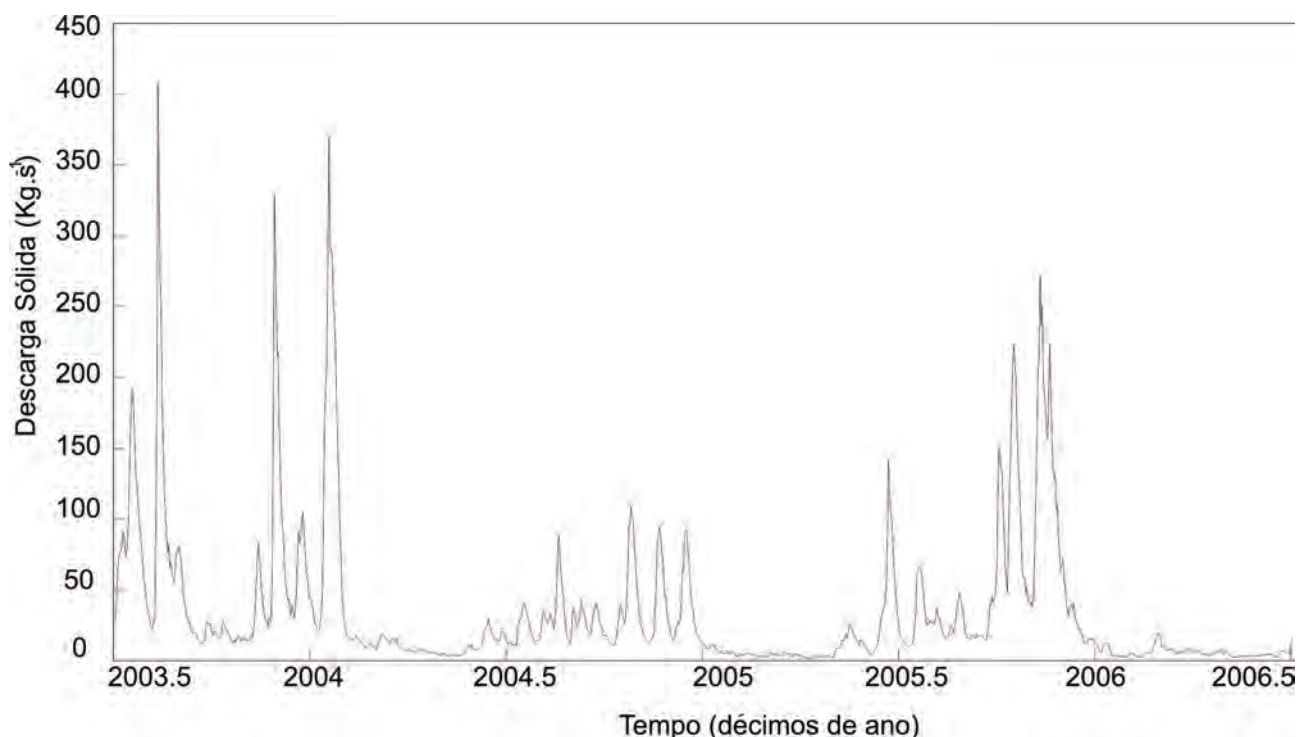


Figura 9. Série temporal da descarga sólida em suspensão do rio Guaíba.

encostas são mais facilmente erodidos pelo escoamento. Embora a descarga possa ser maior, a CSS não responde da mesma forma, e os sedimentos que são transportados pelo fluxo passam a ser oriundos do retrabalhamento das margens e do leito (Iadanza, 2006). Após períodos de alto transporte de sedimentos, estes tendem a escassear resultando na diminuição da CSS e DSS resultante (Walling, 1978).

Arbitrariamente, distinguindo a descarga em categorias de baixa descarga ( $< 1.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), eventos de descarga moderados (entre  $1.000$  e  $3.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) e elevados ( $> 3.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), o que representa quanto a DSS é da contribuição de 32, 47 e 21 % para cada categoria, respectivamente. Este padrão é distinto do obtido em outros sistemas fluviais. Meade & Parker (1985) encontraram que para diversos rios na América do Norte os eventos de alta descarga, ainda que de curta duração, são responsáveis pela maior parte da DSS anual. Gupta & Chakrapani (2005) observaram que um único evento no rio Narmada (Índia) contabilizou quase 50% da DSS anual. Schettini *et al.* (2002) obtiveram resultados em que a CSS no rio Itajaí-Açu (SC, Brasil) aumenta em duas ordens de magnitude durante eventos de alta descarga, e a DSS resultante de alguns picos contabiliza mais de 70 % da DSS anual.

Integrando a DSS média de todo o período para um ano, a DSS anual foi de  $1.100.000 \text{ t/ano}$ . Considerando a área da Lagoa dos Patos de  $10.000$

$\text{km}^2$ , e que a deposição dos sedimentos em suspensão é indicada pelas fácies lamosas que ocupam 60 % do fundo lagunar (Martins, 1989), obtemos um aporte sedimentar da ordem de  $0,11 \text{ kg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ . Considerando a densidade da camada superficial de sedimentos inconsolidados, da ordem de  $1.100 \text{ kg.m}^{-3}$  (e.g., Winterwerp & van Kesteren, 2004), têm-se uma taxa de sedimentação da ordem de  $0,18 \text{ mm}$  por ano devido ao aporte do rio Guaíba. Toldo Jr. *et al.* (2000) relataram taxa de sedimentação na Lagoa dos Patos de  $0,75 \text{ mm}$  por ano a partir de testemunhos e datação com Pb-210 na porção média da lagoa. As abordagens são bastante distintas, mas considerando o valor de DSS obtido para um período mais seco do que o normal, e que há outras fontes de sedimentos em suspensão, como o rio Camaquã e importação da plataforma através da Barra de Rio Grande (e.g. Hartmann & Schettini, 1991), surge uma concordância da magnitude entre os resultados.

## 5. Conclusões

Existe uma relação direta e não linear entre a CSS e a descarga do rio Guaíba e esta se apresenta variável no tempo. Distintamente de outros sistemas fluviais, a maior contribuição de DSS ocorre em condições de descarga moderadas. A CSS durante eventos de descarga elevada não aumenta

demasiadamente. A DSS do rio Guaíba para a Lagoa dos Patos, com base nos registros diários de CSS, foi de 1.100.000 t/ano, valor coerente em ordem de magnitude com resultados da taxa de sedimentação do fundo lagunar.

**Agradecimentos** - Os autores agradecem a DMAE por gentilmente ceder a base de dados de turbidez, e por disponibilizar seu laboratório para o procedimento de calibração do turbidímetro. A ANA pela disponibilização dos dados fluviométricos através do HIDROWEB. J. Andrade recebeu bolsa de mestrado da CAPES. L. Rigon recebeu bolsa de iniciação científica do CNPq. E. Toldo e C. Schettini são pesquisadores do CNPq.

## Referências

- Baisch, P. 1994. Les oligo-elements metalliques du systeme fluvio-lagunaire de du Patos, flux et devenir (Brésil). Bordeaux, 345p. Tese de Doutorado em Geologia Marinha. Universidade de Bordeaux I.
- Bachi, F.A., Barboza, E.G. & Toldo Jr. E.E. 2000. Estudos da sedimentação do Guaíba. In: *Ecossistemas* 17:32-35
- Calliari, J.L. & Fachin, S. 1993. Laguna dos Patos. Influência nos depósitos lamíticos costeiros. *Pesquisas em Geociências*, 20 (1): 57-69.
- Cunha, R. 1971. *O Estuário do Guaíba: características texturais, mineralógicas e morfológicas*. Porto Alegre, RS. 51p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio grande do Sul.
- DNAE. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. 1983. Ministério das Minas e Energia. Mecânica de correntes do Guaíba. Relatório Síntese.
- Förstner, U. & Wittmann, G.T.W. 1983. *Metal pollution in the aquatic environment*. Berlin, Springer-Verlag, 486p.
- Gupta, H.E. & Chakrapani, G.J. 2005. Temporal and spatial variations in water flow and sediment load in Narmada River Basin, India: natural and man-made factors. *Environmental Geology*, 48: 579-589.
- Hartmann, C. & Schettini, C.A.F. 1991. Aspectos hidrogeológicos na região da desembocadura da Laguna dos Patos, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, 21(4): 371-377.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1997. Geografia do Brasil. Região Sul, Vol 5. 534 p.
- Koepfen, W. 1948. *Climatologia: um estudo de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica. México, 478p.
- Lima, J.E.F.W., Lopes, W.T.A., Carvalho, N.D.O., Silva, E.M.D. & Vieira, M.R. 2007. Fluxo de sedimentos em suspensão no exutório de grandes bacias hidrográficas em território brasileiro. In: VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos.
- Livi, P. 1998. Elementos do Clima: os contrastes dos tempos frios e quentes. In: MENEGAT, R., PORTO, M. L., CARRARO, C. C., FERNANDES, L. A. D. (Orgs.) *Atlas Ambiental de Porto Alegre*, Editora da Universidade, UFRGS, p.73-78.
- Mano, V., Nemery, J., Belleudy, P. & Poirel, A. 2009. Assessment of suspended sediment transport in four alpine watersheds (France): influence of the climatic regime. *Hydrological Processes*, 23: 777-792.
- Martins, I.R., Villwock, J.L., Martins, L.R. & Bemvenuti, C.E. 1989. The Lagoa dos Patos Estuarine Ecosystem (RS, Brazil). *Pesquisas*, 22: 5-44.
- McCave, I.N. 1979 Suspended sediment. In: DYER, K.R. (Ed.) *Estuarine hydrography and sedimentation: a handbook*. Cambridge, Cambridge University Press, p.131-185.
- Meade R.H. & Parker R.S. 1985. *Sediment in rivers of the United States National Water*. Summary, Water Supply Paper, v. 2275, US Geological Survey, Reston VA, p. 40-60.
- Menegat, R., Porto, M.L, Carraro, C.C, Fernandes, L.A.D. *Atlas Ambiental de Porto Alegre*. 1998. Ed. Universidade / UFRGS. Capítulo 3: 36p.
- Milliman, J.D. & Meade, R.H. 1983. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *The Journal of Geology*, 91(1): 1-21.
- Möller, O.O. 1996. *Hydrodynamique de la Lagune dos Patos (30°S, Brésil)*. *Mesures et modélisation*. Bordeaux, 204 p. Thèse nouveau doctorat. Université de Bordeaux 1, France
- Parker, W.R. 1989. Definition and determination of the bed in high concentration fine sediment regimes. *Journal of Coastal Research*, 5(SI): 175-184.
- Reid, I., Barthurst, J.C., Carling, P.A., Walling, D.E. & Webb, B. 1997. Sediment erosion, transport and deposition. In: THORNE, C. R.; HEY, R. D. & NEWSON, M. D. *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. New York, John Wiley & Sons, p. 95-135.
- Rigon, L.T. 2009. *O fluxo de carga sólida em suspensão do Rio Guaíba*. Porto Alegre, 76p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Rodríguez-Blanco, M.L., Taboada-Castro, M.M. & Taboada-Castro, M.T. 2010. Sources and sediment yield from a rural catchment in humid temperate environment, NW Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35: 272-277.
- Rovira, A., & Batalla, R.J. 2006. Temporal distribution of suspended sediment transport in a Mediterranean basin the lower Tordera (NE SPAIN). *Geomorphology*, 79: 58-71.
- Schettini, C.A.F., Ricklefs, K., Zaleski, A.R. & Brandt, S. 2002. The role of the tide on the salt wedge displacement and mixing in the Itajaí estuary, southern Brazil. In: PHYSICS OF ESTUARIES AND COASTAL SEAS, 11, Hamburg. 11th International Biental Conference on Physics of Estuaries and Coastal Seas: *Extended abstracts*, 1: 9-12.
- Schettini, C.A.F. & Toldo Jr, E.E. 2006. Fine sediment transport modes in the Itajaí-Açu estuary, southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39 of the 8th INTERNATIONAL COASTAL SYMPOSIUM, 8, Proceedings, 515-519.

- Toldo Jr, E.E 1994. *Sedimentação, predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepraia e zona de surfe do sistema lagunar da Lagoa dos Patos, RS*. Tese Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Toldo Jr, E.E., Dillenburg, S.R., Corrêa, I.C.S. & Almeida, L.E.S.B. 2000. Holocene sedimentation in lagoa dos Patos lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 16(3): 816-822.
- Toldo Jr, E.E., Dillenburg, S.R., Corrêa, I.C., Almeida, L.E.S.B., Weschenfelder, J. & Gruber, N.L.S. 2006. Sedimentação de longo e curto período na Lagoa dos Patos, Sul do Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 36 (2): 79-86.
- Torres, R.J. 2000. *Uma análise preliminar dos processos de dragagem do porto de Rio Grande, RS*. Dissertação de mestrado em Engenharia Oceânica. Rio Grande, RS.
- UNESCO. 1988. River inputs to ocean systems: status and recommendations for research. Paris, UNESCO Technical Papers in Marine Science, n. 50, 25p.
- Vaz, A. C., Möller, O. Jr. & Almeida, T. L. 2006. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. *Revista Atlântica*, 28(1): 13-23.
- Walling, D.E. 1978. Suspended sediment and solute response characteristics of river Exe, Devon, England. In: DAVIDSON-ARNOTT, R., NICKLING, W. (Eds.). *Research in Fluvial Systems*, p. 167-197.
- Ward, A. D. & Trimble, S. W. 1995. *Environmental hydrology*. 2nd ed. New York: Lewis Publishers, 475p.
- Webb, B.W. & Walling, D.E. 1982. Magnitude and frequency characteristics of suspended sediment transport in Devon Rivers. In: Burt, T.P., Walling, D.E. (Eds.), *Catchment Experiments in Fluvial Geomorphology*, 399-415.

