

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO DO SISTEMA GUAÍBA, RS, E SUA  
VARIABILIDADE TEMPORAL.**

JOÃO SILVA DE ANDRADE NETO

ORIENTADOR – Prof. Dr .Carlos A. F. Schettini

CO-ORIENTADOR – Prof. Dr. Elírio E. Toldo Jr

Volume I

Porto Alegre 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO DO SISTEMA GUAÍBA, RS, E SUA  
VARIABILIDADE TEMPORAL.**

JOÃO SILVA DE ANDRADE NETO

ORIENTADOR – Prof. Dr. Carlos A. F. Schettini

CO-ORIENTADOR – Prof. Dr. Elírio E. Toldo Jr

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jorge Enoch Furquim Werneck Lima

Prof. Dr. Osmar Olinto Möller Júnior

Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

Dissertação de Mestrado apresentada como  
requisito parcial para a obtenção do Título  
de Mestre em Geociências.

Porto Alegre 2011

Andrade Neto, João Silva de

Descarga sólida em suspensão do sistema guaíba, rs, e sua  
variabilidade temporal. / João Silva de Andrade Neto.- Porto  
Alegre: IGEO/UFRGS, 2011.  
[48f.] il.

Dissertação (Mestrado). – Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS – BR,  
2011.

Orientação: Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini.

1. Sedimento em suspensão. 2. Descarga sólida. 3.  
Variabilidade temporal. 4. Rio Guaíba. I. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Guto por ter me orientado durante estes dois anos em que estive desenvolvendo a dissertação de mestrado. Agradeço ao meu coorientador Elírio Toldo Jr. por ter me orientado e apoiado.

Aos meus pais, Jucemar e Lindamir que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e me orientando, e a minha namorada, Morjana, que me ajudou muito durante estes dois anos me incentivando e apoiando.

Pelo apoio dos colegas: Carla, Lourival, Guilherme, Dominício, Rafael, Miguel, Letícia...

Agradeço pelo apoio e receptividade do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) da estação de bombeamento José Loureiro da Silva.

Agradeço ao auxílio das Bolsas de pesquisas CAPES.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO.....	vii
APRESENTAÇÃO.....	viii
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	xv
RESUMO.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
1.INTRODUÇÃO.....	1
2. ÁREA DE ESTUDO.....	4
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudos. Os círculos identificam o local das estações fluviométricas e o triângulo o local de captação de água no rio Guaíba. ....	7
Figura 2. Mapa hipsométrico do rio Guaíba, e localização dos pontos de captação 41B e da estação de bombeamento EBAB MD. Modificado de Nicolodi et. al (2010). ....	9
Figura 3. Regressão linear entre as medidas de concentração de sedimentos em suspensão (CCS) e valores de Nephelometric Turbidity Unit (NTU). ....	11
Figura 4. Variação da vazão média histórica do rio Jacuí entre os anos de 1985 a 2006. ....	13
Figura 5. Frequência de ocorrência de descargas médias anuais da série histórica de 21 anos do Jacuí (a) e frequência de ocorrência de descargas médias anuais Jacuí, Caí e Sinos, no período de 2003 a 2006 (b). ....	15
Figura 6. Variação da vazão média anual dos Rios Jacuí (a), Sinos (b) e Caí (c), no período de 2003 a 2006. ....	16
Figura 7. Somatório das vazões dos rios Jacuí, Caí e dos Sinos. ....	17
Figura 8. Variação média mensal da vazão e da concentração de sedimentos em suspensão no período de 2003 a 2006. As barras representam a vazão e a linha representa a concentração de sedimentos e m suspensão (CSS). ....	18
Figura 9. Variação anual da vazão e da concentração de sedimentos em suspensão no período de 2003 a 2006. ....	19
Figura 10. Correlação entre CSS no rio Guaíba e vazão média dos rios Jacuí, Caí e Sinos, no período de 2003 a 2006. ....	20
Figura 11. Variação da descarga sólida do rio Guaíba no período de 2003 a 2006. ....	22

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores das medidas de turbidez (NTU) e concentração de sedimentos em suspensão (CSS) em mg.l-1.....	11
Tabela 2. Anos de ocorrência de El Niño e intensidade do evento. Fonte CPTEC.....	12

## **ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno de um artigo submetido na Revista de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

- a) Introdução sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e a filosofia de pesquisa desenvolvida, o estado da arte sobre o tema de pesquisa, seguidos de uma discussão integradora contendo os principais resultados e interpretações deles derivadas.
  
- b) Artigo submetido a periódico com corpo editorial permanente e revisores independentes, escrito pelo autor durante o desenvolvimento de seu mestrado.



## APRESENTAÇÃO

O Rio Grande do Sul apresenta uma rica diversidade de feições geomorfológicas e ambientes lagunares e fluviais, destacando-se a Lagoa dos Patos, Lagoa Mirim e o rio Guaíba, os quais são grandes receptores e alguns exportadores de materiais.

Na Região Hidrográfica da Bacia do rio Guaíba encontra-se a porção mais densamente povoada do estado do Rio Grande do Sul, que concentra a maior parte das atividades industriais e comerciais. O rio Guaíba, o qual margeia a principal cidade do estado, é um grande receptor de sedimentos e descarga fluvial, recebendo em média uma vazão de  $1.493 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Torres, 2000), sendo um dos mais importantes recursos hídricos do estado, responsável pelo abastecimento de água para a cidade de Porto Alegre e uma via navegável estratégica para o comércio marítimo (Atlas Porto Alegre, 1998).

De acordo com Suguio (1986) os sedimentos são gerados a partir da ação física e química das rochas expostas ao intemperismo. As diferentes condições climáticas produzem diferentes processos, gerando diferentes tipos de sedimentos das rochas matrizes, sendo a ação das águas o agente mais importante pelo processo de intemperismo. Além dos processos naturais, as atividades antrópicas também possuem grande contribuição no aumento da concentração de sedimentos nos corpos aquosos, principalmente através do desmatamento e ocupação inadequada de encostas de rios.

Os sedimentos transportados por suspensão são compostos principalmente por argilos-minerais e silte, podendo representar 90% do total de material transportado (Ward e Trimble, 1995).

Os sedimentos em suspensão apresentam diversas implicações e desempenham um papel fundamental para a qualidade ambiental e o desenvolvimento sócio-econômico, eg. aporte sedimentar (Milliman e Meade, 1983; UNESCO, 1988), navegação (Parker, 1989), assoreamento de reservatórios, portos e a potencialização de inundações. Por apresentarem natureza coesiva e forte tendência em agregar poluentes solúveis, atuam na degradação da fauna e flora e na qualidade da água (Förstner e Wittmann, 1983; Schettini e Toldo, 2006). Além disso, os sedimentos em suspensão tem grande importância no metabolismo aquático, uma vez que são responsáveis pelo suprimento de nutrientes oriundos dos continentes para regiões estuarinas e marinhas

(Gupta e Chakrapani, 2005). No contexto geológico, a sua redução em áreas costeiras implica em processos de erosão, causando desequilíbrio sedimentar no sistema.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a variação temporal da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) de uma série de dados históricos de descarga fluvial dos rios que formam o baixo Rio Jacuí, o qual possibilitou avaliar a variação de contribuição de sedimentos em suspensão em uma considerável escala de tempo, permitindo estimar qual o volume de sedimentos exportado para os corpos receptores de água. Para isso, foram utilizados dados de vazões históricas e dados de turbidez das estações de tratamentos de água próximas aos rios.

Os dados históricos de vazão fluvial ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) dos principais rios que formam o Delta do Jacuí (Jacuí, Caí e Sinos), foram obtidos na Agência Nacional de Águas (ANA) os quais foram medidos nas estações fluviométricas entre junho de 2003 a maio de 2006:

Devido as falhas nos registros e falta de simultaneidade nas séries temporais de vazão dos rios, foi necessário realizar uma interpolação nos dados permitindo completar da melhor maneira possível. Uma regressão linear foi realizada com os dados dos rios Jacuí e Caí com a finalidade de completar as falhas existentes nos dados históricos de vazão do rio Caí.

A medição da turbidez no rio Guaíba, vem sendo acompanhada há alguns anos pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto DMAE, órgão municipal responsável pelo abastecimento de água da região metropolitana de Porto Alegre, com o objetivo de monitorar, dentre outros, os níveis de material particulado em suspensão contidos na água captada do rio Guaíba.

Os dados de turbidez abrangem 13062 medições obtidas entre o período junho de 2003 e maio de 2006, as quais foram realizadas simultaneamente a coleta das amostras de água, a intervalos de duas horas, através de turbidímetro portátil da marca Hach modelo 2100P que fornece o sinal em *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Estes dados foram transformados em médias diárias e convertidos para  $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

A conversão dos dados de turbidez teve por objetivo transformar a unidade de turbidez NTU para uma unidade de massa de sedimentos  $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$  para posterior cálculo do fluxo de massa de sedimentos em suspensão. Este procedimento consistiu na confecção de uma curva de calibração com a finalidade de estabelecer a relação entre as duas variáveis, unidade de turbidez NTU e CSS em  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Para tal,

foram coletados 300 litros de água para realização de procedimentos de decantação e sifonamento, visando obter uma alta concentração de sedimentos em suspensão.

A amostra concentrada foi diluída em diferentes concentrações, nas quais foram realizadas leituras utilizando um turbidímetro, e coletas em tréplicas de amostras de água sinópticas a medição de turbidez. A concentração das amostras foi determinada através de filtração com membranas de acetato de celulose com abertura entre poros de  $0,45\mu\text{m}$ .

Posteriormente a massa encontrada foi dividida pelo volume filtrado,  $\text{Kg.m}^{-3}$ . Desta forma foi realizada uma regressão linear entre os dados de CSS obtidos por filtragem e as leituras em NTU obtidas no turbidímetro, o que possibilitou a determinação de uma equação de conversão, com coeficiente de explicação  $r^2 = 0,98$  a qual foi aplicada nas séries históricas de turbidez.

A análise da variabilidade dos sedimentos em suspensão foi estruturada na obtenção da relação entre descarga líquida média dos rios (Jacuí, Caí e Sinos), e a concentração de sedimentos em suspensão. A variação da descarga fluvial em relação à sazonalidade também foi verificada, buscando averiguar as diferenças interanuais e entre os meses existentes.

Análises de eventos extremos que representam valores acima da média, tanto na descarga líquida quanto na concentração de sedimentos em suspensão, foram relacionadas a tendências com eventos climáticos como El Niño.

Por fim, foi estimada a descarga sólida referente aos anos de 2003 a 2006 através da multiplicação dos dados médios de descarga líquida e da concentração de sedimentos em suspensão para o local de captação do DMAE.

Diversos estudos foram realizados no rio Guaíba, na Lagoa dos Patos e em seu estuário. Uma vez que o rio Guaíba apresenta-se como um grande exportador de sedimentos, estes sistemas estão diretamente conectados, podendo ocorrer a decantação dos sedimentos na laguna ou sua exportação para plataforma adjacente.

Möller (1996) classificou o ritmo de escoamento dos tributários do rio Guaíba e da Lagoa dos Patos como típicos de médias latitudes, apresentando uma baixa a moderada descarga durante o verão e o outono e alta descarga no fim do inverno e início da primavera.

Em estudos de vazões máximas e mínimas, o rio Guaíba apresentou valores de  $15.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  durante o inverno e mínima de  $41 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  nos períodos de estiagem, verão e outono (Torres, 2000).

A descarga líquida média anual do rio Guaíba para a Lagoa dos Patos foi estimada por Vaz et al.(2006), o qual encontrou valores da ordem de  $1.463 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Além disto, também estimou a descarga média anual dos outros dois principais tributários que desembocam na Lagoa dos Patos, como o rio Camaquã e o canal de São Gonçalo, e verificou que a soma da descarga média de água doce para a Lagoa dos Patos atingi valores de  $2.400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Outros estudos sobre a descarga líquida do rio Guaíba para a Lagoa dos Patos foram desenvolvidos por Baisch (1994) que estimou uma vazão média anual de  $878 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e por Rigon (2009) que encontrou valores de  $1493 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Os sedimentos transportados pelos rios de uma bacia hidrográfica possuem como fonte as rochas mães e dos solos presentes na área da bacia hidrográfica.

A área drenada pelo sistema que compõe a Lagoa dos Patos é constituída em 35% por formações do escudo Sul Riograndense, 35% pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, 20% da formação Bacia do Paraná e 10% por sedimentos de planície costeira (Delaney, 1965).

De acordo com Rigon (2009) os sedimentos em suspensão transportados pelo rio Guaíba tem sua principal origem da Formação Serra Geral, Borda sul da Bacia do Paraná e dos sedimentos contidos na planície costeira.

A maior parte do volume de sedimentos que é depositado na Lagoa dos Patos é proveniente da bacia sudoeste (Martins et al., 1981), que drena as terras altas do norte, com altitudes entre 500 e 1000 m, as terras baixas do oeste com elevações entre 100 e 500 m e a planície costeira com altitudes menores que 100m (Toldo, 1994).

De acordo com Baisch (1994) a contribuição de sedimentos para a lagoa dos Patos é realizada principalmente por materiais sólidos em suspensão e estimou que 18% da descarga sólida provêm do rio Camaquã e 82% do rio Guaíba, este último, resulta em um transporte médio em torno de 4 milhões de toneladas de sedimentos em suspensão para a Lagoa dos Patos por ano.

Rigon (2009) realizou uma estimativa da descarga sólida em suspensão do rio Guaíba para a laguna, e encontrou valor na ordem de 1 milhão de toneladas por ano.

Estudos realizados por Toldo et al. (2006) demonstraram que as altas taxas de sedimentação na Lagoa dos Patos acuradas nos últimos 150 anos implicaram em impactos ambientais no sistema, e foram causadas pela carência de manejo nas áreas de drenagem da bacia.

De acordo com Toldo et al. (2000) a taxa de sedimentação na Lagoa dos Patos é de 0,75 mm/ano, obtida através de medidas isotópicas com  $^{210}\text{Pb}$ , equivalente a 4,5 milhões de  $\text{m}^3$  por ano.

Bachi (2000), Calliari et al.(1993) e Nogueira et al.(2006) também realizaram estudos sobre a sedimentação do ambiente lagunar Lagoa dos Patos e da plataforma adjacente e constataram uma forte influência das condições climáticas na bacia de drenagem do rio Guaíba sob a hidrodinâmica e os parâmetros sedimentológicos destes sistemas.

Alguns estudos que discorrem sobre a hidrodinâmica foram realizados por Möller (1996), que aplicou um modelo 3D na lagoa dos patos e determinou que o vento é o principal modelador dinâmico do sistema e Nicolodi (2007) que também aplicou um modelo matemática para determinar o padrão de ondas no rio Guaíba e sua influencia nos processos de sedimentação.

A obtenção dos resultados partiu primeiramente de uma comparação e validação dos dados de vazão do rio Guaíba que compreendem o período de 2003 a 2006 com uma série histórica de 21 anos. De acordo com teste estatístico os dados de vazão mostraram correlação, apesar do período de 2003 a 2006 apresentar uma descarga líquida média ( $781 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) inferior em relação ao período da série histórica de 21 anos e demonstrar que eventos extremos de descarga líquida foram exceções no período estudado.

A variação média mensal da vazão em  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pela variação média mensal da concentração de sedimentos em suspensão em  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  entre os anos de 2003 e 2006, indica que nos meses de junho, julho, setembro e outubro, ocorreram os maiores valores de vazão, representando 52% do total anual dos 4 anos de amostragem, como comprovado por Vaz (2006). Nos meses entre janeiro a maio, que correspondem as estações de verão, a descarga fluvial apresentou-se baixa em comparação aos outros meses. Os maiores valores de CSS foram registrados nos meses de julho, outubro e novembro, representando juntos 32.3 % do total anual dos 4 anos.

A associação da descarga fluvial e a contribuição de sedimentos em suspensão durante os 4 anos (2003-2006) apresentou uma correlação com um coeficiente de explicação  $r^2 = 0,6781$ . Esta relação apresentou-se significativa, uma vez que a partir do teste de significância verificou-se que, a partir de um nível de confiança de 95%, há uma correlação significativa dos dados ( $p < 0,05$ ). Isto leva a crer que o fator dominante na variação da concentração de sedimentos em suspensão é a vazão, pelo fato da

variação da vazão explicar 67% da concentração de sedimentos em suspensão. Mas indica também que a variação da concentração de sedimentos em suspensão não é somente controlada pelas propriedades hidráulicas, pelo fato da variação da vazão explicar 67% da concentração de sedimentos em suspensão. Desta forma, outros fatores naturais e antrópicos como barragens e cultivos agrícolas que necessitam de grande demanda de recursos hídricos para o cultivo também influenciam na concentração de sedimentos em suspensão.

A descarga sólida em suspensão (DSS) média anual nos anos amostrados apresentou variação, sendo que a média de DSS dos 4 anos foi de 1.098.500 t/ano. Os maiores valores de sedimentos em suspensão transportados estão associados a vazão entre 1.000 e 2.999 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e representaram 47,2% do total entre 2003 e 2006.

Verificou-se também que os maiores valores de vazão que ocorreram nos últimos meses do ciclo hidrológico não corresponderam aos maiores picos de descarga sólida, isso deve-se ao fato que no início das temporadas de chuvas, os sedimentos das encostas são facilmente erodidos pelo escoamento, ocasionando uma diminuição na taxa de fornecimento de materiais no fim dos ciclos hidrológicos. Embora a vazão do rio continue aumentando, as concentrações de sedimentos em suspensão não respondem de acordo com a descarga líquida, e os sedimentos que são transportados pelo fluxo passam a ser oriundos das margens e leitos dos rios (Iadanza, 2006). De acordo com Walling (1978), após períodos de alto transporte de sedimentos, estes começam a ficar cada vez mais escassos, e os registros das concentrações de sedimentos durante meses consecutivos passam a ser baixos. Este processo é denominado de fenômeno de exaustão.

Rovira (2006) também destaca que, em muitos casos as propriedades hidráulicas do fluxo do rio não são os únicos responsáveis pelas respostas nas concentrações de sedimentos, mas também o suprimento de sedimentos, a intensidade e distribuição espacial das chuvas, a quantidade e taxas de escoamento e as distâncias dos locais de enxurrada até os canais principais.

O valor estimado de DSS transportado para a Lagoa dos Patos entre os 4 anos (2003 a 2006) de 1.098.500 t/ano apresentou similaridade ao encontrado em outros estudos. Desta forma, levando em conta que a área superficial da Lagoa dos Patos é na ordem de 10.000 km<sup>2</sup> (Toldo et al, 2006) e o aporte médio anual de sedimentos em suspensão que recebe é de aproximadamente 1.100.000 t/ano, podemos estimar que o aporte de sedimentos por unidade de área na Lagoa dos Patos gira em torno de 0,11

kg/m<sup>2</sup>.ano. Considerando que a camada superficial de sedimentos inconsolidados apresentam uma densidade da ordem de 1100 kg.m<sup>3</sup>, dividindo o aporte de sedimentos em suspensão de 0,11 kg/m<sup>2</sup> pela densidade de 1100 kg.m<sup>3</sup>, obtemos uma taxa de sedimentação de 0,1mm/ano.

De acordo com Martins (1989) aproximadamente 60 % da área do piso lagunar da Lagoa dos Patos é constituída por lama. Levando em consideração que o rio Guaíba é responsável pelo aporte de 85 % do volume introduzido na Lagoa dos Patos (Vaz, 2006), pode-se considerar que 50% da lama que é depositada na Lagoa dos Patos é proveniente do rio Guaíba. Desta forma, extrapolando os valores de taxa de deposição podemos estimar uma taxa na ordem de 0,2mm/ano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atlas Ambiental de Porto Alegre. 1998. Ed. Universidade / UFRGS. Capítulo 3: 36p.

Bachi, F. A., Barboza, E. G., Toldo Jr E. E. 2000. Estudos da sedimentação do Guaíba. In: *Ecos* 17: 32 -35

Baisch, P. 1994. Les oligo-elements metalliques du systeme fluvio-lagunaire dos Patos, Flux et devenir (Bresil). Bordeaux, 345p. Tese de Doutorado em Geologia Marinha. Universidade de Bordeaux.

Calliari, J. L., Fachin, S. 1993. Laguna dos Patos. Influência nos Depósitos Lamíticos Costeiros. *Revista Pesquisas em Geociências*, 20 (J): 57-69.

Delaney, P. J. V. 1965. Fisiografia e geologia de superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. Publicação Especial da Escola de Geologia da UFRGS, Porto Alegre, 6:1-105.

Förstner, U. and Wittmann, G.T.W. 1983. Metal pollution in the aquatic environment. Berlin: Springer-Verlag, 486.

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. *Environ Geology*, 48: 579-589.

Iadanza, C., Napolitano, F., 2006. Sediment transport time series in the Tiber River. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31: 1212–1227.

Martins, L.R.,Urien,C.M.,Martins,I.R.,1981. Evolução geológica do quaternário do litoral atlântico uruguaio e regiões vizinhas.Notas técnicas, UFRGS(3):7–43.

Milliman, J.D. and 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. Hydridynamique de la Lagune dos Patos (30°S, Brésil). Mesures et modélisation. Bordeaux, 204 p. Tese de Doutorado. Universidade de Bordeaux, França.

Nicolodi, J.L. 2007. O padrão de ondas no Lago Guaíba e sua influência nos processos de sedimentação. Porto Alegre, 195p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Nogueira, R. M. 2006. Aspectos hidrodinâmicos da Lagoa dos Patos na formação do depósito lamítico ao largo da praia de Cassino. 64 p. Dissertação Mestrado, Pós-graduação de engenharia em ciências em engenharia oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Parker, W.R. 1989. Definition and determination of the bed in high concentration fine sediment regimes. *Journal of Coastal Research*, 5(SI):175-184.

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.

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. and Toldo Jr., E.E. 2006. Fine sediment transport modes in the Itajaí-Açu Estuary, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39 Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, 515 - 519.

Suguio, K.; Matin, L.; Flexor, J. M.; Azevedo, A. E. G. 1986. The Quaternary sedimentary deposits in the State of Paraná and Santa Catarina coastal plains. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, Balkema, v.4: 3-25

Toldo, 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. Ph.D. thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Toldo JR, E.E; Dillenburg, S.R; Corrêa, I.C.S; 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. *Revista 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. 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*. 167–197.

Ward, A. D.; Trimble, S. W. 1995. *Environmental hydrology*. 2nd ed. New York: Lewis Publishers, 475p .

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a variação temporal da concentração de sedimentos em suspensão de uma série de dados históricos (2003 a 2006) de descarga fluvial dos rios que formam o baixo Rio Jacuí. Para isso, foram utilizados dados de vazões ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ) históricos da Agência Nacional de Águas (ANA) e dados de turbidez das estações de tratamentos de água, Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) próximas aos rios. Os resultados demonstraram que o transporte de sedimentos em suspensão apresentou variabilidade ao longo do tempo. Esta variação pode ser atribuída tanto a fenômenos climáticos como interferências antrópicas. A correlação encontrada entre os dados de vazão e de concentração de sedimentos em suspensão apresentou-se moderada, sugerindo que a concentração de sedimentos em suspensão varia conforme a vazão, mas que outros fatores naturais e antropogênicos também apresentam uma contribuição na variação da concentração de sedimentos em suspensão. Eventos de vazão com grandes picos são exceções, e a maior parte dos sedimentos em suspensão são transportados com valores de vazões entre 1.000 e  $2.999 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e representaram 47,2% do total. O valor médio de descarga sólida transportada para a Lagoa dos Patos entre os períodos de 2003 a 2006 foi de 1.098.500 t/ano, o que representa uma exportação de mais de  $400.000 \text{ m}^3$  de sedimentos da bacia de drenagem do rio Guaíba para os sistemas deposicionais lagunares e, posteriormente a plataforma continental adjacente.

## ABSTRACT

The aim of this research was evaluate the temporal variability of suspend sediments concentration in a historical data series (2003 to 2006) of fluvial discharge in the rivers which form the low Jacuí river. Thereunto, it was used historical fluvial discharge data ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) by Agência Nacional de Águas (ANA) and turbidity data by water treatment station, Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) near the rivers. The results demonstrated that transport of suspend sediment presents variability over time. This variation can be attributed as climate phenomenon as human interferences. The relationship between the fluvial discharge and the suspend sediments concentration is moderated, suggesting that the suspend sediments concentration varies according to the fluvial discharge, but the natural and human factors also presents a contribution in the variation of suspend sediments concentration. Fluvial discharge events with huge spikes are exception, and the most part of this suspend sediments are carried by fluvial discharge between 1,000 at 2,999  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , that represents 47.2% of total. The average solid discharge value carried to Lagoa dos Patos between the years 2003 and 2006 was 1,098,500 t/year, which represent sediments exportation of more than 400,000  $\text{m}^3$  of the drainage basin Guaíba river to lagoon depositional systems and, later adjacent inner shelf.

## 1. INTRODUÇÃO

Sedimentos são materiais granulares formados por detritos rochosos, resultantes da erosão, que podem decantar na água devido a ação da gravidade (Winterwerp e Kesteren, 2004). Os que apresentam tamanho de grão maior que 0,062 mm são denominados sedimentos grosseiros (areia e seixos) e aqueles com tamanho menor denominam-se siltes (de 0,062 a 0,0039 mm) e argilas (de 0,0039 a 0,00006 mm).

De acordo com Suguio (1986) os sedimentos são gerados a partir da ação física e química das rochas expostas ao intemperismo. As diferentes condições climáticas produzem diferentes processos, gerando diferentes tipos de sedimentos das rochas matrizes, sendo a ação das águas o agente mais importante pelo processo de intemperismo. Além dos processos naturais, as atividades antrópicas também possuem grande contribuição no aumento da concentração de sedimentos nos corpos aquosos, principalmente através do desmatamento e ocupação inadequada de encostas de rios.

Uma vez intemperizados, os sedimentos podem ser transportados pela água, vento ou gelo, sendo a água o principal meio de transporte dos continentes para os oceanos (Dyer, 1986). Os sedimentos ainda podem ser transportados por três modos: arrasto, saltação ou suspensão. Nos sedimentos transportados por saltação ou arrasto, que apresentam composição granulométrica mais grossa, o movimento é regido basicamente pela gravidade, sendo que uma parcela do total de carga transportada apresenta um contato contínuo com o fundo, sendo este transporte denominado de descarga sólida de fundo. Essa descarga apresenta um importante papel na manutenção da diversidade ecológica e no habitat destes sistemas fluviais (Cazanacli et al., 2002; Lisle, 1989).

Os sedimentos transportados por suspensão são compostos principalmente por argilos-minerais e silte, podendo representar 90% do total de material transportado (Ward e Trimble, 1995). De acordo com McCave (1979), os sedimentos em suspensão são definidos como um total de sólidos que se mantém em suspensão na água por ação da turbulência e que podem ser determinados através de filtragem. A permanência dos sedimentos na coluna d'água ocorre devido a força de sustentação que age no sentido oposto a gravidade, obrigando a ascensão da partícula e o transporte em suspensão em direção a jusante do sistema.

A variabilidade temporal dos sedimentos em suspensão é muito elevada, resultante das variações de descarga líquida e suprimento de sedimentos, que

normalmente apresenta altos valores em períodos de altas descargas. Logo, a maior parte do sedimento em suspensão é transportada em curtos períodos ao longo do ano, geralmente durante poucos eventos hidrológicos extremos (Webband e Walling, 1982; Mano et al., 2009; Rodríguez-Blanco et al., 2010). Reid et al. (1997) exemplifica estas variações nos sistemas fluviais através de fatores como a variação temporal do hidrograma em relação ao uso e ocupação de terras; declividade da bacia hidrográfica; intensidade de chuvas; temperatura antecedente e condições de umidade e descarga líquida.

Os sedimentos em suspensão apresentam diversas implicações e desempenham um papel fundamental para a qualidade ambiental e o desenvolvimento sócio-econômico, eg. aporte sedimentar (Milliman e Meade, 1983; UNESCO, 1988), navegação (Parker, 1989), assoreamento de reservatórios, portos e a potencialização de inundações. Por apresentarem natureza coesiva e forte tendência em agregar poluentes solúveis, atuam na degradação da fauna e flora e na qualidade da água (Förstner e Wittmann, 1983; Schettini e Toldo, 2006). Além disso, os sedimentos em suspensão têm grande importância no metabolismo aquático, uma vez que são responsáveis pelo suprimento de nutrientes oriundos dos continentes para regiões estuarinas e marinhas (Gupta e Chakrapani, 2005). No contexto geológico, a sua redução em áreas costeiras implica em processos de erosão, causando desequilíbrio sedimentar no sistema.

A determinação da descarga sólida em suspensão pode ser realizada indiretamente através dos parâmetros hidráulicos de uma secção ou trecho do rio e das características dos sedimentos, ou de forma direta, com medição direta da concentração de sedimentos em suspensão e dos parâmetros hidráulicos de uma secção ou trecho do rio (Scapin, 2005).

Na Região Hidrográfica da Bacia do rio Guaíba encontra-se a porção mais densamente povoada do estado do Rio Grande do Sul, que concentra a maior parte das atividades industriais e comerciais. O rio Guaíba, o qual margeia a principal cidade do estado, é um grande receptor de descarga fluvial recebendo em média uma vazão de  $1.493 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Torres, 2000), sendo um dos mais importantes recursos hídricos do estado, responsável pelo abastecimento de água para a cidade de Porto Alegre e uma via navegável estratégica para o comércio marítimo (Atlas Porto Alegre, 1998).

O objetivo do presente trabalho é avaliar a variação temporal da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) de uma série de dados históricos de descarga fluvial

dos rios que formam o baixo Rio Jacuí. Para isso, serão utilizados dados de vazões históricas e dados de turbidez das estações de tratamentos de água próximas aos rios.

## 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, que está situada no centro e no nordeste do estado apresentando uma área de 84.763,5 km<sup>2</sup> (Fig. 1).

A Bacia Hidrográfica do rio Guaíba, no baixo curso do Rio Jacuí, é composta por 8 bacias que desembocam no rio Guaíba, destacando-se as bacias hidrográficas dos Rios Jacuí, Caí, Sinos e Gravataí, sendo estas formadoras da região denominada de Delta do Jacuí, apresentando uma área de 47,18 km<sup>2</sup> e com uma contribuição de vazão média de 1.493m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (Torres, 2000).

A bacia do rio Jacuí está localizada entre as coordenadas geográficas de latitudes de 28°10' e 30°45'S e longitudes de 49°55' e 54°35'W. As principais nascentes deste rio estão situadas no planalto gaúcho em uma altitude de 730 m e seu comprimento total é de aproximadamente de 710 km. Dentre seus afluentes destaca-se a bacia do Rio Taquari, com uma área de 10.893 km<sup>2</sup>, que engloba importantes rios como: Taquari, Forqueta e Guaporé. A bacia do rio Jacuí apresenta a cota altimétrica mais baixa de 100m e mais alta de 832 m, e vazão média de 452 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (Lima, 2007). A bacia hidrográfica do Rio Jacuí corresponde a 25% da área total do estado e a 83,5% da área da região hidrográfica do rio Guaíba, com uma área de 71.600 km<sup>2</sup>. Ao longo dos tributários da bacia do rio Jacuí encontra-se estruturas de barragens como a barragem de Itaúba, Passo real, Dona Francisca e a principal próxima a região de Porto Alegre a barragem de Bom Retiro.

A bacia hidrográfica do rio Caí situa-se entre as coordenadas de latitude de 29°06' e 30°S e longitudes de 50°24' e 51°40'W. Composta por duas regiões, ela está dividida nas encostas superiores da bacia, conhecida como Serra Gaúcha e na parte inferior da bacia conhecida como Vale do Caí. Esta bacia apresenta uma área de drenagem de 5.057,25 km<sup>2</sup>, o que representa 1,79% do território do Rio Grande do Sul. A contribuição da descarga para o Delta do Jacuí é equivalente a 2,6% do total que o sistema deltaico recebe.

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos está localizada entre os paralelos 29° e 30° S a nordeste do estado do Rio Grande do Sul e encontra-se delimitada à leste pela Serra Geral, à oeste e norte pela bacia do Caí e ao sul pela bacia do Gravataí. Esta bacia hidrográfica do rio Dos Sinos possui uma área de 3.820 km<sup>2</sup>, equivalente a 4,5% da



bacia do rio Guaíba e 1,5% da área total do Rio Grande do Sul. Apresenta uma precipitação pluviométrica anual de 1.350mm e um curso de água principal com uma extensão de aproximadamente 190 km

O rio Guaíba estende-se desde o Delta do Jacuí até a ponta de Itapuã ao 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 bi-dimensional, podendo ser longitudinais e transversais ao seu canal. (Atlas Porto Alegre, 1998).

A Lagoa dos Patos desenvolve-se paralelamente à linha de costa, no sentido NE-SW, ocupando aproximadamente um terço de toda área da planície costeira do estado do Rio Grande do Sul. A laguna possui uma largura média de 40 km, comprimento de 240 km, uma profundidade média de 6 m e uma área superficial de aproximadamente 10.000 km<sup>2</sup>, sendo considerada a maior laguna do Brasil. Possui apenas um canal de comunicação, com o Oceano Atlântico na extremidade sul, onde a contribuição da descarga média é de 4.800 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (Toldo et al, 2006).

Segundo a classificação de Koppen (1948) o clima da região da bacia do rio Guaíba classifica-se como subtropical úmido, com temperaturas médias anuais entre de 14°C e 18°C (IBGE, 1977) e com chuvas bem distribuídas com a precipitação anual média de 1324 mm (Livi, 1998).

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 uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Guaíba foi determinado por Rossato e Martins (2001), que quantificaram 726,9 km<sup>2</sup> de mata nativa, 95,6 km<sup>2</sup> de florestamento, 917,4 km<sup>2</sup> de campos, 247,5 km<sup>2</sup> de cultivo, 317,8 de solo exposto e 121,8 de áreas urbanizadas.

Em termos mineralógicos pode-ser dizer que as formações pleistocênicas são as principais fontes de material e que os terrenos drenados da bacia hidrográfica do rio Guaíba são formados por rochas plutônicas, vulcânicas e sedimentares, as quais representam a fonte da grande parte dos volumes de sedimentos transportados para o rio Guaíba (Toldo Jr, 1994 e Cunha, 1971).

Diversos estudos foram realizados no rio Guaíba, na Lagoa dos Patos e em seu estuário. Uma vez que o rio Guaíba apresenta-se como um grande exportador de sedimentos, estes sistemas estão diretamente conectados, podendo ocorrer a decantação

dos sedimentos na laguna ou sua exportação para plataforma adjacente. Estudos realizados por Toldo et al. (2006) demonstraram que as altas taxas de sedimentação na Lagoa dos Patos acuradas nos últimos 150 anos implicaram em impactos ambientais no sistema, e foram causadas pela carência de manejo nas áreas de drenagem da bacia. De acordo com Toldo et al. (2000) a taxa de sedimentação na Lagoa dos Patos é de 0,75 mm/ano, obtida através de medidas isotópicas com  $^{210}\text{Pb}$ , equivalente a 4,5 milhões de  $\text{m}^3$  por ano. Estudos antecedentes como de Rigon (2009) e Baisch (1994) realizaram uma estimativa da descarga sólida em suspensão do rio Guaíba para a laguna, e encontraram valores na ordem de 1 e 4 milhões de toneladas por ano respectivamente. Também se pode citar estudos como Vaz *et al.* (2006) que estabeleceu uma média mensal da contribuição de água de cada um dos tributários que compõem a Lagoa dos Patos. Bachi (2000), Calliari et al.(1993) e Nogueira et al.(2006) também realizaram estudos sobre a sedimentação do ambiente lagunar Lagoa dos Patos e da plataforma adjacente e constataram uma forte influência das condições climáticas na bacia de drenagem do rio Guaíba sob a hidrodinâmica e os parâmetros sedimentológicos destes sistemas. Outros estudos que discorrem sobre a hidrodinâmica foram realizados por Möller (1996), que aplicou um modelo 3D na lagoa dos patos e determinou que o vento é o principal modelador dinâmico do sistema e Nicolodi (2007) que também aplicou um modelo matemática para determinar o padrão de ondas no rio Guaíba e sua influencia nos processos de sedimentação.

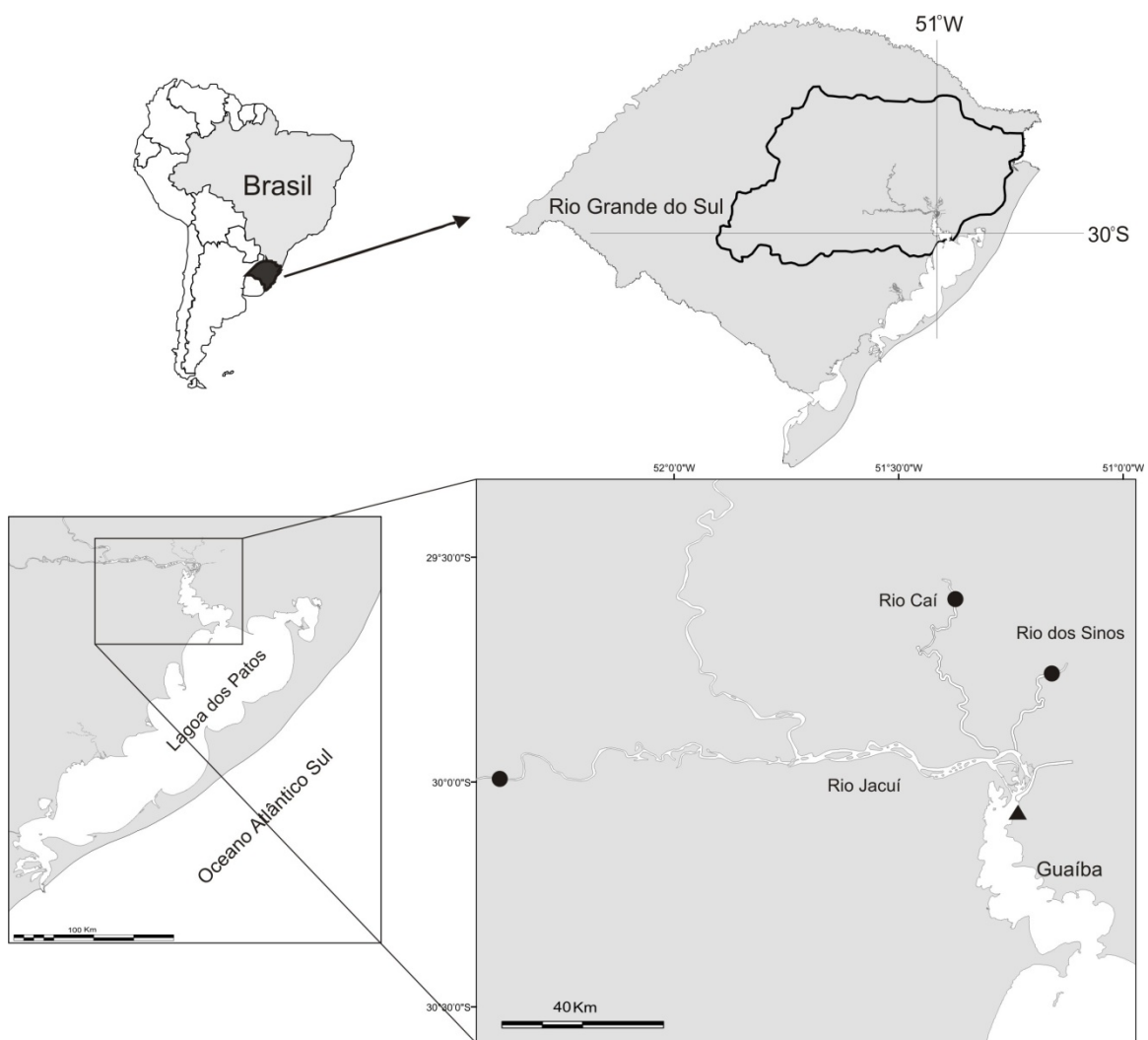


Figura 1. Localização da área de estudos. Os círculos identificam o local das estações fluviométricas e o triângulo o local de captação de água no rio Guaíba.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Na Agência Nacional de Águas (ANA) foram obtidos os dados históricos de vazão fluvial ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) dos principais rios que formam o Delta do Jacuí (Jacuí, Caí e Sinos), os quais foram medidos nas estações fluviométricas: Rio Pardo (Jacuí) com uma série histórica de 1939 a 2006; São Leopoldo (Sinos) de 1973 a 2006 e Barca do Caí (Caí) de 1947 a 2006. No entanto, para a estimativa da descarga sólida, foram utilizados os dados entre junho de 2003 à maio de 2006 no local de captação de água no rio Guaíba (Fig. 1).

Levando em conta que o rio Jacuí é o principal provedor de descarga líquida para o rio Guaíba, foi realizada uma análise em toda série histórica temporal de vazão com o intuito de verificar qual é a representatividade destes 3 anos (2003 a 2006) de dados a serem analisados para descarga sólida. A análise desta série histórica temporal do Jacuí foi focada principalmente nos padrões de variação da vazão e na identificação de eventos extremos.

Devido as falhas nos registros e falta de simultaneidade nas séries temporais de vazão dos rios, foi necessário realizar uma interpolação nos dados permitindo completar da melhor maneira possível. Uma regressão linear foi realizada com os dados dos rios Jacuí e Caí com a finalidade de completar as falhas existentes nos dados históricos de vazão do rio Caí. A equação obtida da regressão apresentou um coeficiente de explicação  $r^2 = 0,3254$ .

$$y = 0.07061 x + 4.817 \quad (\text{eq. 1})$$

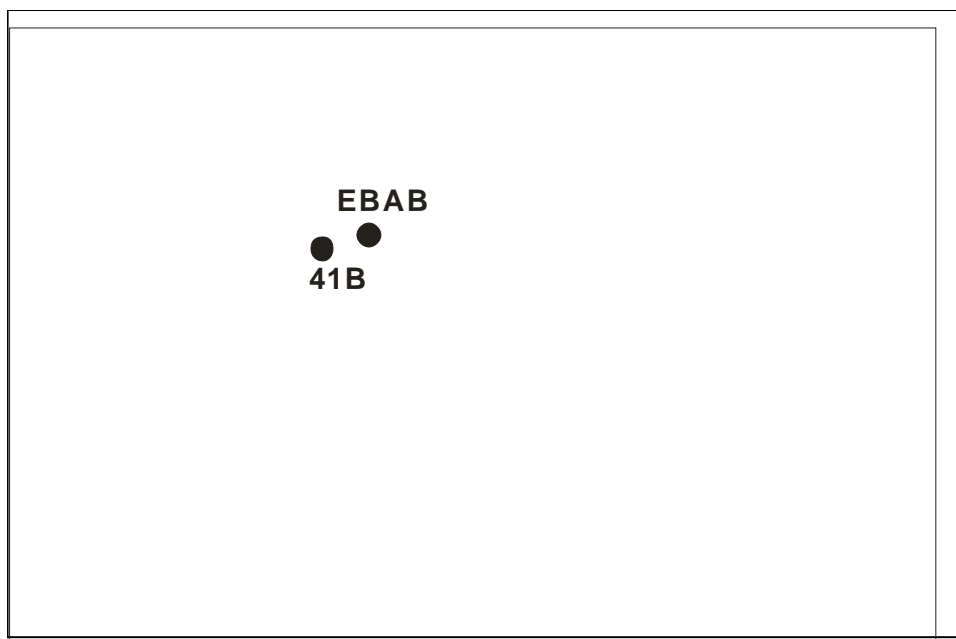


Figura 2. Mapa hipsométrico do rio Guaíba, e localização dos pontos de captação 41B e da estação de bombeamento EBAB MD. Modificado de Nicolodi et. al (2010).

A medição da turbidez no rio Guaíba, vem sendo acompanhada há alguns anos pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto DMAE, órgão municipal responsável pelo abastecimento de água da região metropolitana de Porto Alegre, com o objetivo de monitorar, dentre outros, os níveis de material particulado em suspensão contidos na água captada do rio Guaíba.

A estação de bombeamento José Loureiro da Silva localizada no bairro Menino Deus - EBAB MD (Fig. 2), onde foi realizada a coleta de água, está localizada a 400 m da margem do rio Guaíba e o ponto de captação situado dentro do rio Guaíba em um local com lâmina de água superior a 2 m, com bombeamento de 2.900 L/s de água bruta.

Os dados contidos neste estudo abrangem 13062 medições de turbidez obtidas entre o período junho de 2003 e maio de 2006, as quais foram realizadas simultaneamente a coleta das amostras de água, a intervalos de duas horas, através de turbidímetro portátil da marca Hach modelo 2100P que fornece o sinal em *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Estes dados foram transformados em médias diárias e convertidos para  $\text{Kg.m}^{-3}$ .

A conversão dos dados de turbidez teve por objetivo transformar a unidade de turbidez NTU para uma unidade de massa de sedimentos  $\text{Kg.m}^{-3}$  para posterior cálculo do fluxo de massa de sedimentos em suspensão. Este procedimento consistiu na confecção de uma curva de calibração com a finalidade de estabelecer a

relação entre as duas variáveis, unidade de turbidez NTU e CSS em  $\text{mg.l}^{-1}$ . Para tal, foram coletados 300 litros de água utilizando 6 galões de 50 L cada, as margens do rio Guaíba, os quais foram armazenadas por 24 horas para fins de decantação. Após todo o material em suspensão ter sedimentando, foi realizado um sifonamento do sobrenadante em cada galão obtendo assim uma alta concentração de sedimentos em suspensão.

A amostra concentrada foi diluída em diferentes proporções, nas quais foram realizadas leituras utilizando um turbidímetro que opera segundo o princípio nefelométrico de medição de turbidez da marca Hach modelo 2100P, com uma precisão de  $\pm 2\%$  da leitura mais a luz dispersada, entre 0-1000 NTU, e coletas em réplicas de amostras de água sinópticas a medição de turbidez. A concentração em cada amostra foi determinada através de filtração com membranas de acetato de celulose e abertura entre poros de  $0,45\mu\text{m}$ . Anteriormente ao processo de filtração, os filtros de celulose foram expostos a uma temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas para a retirada de toda umidade e em seguida acondicionados em um dessecador com sílica gel para resfriamento. Após o resfriamento os filtros foram pesados em uma balança de precisão e utilizados na filtração das amostras de água.

Posteriormente a massa encontrada foi dividida pelo volume filtrado,  $\text{Kg.m}^{-3}$ . Desta forma foi realizada uma regressão linear entre os dados de CSS obtidos por filtragem e as leituras em NTU obtidas no turbidímetro (Tabela 1), o que possibilitou a determinação de uma equação (2) de conversão, com coeficiente de explicação  $r^2 = 0,98$  a qual foi aplicada nas séries históricas de turbidez (Fig. 3).

Tabela 1. Valores das medidas de turbidez (NTU) e concentração de sedimentos em suspensão (CSS) em mg.l-1.

Nº Amostra	NTU	CSS (mg.l <sup>-1</sup> )	Desvio Padrão
1	543	459,1	18,1
2	420	346	14,7
3	348	331,9	1,8
4	292	262,9	10,5
5	218	212,2	2,5
6	160	160,6	6,1
7	110	102,6	9,2
8	89	88,9	3,4
9	70	74,6	3,5
10	57,5	42,3	0,47
11	0,65	0	0

$$CSS = 11,89 + 0,845.NTU \quad (\text{eq. 2})$$

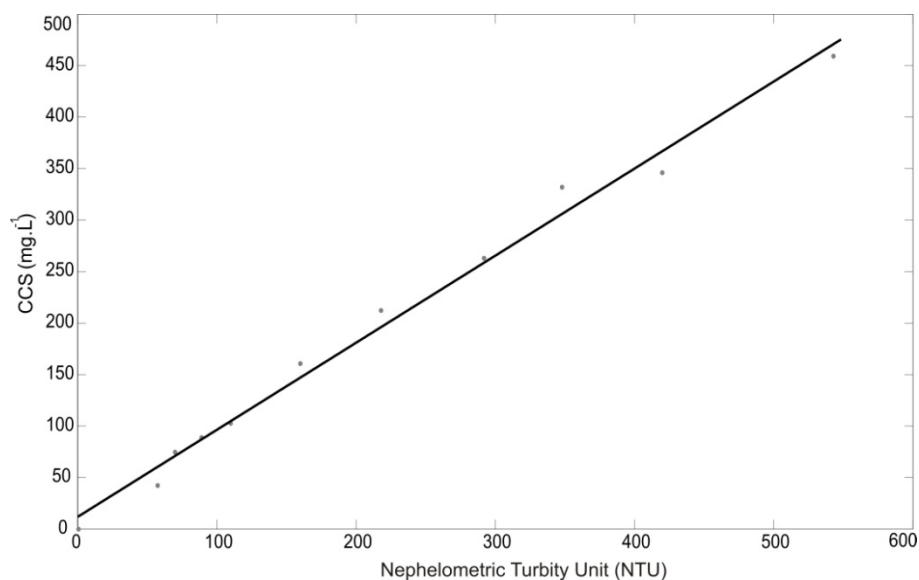


Figura 3. Regressão linear entre as medidas de concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e valores de Nephelometric Turbidity Unit (NTU).

Os dados de concentração de sedimentos em suspensão e a vazão dos rios Jacuí, Caí e Sinos, foram carregados no programa Excel<sup>®</sup>, com o intuito de organizar as

variáveis e verificar a consistência dos dados. Após a análise visual dos dados, os mesmos foram arquivados em formato \*.txt.

A análise da variabilidade dos sedimentos em suspensão foi estruturada na obtenção da relação entre descarga líquida média dos rios (Jacuí, Caí e Sinos), e a concentração de sedimentos em suspensão. Para tal, os dados de descarga líquida média de 2003 a 2006 e a concentração de sedimentos em suspensão foram analisados em ambiente Matlab<sup>®</sup> (Mathworks Inc.<sup>TM</sup>) através da elaboração de gráficos e análises estatísticas.

A variação da descarga fluvial em relação à sazonalidade também foi verificada, buscando averiguar as diferenças interanuais e entre os meses existentes.

Análises de eventos extremos que representam valores acima da média, tanto na descarga líquida quanto na concentração de sedimentos em suspensão, foram relacionadas a tendências com eventos climáticos como El Niño (Tabela 2).

Por fim, foi estimada a descarga sólida referente aos anos de 2003 a 2006 através da multiplicação dos dados médios de descarga líquida e da concentração de sedimentos em suspensão para o local de captação do DMAE.

Tabela 2. Anos de ocorrência de El Niño e intensidade do evento. Fonte CPTEC.

<b>OCORRÊNCIA DE EL NIÑO</b>	<b>INTENSIDADE</b>
2003	Moderado
2004	Fraco
2005	Fraco
2006	Fraco



#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o intuito de avaliar a representatividade dos dados de vazão as variações dos eventos extremos entre 2003 a 2006 e a série histórica, foi gerado um gráfico da variação da vazão fluvial do rio Jacuí ao longo de 21 anos (1985 a 2006) (Fig. 4), uma vez que ele é o principal provedor de descarga líquida do sistema do rio Guaíba.

A série histórica da descarga líquida do rio Jacuí entre os anos de 1985 a 2006 apresentou grande variabilidade com um grande número de picos. A média histórica da vazão fluvial do rio Jacuí foi de  $988.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , valor próximo ao encontrado por Vaz *et al.* (2006) de  $801 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  entre os anos de 1940 a 1997. A série apresentou um pico máximo de  $5.426 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  no final do ano 2002. As vazões com valores maiores que  $5.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  representam 0,18% do total dos dados analisados no rio Jacuí.

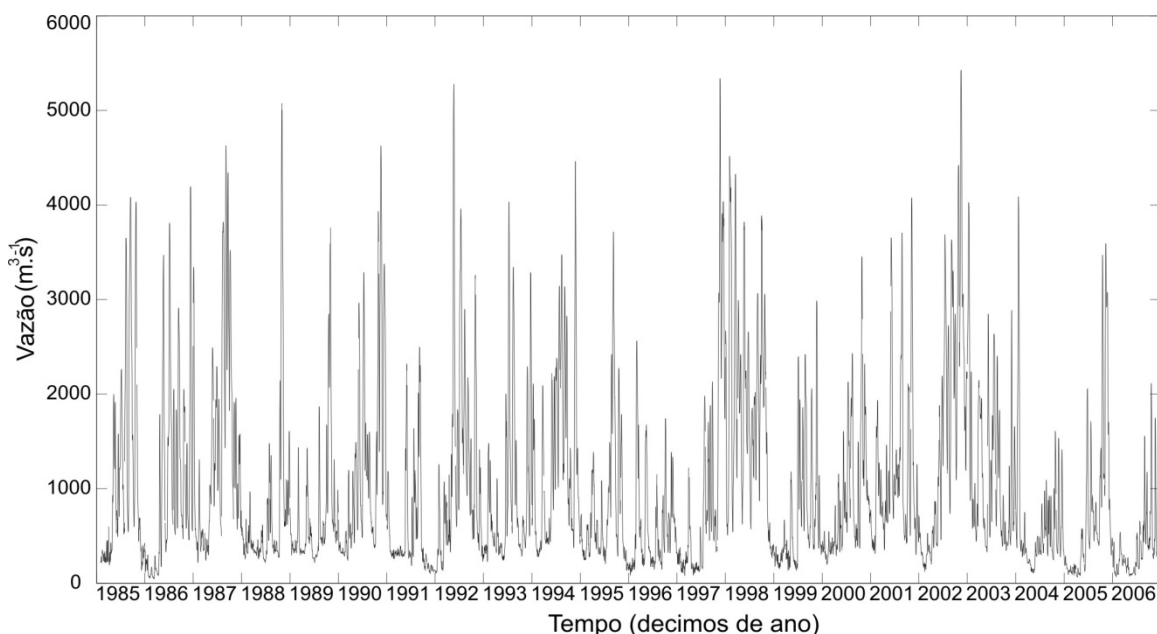


Figura 4. Variação da vazão média histórica do rio Jacuí entre os anos de 1985 a 2006.

A Figura 5 ilustra dois gráficos de frequência de ocorrência das descargas médias anuais para a série histórica de 21 anos do rio Jacuí (a) e das descargas médias anuais dos rios Jacuí, Caí e Sinos no período de 2003 a 2006.

Através de teste estatístico Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) verificou-se que, a partir de um nível de confiança de 95%, há concordância entre as frequências de vazões comparadas, série histórica de 21 anos e o período de 4 anos (2003 a 2006).

No entanto, por observações nos valores médios de cada distribuição foi possível constatar que o período de 4 anos (2003 a 2006) apresentou uma descarga líquida média inferior em relação ao período da série histórica de 21 anos.

Pode-se verificar que o aporte fluvial médio anual dos dois conjuntos de dados apresentaram uma manutenção, na maior parte do tempo na faixa de 0 a 500 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, representando em ambos os casos valores superiores a 40% do total dos dados de vazão. Na distribuição de frequência do período entre 2003 e 2006 constatou-se que os maiores eventos registrados, acima de 4000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, representaram apenas 0,8% do total, demonstrando que eventos com grandes picos são exceções.

Valores de vazão acima de 3.000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, que podem ser encontrados entre os anos de 2003 e 2006 representam 5,2% do total da série histórica. Levando em consideração a média histórica da vazão e a baixa frequência em que a vazão ultrapassou 3.000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, os picos registrados a partir de 2003 até 2006 apresentam significância, podendo ser classificados como eventos extremos.

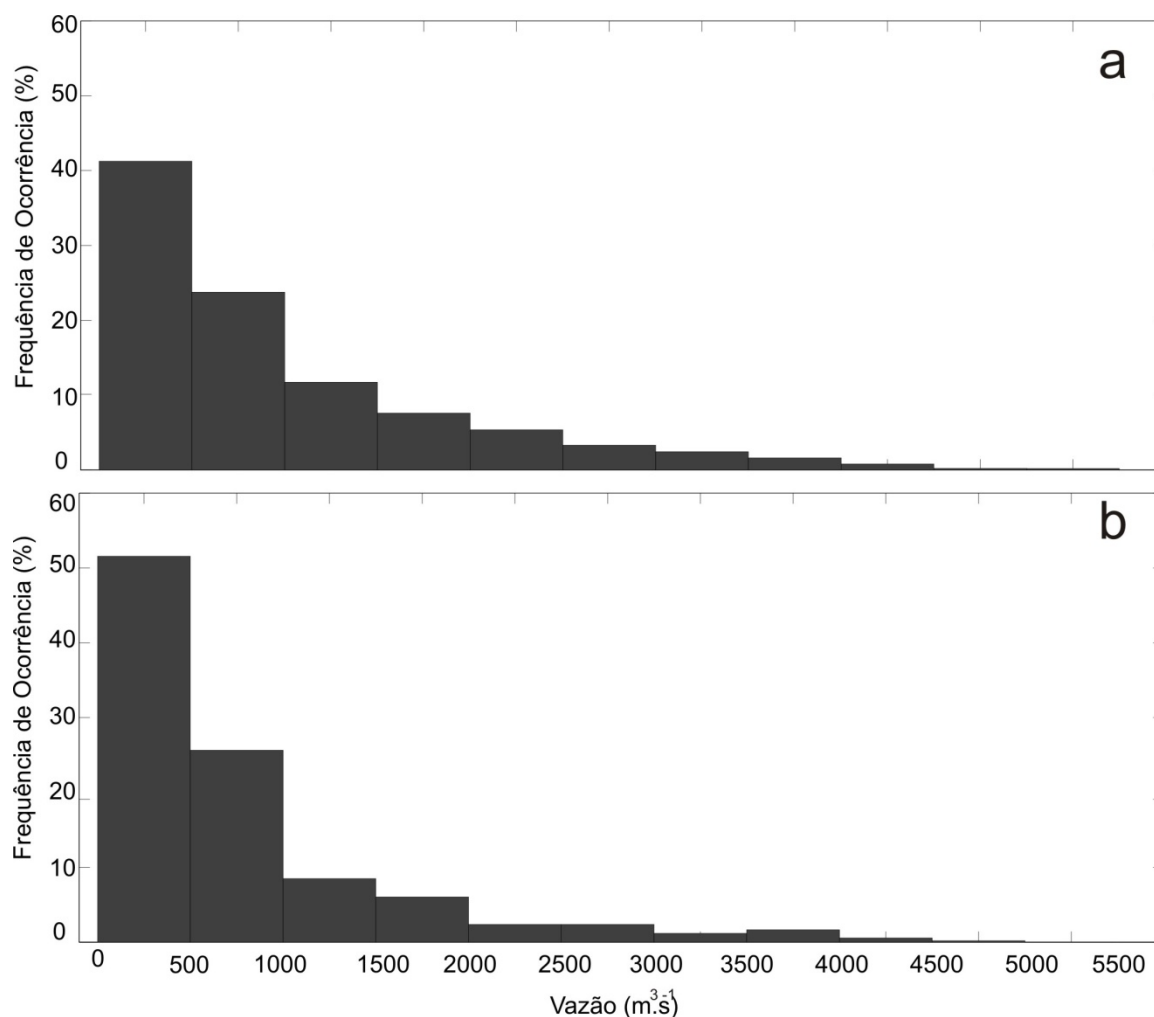


Figura 5. Frequência de ocorrência de descargas médias anuais da série histórica de 21 anos do Jacuí (a) e frequência de ocorrência de descargas médias anuais Jacuí, Caí e Sinós, no período de 2003 a 2006 (b).

A variação da vazão entre os anos de 2003 e 2006, em cada um dos contribuintes que compõem o delta do Jacuí, pode ser observada na Figura 6. De forma geral, os três rios apresentaram vazões diferenciadas, porém com distribuição semelhantes entre os picos. Observa-se que a vazão do rio Jacuí apresentou os maiores valores de descarga fluvial com picos de até  $4.090 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , já nos rios Caí e dos Sinós a descarga fluvial não ultrapassou valores de  $1.000 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . No ano de 2003 observa-se um aumento da descarga fluvial nos três rios, sendo que esta elevação pode ser atribuída ao fenômeno El Niño (Tabela 2), e conseqüente aumento da precipitação na região Sul do país. De acordo com Möller (1996), estes tributários são típicos aos de médias latitudes, apresentando alta descarga no fim do inverno e início de primavera seguida de baixa descarga durante verão e outono e com grandes variações interanuais.

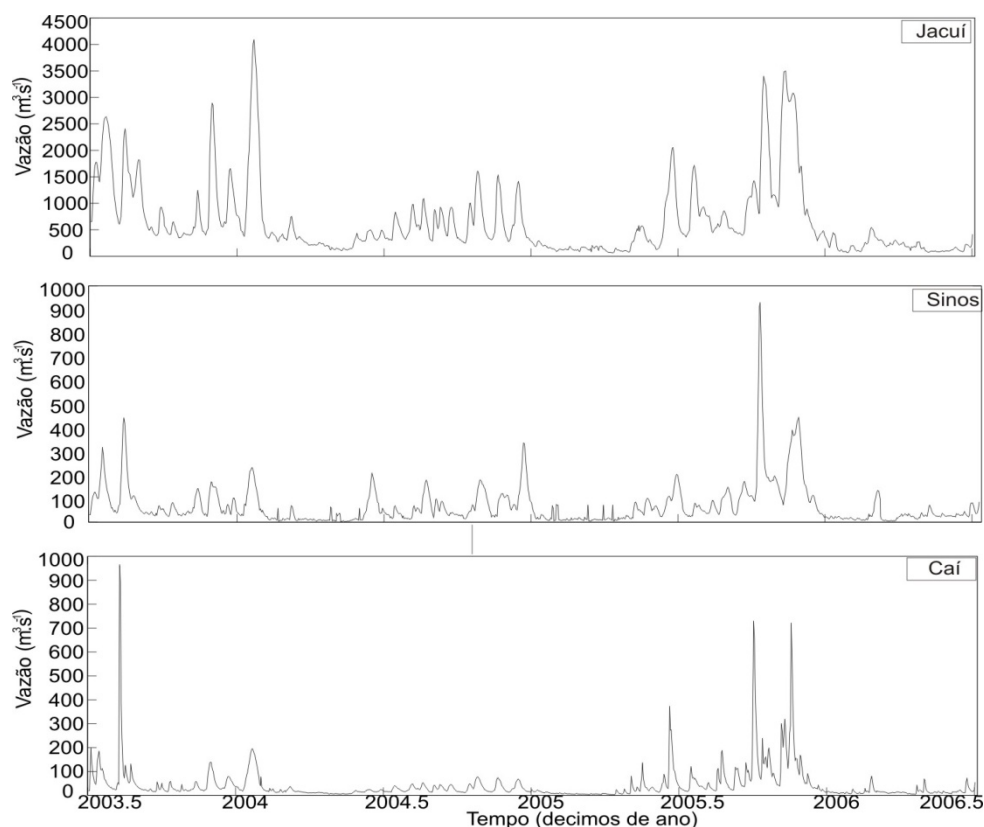


Figura 6. Variação da vazão média anual dos Rios Jacuí (a), Sinos (b) e Caí (c), no período de 2003 a 2006.

Os rios Jacuí, Caí e Sinos são os principais provedores de água para o rio Guaíba, responsáveis por 90,6 % de toda a descarga que entra no sistema. Desta forma através do somatório das vazões destes três rios foi possível construir a série de vazões médias para o rio Guaíba entre o período de junho de 2003 à maio de 2006 (Figura 7). A média de vazão obtida entre os três rios foi de  $781 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , que se trata de um valor médio baixo, concordante com um período de El Niño médio a fraco (Tabela 2), abaixo da obtida por Vaz *et al.* (2006) que foi de  $1.031 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , e da média determinada por Baisch (1994) de  $850 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Eventos de descarga com picos acima de  $3.000 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  somaram apenas 3,5% do total de dados, onde o maior valor de vazão atingiu  $4.583,4 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  no dia 21 de dezembro de 2003. As variações anuais refletem as diferentes taxas pluviométricas de cada ano, sendo em determinados casos associadas a fenômenos climáticos como El Niño.

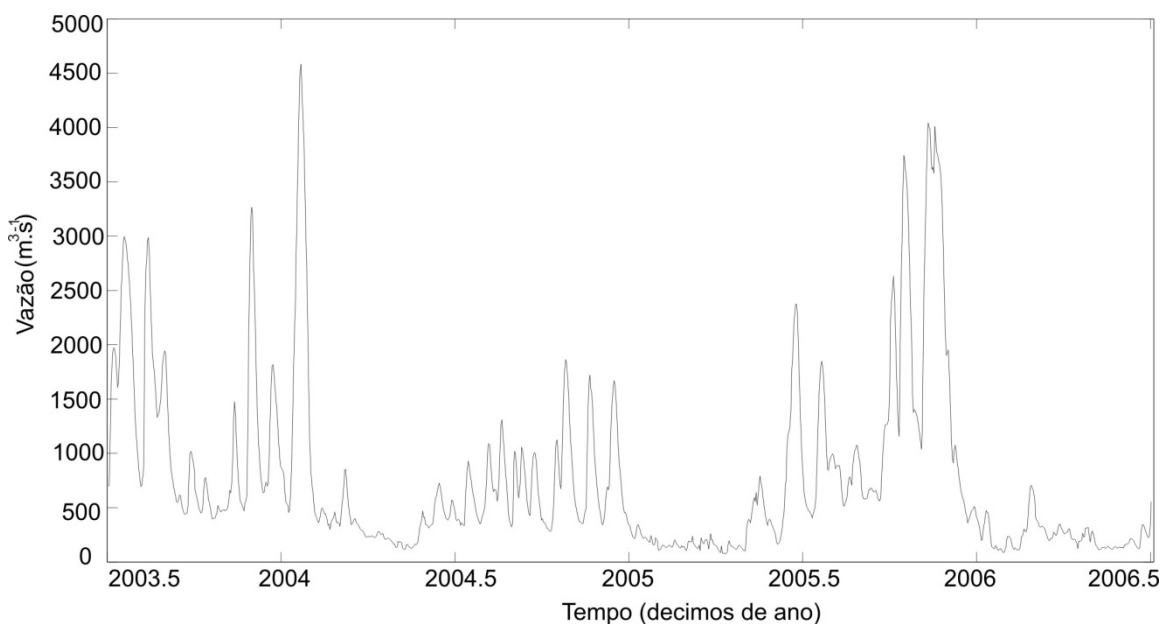


Figura 7. Somatório das vazões dos rios Jacuí, Caí e dos Sinos.

A partir das medições de turbidez realizadas pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), e nos dados de vazão medidos pela Agência Nacional de Águas (ANA) entre junho de 2003 e maio de 2006, totalizando 13062 medições, foram gerados gráficos para análise da variação temporal da concentração de sedimentos em suspensão (CSS), do rio Guaíba.

A Figura 8 confronta a variação média mensal da vazão em  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  pela variação média mensal da concentração de sedimentos em suspensão em  $\text{kg}.\text{m}^{-3}$  entre os anos de 2003 e 2006. A situação demonstrada indica que nos meses de junho, julho, setembro e outubro, ocorreram os maiores valores de vazão, representando 52% do total anual dos 4 anos de amostragem, como comprovado por Vaz *et al.* (2006). Nos meses entre janeiro a maio, que correspondem as estações de verão, a descarga fluvial apresentou-se baixa em comparação aos outros meses. De acordo com os dados reportado pelo 8º Distrito de Meteorologia do Estado do Rio Grande do Sul, as taxas médias pluviométricas mensais históricas apresentam seus maiores valores entre os meses de junho e outubro com uma média histórica variando entre 114 mm à 140 mm (DNAE, PPM Fonte: 8º DISME, 1983).

Os maiores valores de CSS foram registrados nos meses de julho, outubro e novembro, com valores de vazão média de  $1.093 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ,  $1.614 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e  $953 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e CSS de  $43,6 \text{ mg}.\text{l}^{-1}$ ,  $47,9 \text{ mg}.\text{l}^{-1}$ , e  $45,3 \text{ mg}.\text{l}^{-1}$ , respectivamente, representando juntos 32.3 % do total anual dos 4 anos.

Esta situação apresenta-se freqüente em diversos estudos realizados em rios que apresentam épocas de chuvas definidas, como foi reportado por Rovira (2006) num estudo realizado na bacia Tordera na Espanha, onde nos meses chuvosos o transporte de sedimento foi responsável por 80 % do total anual.

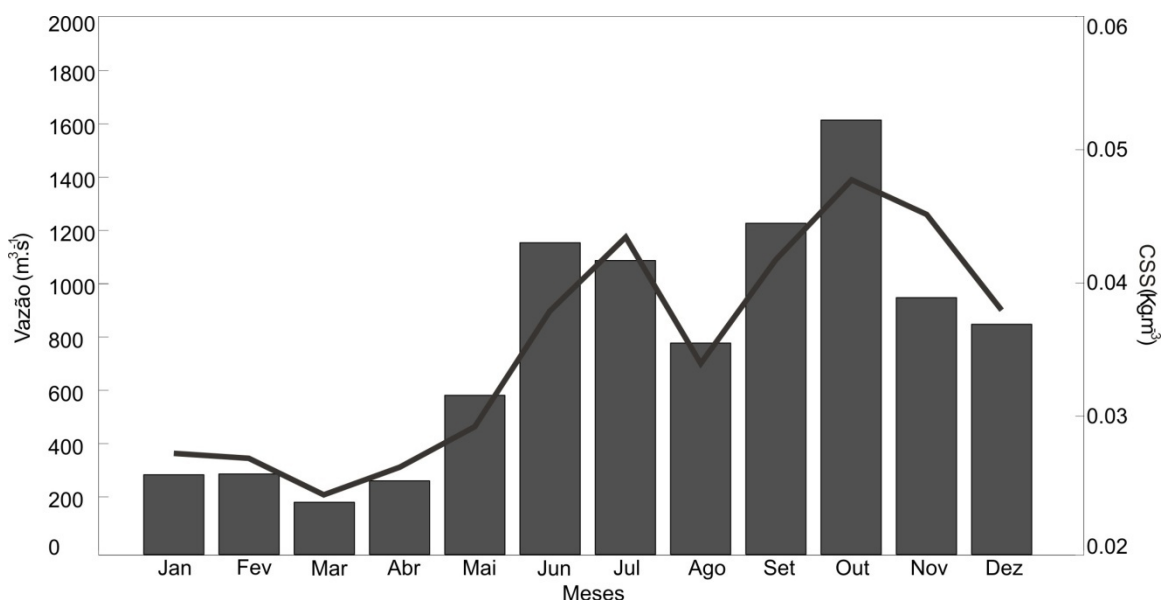


Figura 8. Variação média mensal da vazão e da concentração de sedimentos em suspensão no período de 2003 a 2006. As barras representam a vazão e a linha representa a concentração de sedimentos e m suspensão (CSS).

A variação entre o somatório de vazão ( $m^3.s^{-1}$ ) dos rios Jacuí, Caí e dos Sinos e a concentração de sedimentos em suspensão ( $kg.m^{-3}$ ) do rio Guaíba está demonstrada na Figura 9, na qual pode-se observar que há uma correlação entre os picos de vazão e de sedimentos em suspensão. Os maiores valores de concentração de sedimentos em suspensão estão associados aos períodos de maiores vazão.

A média da concentração de sedimentos em suspensão durante os anos amostrados foi de  $35 mg.l^{-1}$ , e a maior concentração de sedimento registrado em um único dia foi de  $150 mg.l^{-1}$  em 11 de Julho de 2003 com uma vazão média de  $2.763 m^3.s^{-1}$ , que representa apenas 1,8 % do total anual do sedimento em suspensão do ano de 2003.

Os valores de vazão abaixo de  $1.000 m^3.s^{-1}$  representaram 77,2% do total dos 4 anos amostrais, e foram responsáveis por 68,3% de toda a concentração dos sedimentos suspensos deste período. Esta situação evidencia que a maior parte do aumento da concentração de sedimentos em suspensão ocorre em condições de baixa descarga líquida. Eventos extremos acima de  $3.000 m^3.s^{-1}$  representaram 3,5% do total, e

somaram 5,7% do aumento da concentração de sedimentos em suspensão. Quando somados, os maiores eventos de vazão registrados acima de  $4.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  foram responsáveis por 1,23% do total de sedimentos em suspensão em toda a série temporal. Isto demonstra que os eventos extremos de curta duração apesar de terem contribuído no aumento da concentração dos sedimentos em suspensão, quando comparados com os eventos de menor magnitude, não tiveram tamanha representatividade.

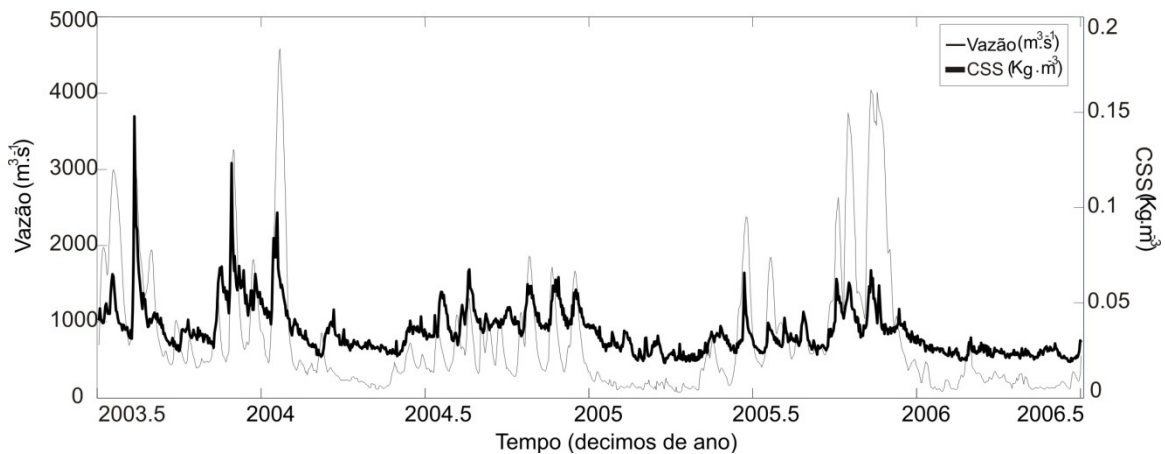


Figura 9. Variação anual da vazão e da concentração de sedimentos em suspensão no período de 2003 a 2006.

A associação da descarga fluvial e a contribuição de sedimentos em suspensão durante os 4 anos (2003-2006) apresentou uma correlação com um coeficiente de explicação  $r^2 = 0,6781$ . Esta relação apresentou-se significativa, uma vez que a partir do teste de significância verificou-se que, a partir de um nível de confiança de 95%, há uma correlação significativa dos dados ( $p < 0,05$ ). Isto leva a crer que o fator dominante na variação da concentração de sedimentos em suspensão é a vazão, pelo fato da variação da vazão explicar 67% da concentração de sedimentos em suspensão. Mas indica também que a variação da concentração de sedimentos em suspensão não é somente controlada pelas propriedades hidráulicas, pelo fato da variação da vazão explicar 67% da concentração de sedimentos em suspensão. Desta forma, outros fatores naturais e antrópicos como barragens e cultivos agrícolas que necessitam de grande demanda de recursos hídricos para o cultivo também influenciam na concentração de sedimentos em suspensão.

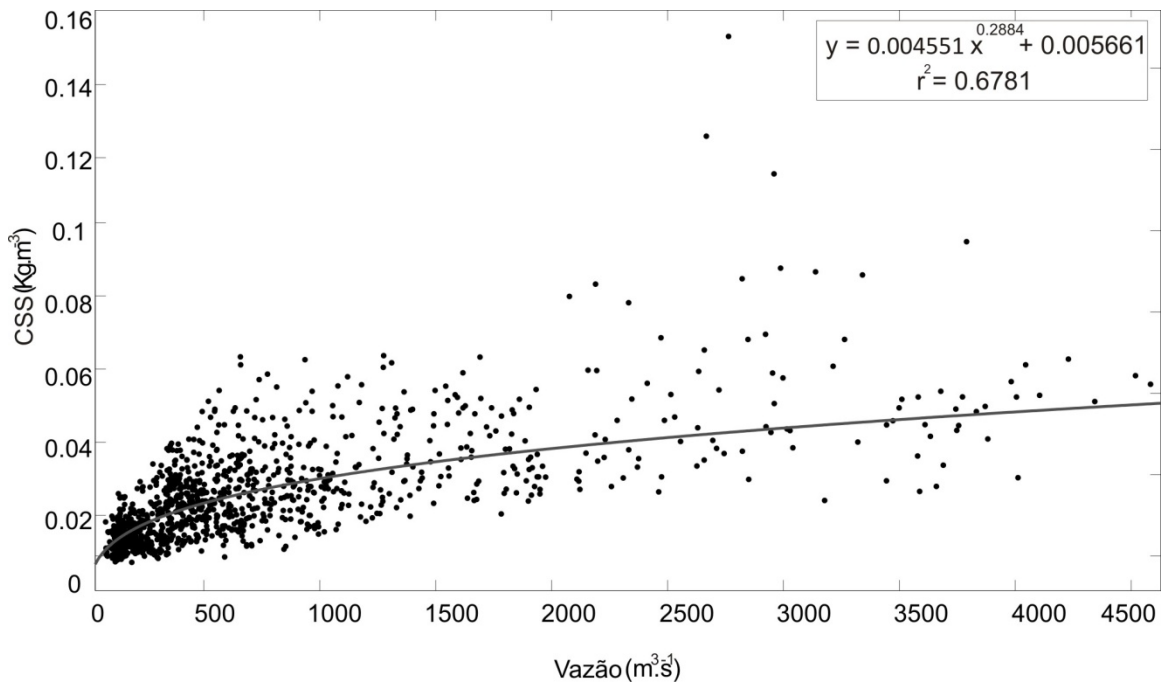


Figura 10. Correlação entre CSS no rio Guaíba e vazão média dos rios Jacuí, Caí e Sinos, no período de 2003 a 2006.

Os valores da descarga sólida em suspensão foram determinados através do somatório do produto entre a concentração de sedimentos em suspensão e a respectiva descarga líquida média entre os anos de 2003 e 2006 (Fig. 11). A descarga sólida em suspensão (DSS) média anual nos anos amostrados apresentou variação, sendo que a média de DSS dos 4 anos foi de 1.098.500 t/ano. Apesar do ano de 2003 apresentar um menor período de amostragem em relação aos anos de 2004 e 2005, a contribuição total de material para o sistema foi 56% maior em relação a 2004 e 9% maior em relação a 2005. Esta maior contribuição de material observado em 2003 pode ser atribuída pelo aumento da taxa de precipitação proveniente do efeito climático de El Niño, o qual apresentou intensidade moderado, ocasionando um aumento das taxas pluviométricas (Tabela 2). Os eventos de baixa vazão até  $1.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  foram responsáveis por 31,5% do total transportado e os eventos extremos acima de  $3.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  foram responsáveis por 21,3%. Os maiores valores de sedimentos em suspensão transportados estão associados a vazão entre  $1.000$  e  $2.999 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e representaram 47,2% do total entre 2003 e 2006. Ao contrário do que é reportado por Meade e Parker (1985) que relataram que em muitos rios da América do Norte, os eventos de curta duração possuem tamanha importância que em apenas 5 ou 6 dias o transporte de sedimento



equivale a soma do transportado da metade do total anual. Estas observações são também encontradas em outros trabalhos como de Gupta (2005) que realizou estudos na bacia do rio Narmada na Índia, onde apenas um evento a descarga de sedimentos foi responsável por 47,4% do total do transporte de sedimentos anual.

É possível constatar que os maiores picos de descarga sólida ocorreram entre os anos de 2003 e 2004. O maior valor registrado de descarga sólida foi de  $408 \text{ kg.s}^{-1}$  que ocorreu em uma vazão de  $2.763 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Outros dois picos apresentaram grande descarga sólida, sendo um com  $368 \text{ kg.s}^{-1}$ , e vazão de  $3.790 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , e outro com  $328 \text{ kg.s}^{-1}$ , e vazão de  $2.667 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Entre os anos de 2005.5 e 2006, também houveram dois picos menos expressivos na descarga sólida, com valores de  $222 \text{ kg.s}^{-1}$ , ocasionado por uma vazão de  $3.678 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , e  $271 \text{ kg.s}^{-1}$ , com uma vazão de  $4.044 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Verifica-se que os maiores valores de vazão que ocorreram nos últimos meses do ciclo hidrológico não corresponderam aos maiores picos de descarga sólida, isso deve-se ao fato que no início das temporadas de chuvas, os sedimentos das encostas são facilmente erodidos pelo escoamento, ocasionando uma diminuição na taxa de fornecimento de materiais no fim dos ciclos hidrológicos. Embora a vazão do rio continue aumentando, as concentrações de sedimentos em suspensão não respondem de acordo com a descarga líquida, e os sedimentos que são transportados pelo fluxo passam a ser oriundos das margens e leitos dos rios (Iadanza, 2006). De acordo com Walling (1978), após períodos de alto transporte de sedimentos, estes começam a ficar cada vez mais escassos, e os registros das concentrações de sedimentos durante meses consecutivos passam a ser baixos. Este processo é denominado de fenômeno de exaustão.

Rovira (2006) também destaca que, em muitos casos as propriedades hidráulicas do fluxo do rio não são os únicos responsáveis pelas respostas nas concentrações de sedimentos, mas também o suprimento de sedimentos, a intensidade e distribuição espacial das chuvas, a quantidade e taxas de escoamento e as distâncias dos locais de enxurrada até os canais principais.

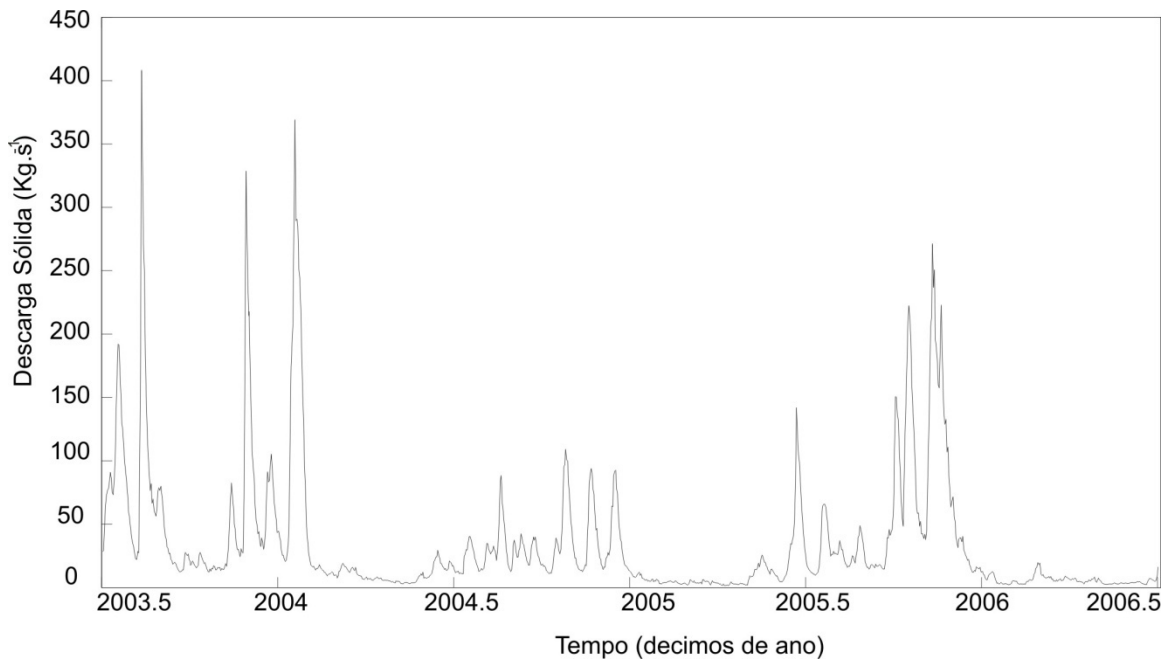


Figura 11. Variação da descarga sólida do rio Guaíba no período de 2003 a 2006.

O valor médio de DSS transportado para a Lagoa dos Patos entre os 4 anos (2003 a 2006) foi de 1.098.500 t/ano, o qual apresentou uma grande similaridade ao encontrado por Rigon (2010) que obteve uma descarga sólida anual na ordem de 1.097.036 t/ano.

Levando em conta que a área superficial da Lagoa dos Patos é na ordem de 10.000 km<sup>2</sup> (Toldo *et al.*, 2006) e o aporte médio anual de sedimentos em suspensão que recebe é de aproximadamente 1.100.000 t/ano, podemos estimar que o aporte de sedimentos por unidade de área na Lagoa dos Patos gira em torno de 0,11 kg/m<sup>2</sup>.ano. Considerando que a camada superficial de sedimentos inconsolidados apresentam uma densidade da ordem de 1100 kg.m<sup>3</sup>, dividindo o aporte de sedimentos em suspensão de 0,11 kg/m<sup>2</sup> pela densidade de 1100 kg.m<sup>3</sup>, obtemos uma taxa de sedimentação de 0,1mm/ano.

De acordo com Martins (1989) aproximadamente 60 % da área do piso lagunar da Lagoa do Patos é constituída por lama. Levando em consideração que o rio Guaíba é responsável pelo aporte de 85 % do volume introduzido na Lagoa dos Patos (Vaz *et al.*, 2006), pode-se considerar que 50% da lama que é depositada na Lagoa dos Patos é proveniente do rio Guaíba. Desta forma, extrapolando os valores de taxa de deposição podemos estimar uma taxa na ordem de 0,2mm/ano.

De acordo com Toldo *et al.* (2000) a taxa de sedimentação na Lagoa dos Patos é de 0,75 mm/ano e o valor obtido de DSS representa apenas 10% do estimado, uma vez que rio Guaíba representa o principal tributário para a Lagoa dos Patos, supõem-se que os valores calculados por Toldo *et al.* (2000) apresentam-se superestimados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstraram que o transporte de sedimentos em suspensão apresentou variabilidade ao longo do tempo. Esta variação pode ser atribuída tanto a fenômenos climáticos como interferências antrópicas.

A correlação encontrada entre os dados de vazão e de concentração de sedimentos em suspensão apresentou-se moderada, sugerindo que a concentração de sedimentos em suspensão varia conforme a vazão, mas que outros fatores naturais e antrópicos também apresentam uma contribuição na variação da concentração de sedimentos em suspensão

Eventos de vazão com grandes picos são exceções, e a maior parte do sedimento em suspensão são transportados com valores de vazões entre 1.000 e 2.999  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e representaram 47,2% do total.

O valor médio de DSS transportado para a Lagoa dos Patos entre os anos de 2003 a 2006 foi de 1.098.500 t/ano, o que representa uma exportação de mais de 400.000  $\text{m}^3$  de sedimentos da bacia de drenagem do rio Guaíba para os sistemas deposicionais lagunares e, posteriormente a plataforma continental adjacente.

A falta de práticas no manejo das redes de drenagens, o desmatamento e o uso inadequado do solo causam diversos impactos ambientais e econômicos, tanto para regiões que margeiam os sistemas afetados, quanto para plataforma adjacente.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atlas Ambiental de Porto Alegre. 1998. Ed. Universidade / UFRGS. Capítulo 3: 36p.

Bachi, F. A., Barboza, E. G., Toldo Jr E. E. 2000. Estudos da sedimentação do Guaíba. In: *Ecos* 17: 32 -35

Baisch, P. 1994. Les oligo-elements metalliques du systeme fluvio-lagunaire dos Patos, Flux et devenir (Bresil). Bordeaux, 345p. Tese de Doutorado em Geologia Marinha. Universidade de Bordeaux.

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. 1999. Conservação do solo. São Paulo: Ícone.

Calliari, J. L., Fachin, S. 1993. Laguna dos Patos. Influência nos Depósitos Lamíticos Costeiros. *Revista Pesquisas em Geociências*, 20 (J): 57-69.

Cazanacli, D., Paola, C., Parker, G. 2002. Experimental steep braided flow: application to flooding risk on fans. *Journal of Hydraulic Engineering* 128: 322–330.

Cunha, R. 1971. O Estuário do Guaíba: características texturais, mineralógicas e morfológicas. Porto Alegre, RS. 51p. Dissertação de Mestrado em Geociências., Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica), 1983. Ministério das Minas e energia. Mecânica de correntes do Guaíba. Relatório Síntese.

Dyer, K. R. 1986. *Costal and estuarine sediment dynamics*. New York, John Wiley & Sons, 342p.

Förstner, U. and Wittmann, G.T.W. 1983. Metal pollution in the aquatic environment. Berlin: Springer-Verlag, 486.

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. *Environ Geology*, 48: 579-589.

Iadanza, C., Napolitano, F., 2006. Sediment transport time series in the Tiber River. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31: 1212–1227.

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 Econômica. 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.VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos.

Lisle, T.E. 1989. Sediment transport and resulting deposition in spawning gravels. *Water Resources Research* 25, 1303– 1319.

Livi, P. 1998. Elementos do Clima: os contrastes dos tempos frios e quentes. *In: Menegat, R., Porto, M. L., Carraco, C. C., Fernandes, L. A. D., 1998. In: Atlas Ambiental de Porto Alegre, Ed. Universidade / UFRGS, 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.

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, vol. 2275. US Geological Survey, Reston VA, 40– 60.

Milliman, J.D. and 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. Hydridynamique de la Lagune dos Patos (30°S, Brésil). Mesures et modélisation. Bordeaux, 204 p. Tese de Doutorado. Universidade de Bordeaux, França.

Nicolodi, J.L. 2007. O padrão de ondas no Lago Guaíba e sua influência nos processos de sedimentação. Porto Alegre, 195p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Nicolodi, J. L., Toldo Jr., E.E, Farina L. 2010. Dinâmica e ressuspensão por ondas no Lago Guaíba (RS, Brasil) e implicações nos locais de captação de água para abastecimento humano. *Revista Pesquisas em Geociências*.37 (1): 25-39.

Nogueira, R. M. 2006. Aspectos hidrodinâmicos da Lagoa dos Patos na formação do depósito lamítico ao largo da praia de Cassino. 64 p. Dissertação Mestrado, Pós-graduação de engenharia em ciências em engenharia oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

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.

Rossato, M. S.; Martins R. L. 2001. Geoprocessamento da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba. Foz do Iguaçu *Anais X SBSR*, INPE, p. 971-964.

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.

Rodríguez-Blanc, M.L., Taboada-Castro, M.M., Palleiro, L., Taboada-Castro, M.T. 2010. Temporal changes in suspended sediment transport in an Atlantic catchment, NW Spain. *Geomorphology*, 123, 181–188.

Schettini, C.A.F. and Toldo Jr., E.E. 2006. Fine sediment transport modes in the Itajaí-Açu Estuary, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39 Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, 515 - 519.

Suguio, K.; Matin, L.; Flexor, J. M.; Azevedo, A. E. G. 1986. The Quaternary sedimentary deposits in the State of Paraná and Santa Catarina coastal plains. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, Balkema, v.4: 3-25

Stein, D. P.; Donzelli, P. L.; Gimenez, A. F. Ponçano, W. L. Lombardi Neto, F. 1987. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico na Bacia do Peixe-Paranapanema. *Anais do IV Simpósio Nacional de Controle de Erosão*. Marília, SP, p. 105-135.

Toldo Jr., E.E.; Dillenburg, S.R; Corrêa, I.C.S. & Almeida, L.E.S.B. 2000. Holoceno Sedimentation in Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research*, V.16 (3), 816-822.

Toldo JR, E.E; Dillenburg, S.R; Corrêa, I.C.S; 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. *Revista Pesquisas em Geociências*.36 (2): 79-86.

Tomazoni, J.C.; Mantovani, L.E.; Bittencourt, A.V.L.; Rosa Filho, E.F. da. 2005. A sistematização dos fatores da Eups em Sig para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Anta Gorda (PR). *Estudos Geográficos*, v.3, n.1, p.1-21.



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. O. Jr. & Almeida, T. L. 2006. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. *Revista Atlântica*, 28(1): 13-23.

Villela, S.M. e Mattos, A. 1975. *Hidrologia Aplicada*. 1ª edição, Editora McGraw Hill do Brasil, São Paulo.

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*. 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.

Winterwerp, J. C. & Kesteren, W. G. 2004. *Introductions to the physics of cohesive sediment in the marine environment*. Amsterdam, Elsevier, 466 p.