

## ESTIMATIVAS DE VAZÃO DA LAGOA MIRIM E A CONTRIBUIÇÃO DOS AFLUENTES CEBOLLATI, TAÇUARI E PIRATINI

*Heline Alves de Oliveira<sup>1\*</sup>; Osmar Olinto Möller Jr<sup>1</sup>; Elisa Helena Leão Fernandes<sup>1</sup>*

**Resumo** – Através das séries temporais de nível e de dados pontuais de vazão, foi possível estimar a série temporal de vazão da Lagoa Mirim (LM) para o período de 1 janeiro de 2009 a 31 de dezembro de 2011. Também foram obtidas as séries temporais de três tributários da Bacia da LM: Rio Cebollati, Rio Taçuari e Rio Piratini. A série do Rio Cebollati apresenta picos de vazão comparáveis ou superiores à média do Rio da Prata ( $23.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), e mais de dez vezes superiores à Bacia da Lagoa dos Patos. No entanto, a média do escoamento da LM para a Lagoa dos Patos é aproximadamente de  $600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , evidenciando que a Lagoa Mirim atua no sistema como um grande reservatório de água doce.

**Palavras-Chave** – Série temporal, estimativa de vazão, Canal de São Gonçalo.

## ESTIMED FRESHWATER DISCHARGE OF MIRIM LAGOON AND CONTRIBUTIONS OF THE CEBOLLATI, TAÇUARI AND PIRATINI TRIBUTARIES

**Abstract** – Through the water level time series and flow data, it was possible to estimate the time series of ML flow (for the period 1 January 2009 to 31 December 2011). Also, we obtained the time series of three tributaries of the ML Basin: Cebollati, Taçuari and Piratini rivers. Cebollati River time series presents discharge peaks that are comparable or even higher than La Plata River mean flow ( $23,000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), and more than 10 times higher than Patos Lagoon Basin. The mean flow to the The Patos Lagoon is only  $600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  though, indicating that ML acts as a large water reservoir.

**Keywords** – Time series, Estimated Flow, Canal de São Gonçalo.

### INTRODUÇÃO

A Lagoa Mirim (LM) está localizada entre as latitudes  $32^{\circ}09'$  e  $33^{\circ}37'S$  e longitudes  $52^{\circ}35'$  e  $53^{\circ}59'W$  (Fig. 1), e apresenta área superficial de aproximadamente  $3.749 \text{ km}^2$ , dos quais um terço está localizado em território uruguaio e dois terços em território brasileiro (Vieira e Rangel, 1984, 1988; Hirata *et al.*, 2010). A LM é o segundo maior corpo hídrico com características lacustres do Brasil e está ligada à Lagoa dos Patos formando o maior sistema lagunar da América do Sul. Essa ligação ocorre através de um canal natural de 76 Km de comprimento, chamado de Canal de São Gonçalo (CSG) (e. g. Vieira e Rangel, 1984, 1988).

<sup>1</sup> Laboratório de Oceanografia Costeira e Estuarina, Universidade Federal de Rio Grande (LOCOSTE – FURG). E-mail: heline.ao@gmail.com  
dfsomj@furg.br; dfsehlf@furg.br.

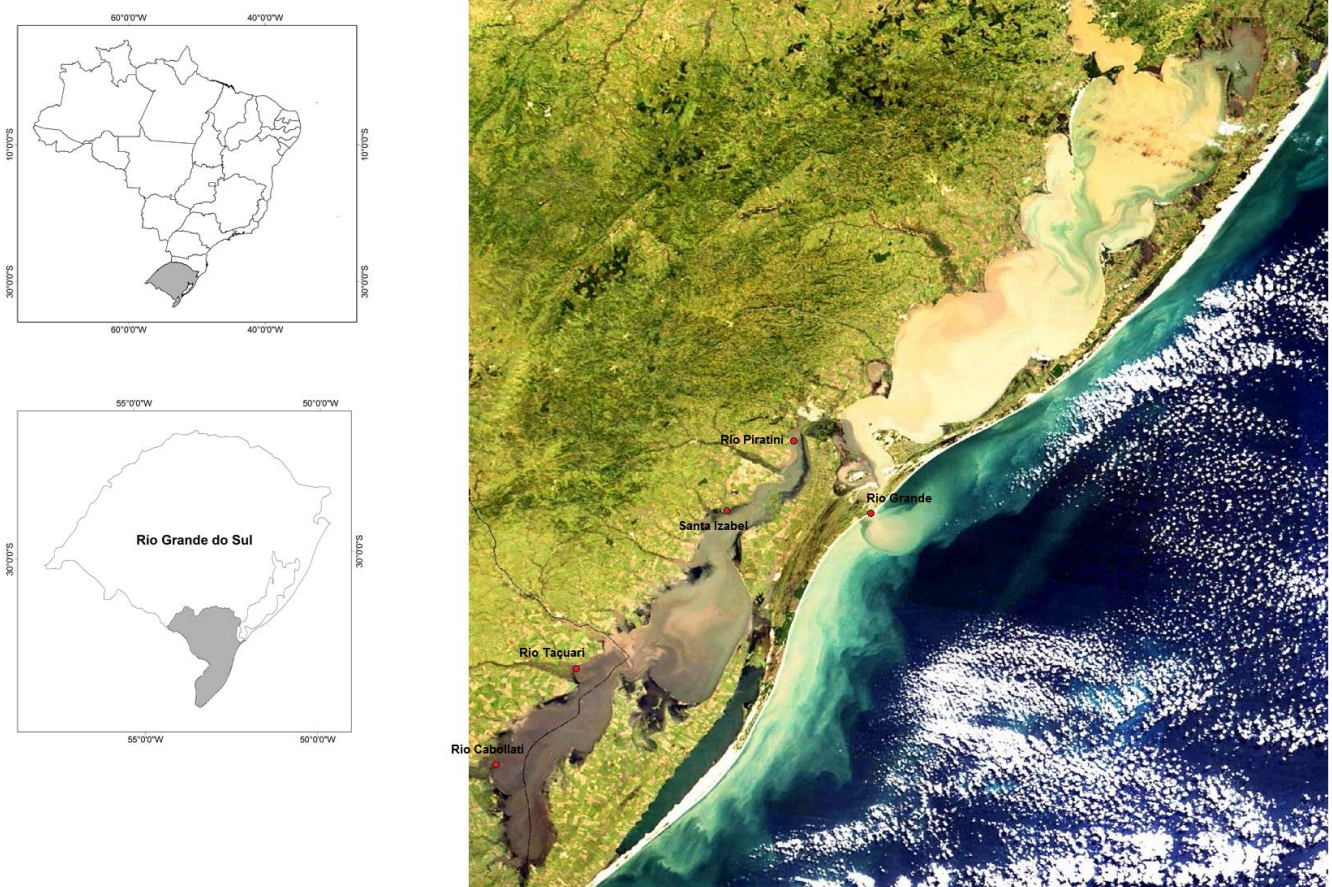


Figura 1 - Mapa de localização da Lagoa Mirim, Lagoa dos Patos e Canal de São Gonçalo.

A LM é alimentada por uma ampla malha hidrográfica e por abundantes precipitações na bacia de recepção, com nível oscilando entre 2 m e 3 m e produzindo alagamento nas planícies aluviais. O volume da Lagoa pode chegar a  $17 \times 10^9 \text{ m}^3$  e varia em função das condições hidrológicas e de saída do CSG (Vieira e Rangel, 1988). Antes da década de 70, em situações de baixo aporte fluvial, ocorria entrada de água salobra no CSG e na LM, impedindo a utilização de suas águas para abastecimento público e irrigação. Assim, em 1977 foi construída uma Barragem-Eclusa no Canal, localizada a três quilômetros da cidade de Pelotas, impossibilitando a entrada de água salgada em aproximadamente 80% do canal e em toda a área da Lagoa Mirim (Gouvêa *et al.* 2010).

O principal uso das águas da LM consiste nas extrações diretas para a irrigação das lavouras de arroz, tanto em território brasileiro como no uruguaio. O Estado do Rio Grande do Sul é responsável por 50% da produção nacional de arroz, que representa 3,1% do PIB do RS (*Instituto Rio Grandense do Arroz - IRGA, 2006*). As águas da LM também são utilizadas como fonte de água potável para as populações que a circundam, inclusive para os municípios de Rio Grande e Pelotas (SEMA, 2008).

Diversas pesquisas sobre a LM foram realizadas, principalmente na década de 70, contudo existe carência de estudos sobre os processos hidrodinâmicos que ocorrem na lagoa. Entender esses processos é de fundamental importância para a compreensão da distribuição e variabilidade da concentração de substâncias naturais (nutrientes, clorofila, material em suspensão), de poluentes, dos processos de erosão e transporte de sedimentos, a distribuição e variabilidade da fauna e flora local. Não bastasse a relevância do ponto de vista ambiental, o conhecimento detalhado da

circulação na Lagoa Mirim possui interesse econômico e estratégico para o Brasil e Uruguai. A produção de arroz irrigado, principal uso da água da região, depende diretamente da disponibilidade hídrica da lagoa. O transporte de mercadorias como combustíveis, madeira, e principalmente arroz, pode apresentar maior viabilidade econômica se realizado via lacustre, através da Hidrovia do MERCOSUL.

## OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo estimar a vazão de três rios afluentes da Bacia da Lagoa Mirim (Rio Cebollati, Rio Taçuari e Rio Piratini), bem como estimar a vazão da Lagoa Mirim, através do Canal de São Gonçalo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para quantificar a contribuição dos principais corpos hídricos da Bacia da Lagoa Mirim, foram utilizados os dados de vazão obtidos na página da Agência Nacional de Águas (ANA – www.ana.gov.br). Assim, foi possível produzir séries temporais para os seguintes corpos hídricos: Rio Cebollati, Rio Taçuari e Rio Piratini. A Tabela 1 apresenta o nome e o código das estações, a latitude e longitude, o período de dados e a área de drenagem da estação.

Tabela 1 – Nome das estações, latitude, longitude, área de drenagem e período de amostragem dos dados.

Rio	Estação	Código	Latitude	Longitude	Área (Km <sup>2</sup> )	Período
Piratini	Cerro Chato	88575000	35° 51' S	53° 16' W	1050	1977 a 2011
Piratini	Passo do Ricardo	88680000	31° 54' S	52° 39' W	5410	1962 a 1983
Cebollati	Paso Averias	89400000	33° 37' S	54° 20' W	7850	2000 a 2008
Taçuari	Paso Dragon	89150000	32° 45' S	53° 42' W	3560	2000 a 2008

No caso do Rio Piratini, as descargas de 1984 a 2011 foram estimadas através do método de regionalização de vazões, partindo do pressuposto de que postos de bacias com características semelhantes apresentam as mesmas tendências e podem ser correlacionados (Tucci, 1997). Assim, foi feita a regressão linear das estações Cerro Chato e Passo do Ricardo entre janeiro de 1977 e dezembro de 1983 (eq.1).

$$Q_{\text{Piratini}} = 1,889 \times Q_{\text{Cerro Chato}} + 20,0416 \quad (1)$$

A estimativa de descarga da LM foi realizada por meio da relação cota-descarga (relação h/Q), através da relação polinomial entre os registros horários de nível e as medidas de vazão efetuadas na estação de Santa Izabel. Os registros horários de nível foram coletados pela Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim (ALM), já as medidas de vazão foram realizadas em 15 campanhas do projeto “*Estudo do Comportamento Hidrodinâmico do Canal de São Gonçalo na Área do Pró-Mar-de-Dentro*”, no âmbito de um convênio entre a Universidade Federal de Rio Grande (FURG) e a Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado do Rio Grande do Sul



(SEMA/RS), entre janeiro de 2009 a dezembro de 2011. Os dados de descarga foram obtidos com perfilador acústico de correntes por Doppler (ADP), marca Sontek, de 1,0 MHz de frequência dotado de um sistema traçador de fundo (*bottom tracking*).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 representa a série temporal de descarga do Rio Cebollati no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2008. É possível notar a variabilidade sazonal do sistema com descargas baixas a moderadas durante a primavera e verão, e o aumento das descargas entre os meses de maio e setembro. Nos meses de setembro de 2000, maio de 2002, janeiro de 2003 e julho de 2005 e 2007 foram registradas vazões até 30 vezes maiores que a média para todo o período. Os picos atingem valores superiores a  $30.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e a média de descargas nesse período é de  $1.376 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

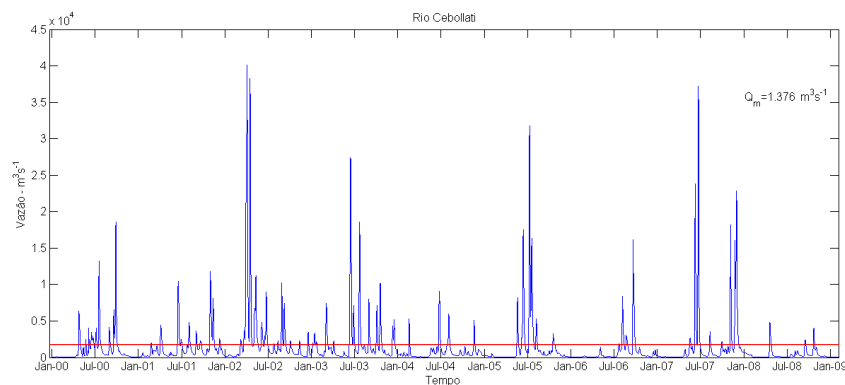


Figura 2 – Série temporal de vazões diárias do Rio Cebollati (em azul) e a média de vazão calculada para todo o período (em vermelho).

A série temporal de vazão do Rio Taquari é representada na Figura 3. É possível observar mais uma vez a ocorrência de picos de descargas até 30 vezes maiores que a média calculada para todo o período em setembro de 2000 e 2001, junho/julho de 2002, julho de 2005, outubro/novembro de 2006 e julho de 2007.

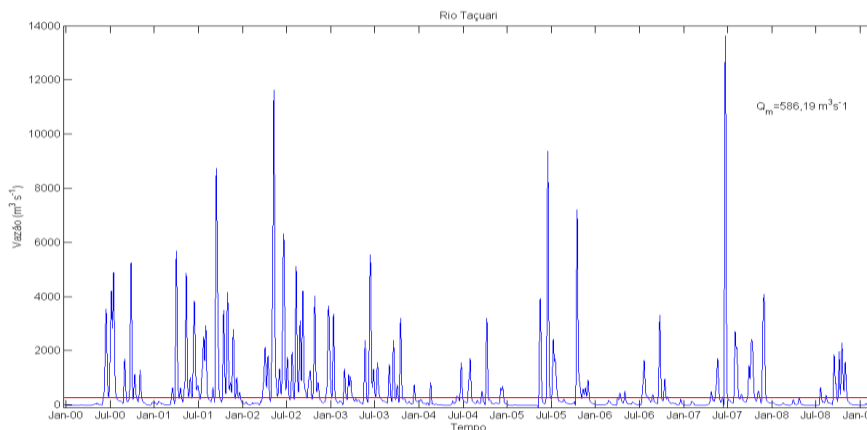


Figura 3 – Série temporal de vazões diárias do Rio Taquari (em azul) e a média de vazão calculada para todo o período (em vermelho).

As séries temporais de vazão dos rios Cebollati e Taquari mostram a sazonalidade do regime hídrico da região, com as maiores descargas ocorrendo entre a metade do outono e início da primavera. De maneira geral, são observados picos de vazão nos meses de junho, julho agosto, setembro e novembro. Em estudos realizados nos rios Jacuí e Taquari, Bordas *et al.* (1984) encontraram picos de vazão nos meses de outubro e Vaz (2003) e Vaz *et al.* (2006) descrevem descargas máximas entre julho e agosto. Os picos de vazão observados no Rio Cebollati, são comparáveis ou superiores à média do Rio da Prata, que é de  $23.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (e.g. Piola *et al.*, 2008) e mais de dez vezes superiores à Bacia da Lagoa dos Patos (Vaz *et al.*, 2006).

Através das séries temporais disponíveis para as estações Cerro Chato (Figura 4 a) e Passo do Ricardo (Figura 4b) foi possível estimar a descarga fluvial do Rio Piratini no período de janeiro de 1962 a janeiro de 2011 (Figura 4c). A tendência linear calculada para a série temporal (Figura 4d) mostra uma diminuição de  $25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  ao longo de 49 anos. Essa tendência negativa difere dos resultados observados em outros rios, uma vez que tendências positivas foram encontradas por Robertson e Mechoso (1998) nas vazões dos Rios Paraná e Paraguai, e por Genta *et al.* (1998) quando estudaram as séries temporais de vazão dos rios Uruguai, Negro, Paraná e Paraguai. O método de regionalização de vazões, utilizado nessa estimativa talvez possa ter criado essa tendência negativa.

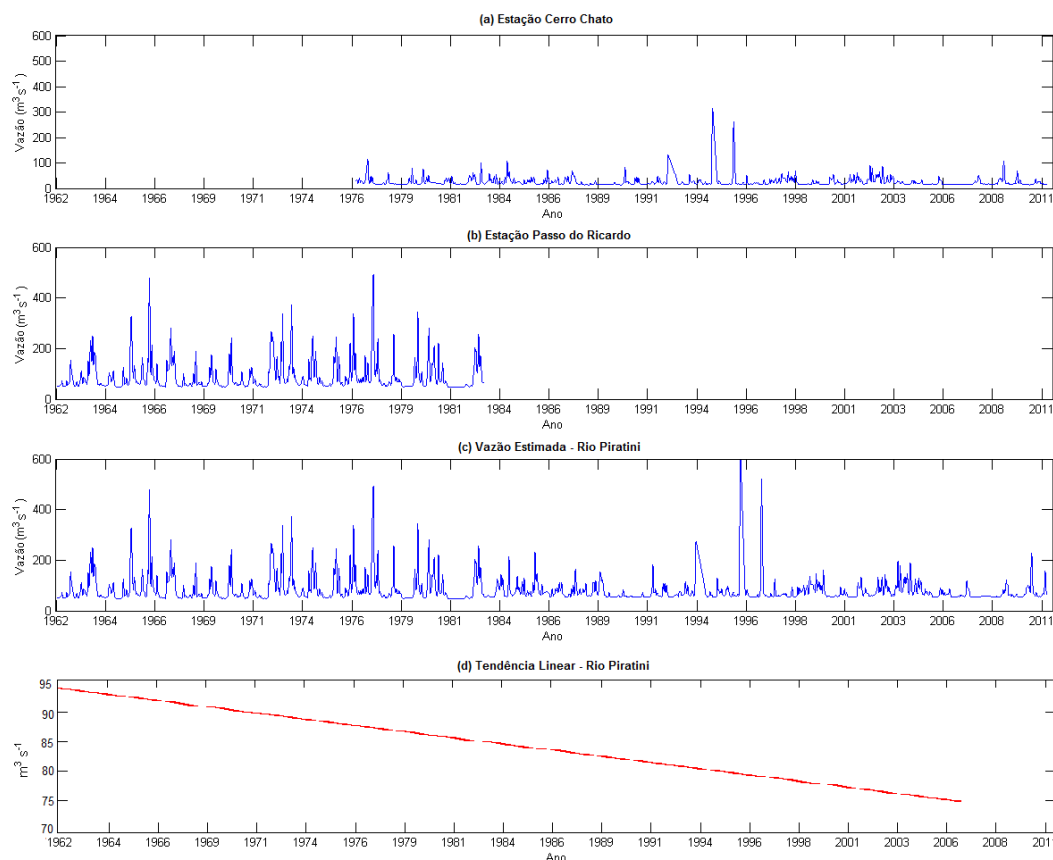


Figura 4 – Séries temporais de vazão nas estações (a) Cerro Chato e (b) Passo do Ricardo. (c) Série temporal estimada para o Rio Piratini. (d) Tendência linear calculada para a série temporal de vazão do Rio Piratini.

No espectro de potência calculado para o Rio Piratini (Figura 5) há um domínio da frequência de ciclos anuais, mostrando que a variabilidade desse tributário está ligada aos ciclos anuais de precipitação.

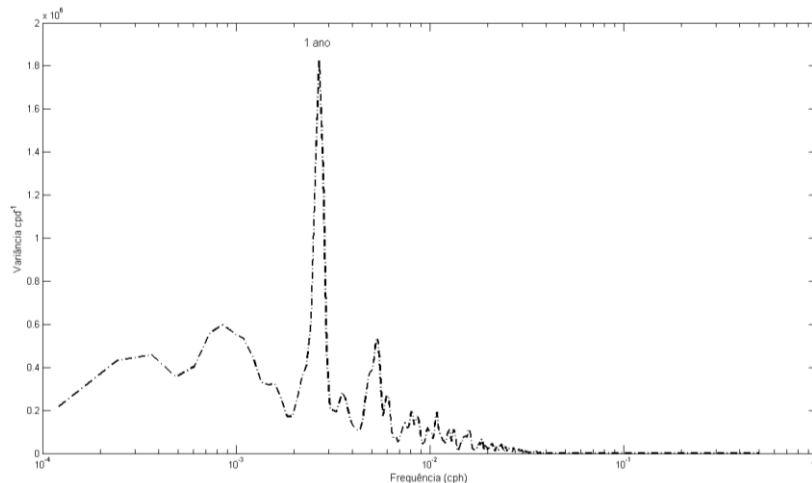


Figura 5 - Espectro de potência da série temporal de vazão do Rio Piratini para o período de janeiro de 2000 a janeiro de 2009

Para estimar a descarga da LM os dados de nível disponibilizados pela ALM foram correlacionados com os dados de vazão coletados na estação de Santa Isabel. Os pares cota-vazão, a equação que melhor representa a descarga na região e o coeficiente de determinação da regressão são apresentados na Figura 6. Neste caso a maior correlação entre os dados ( $r^2=0,91$ ) foi encontrada através da regressão polinomial de segunda ordem.

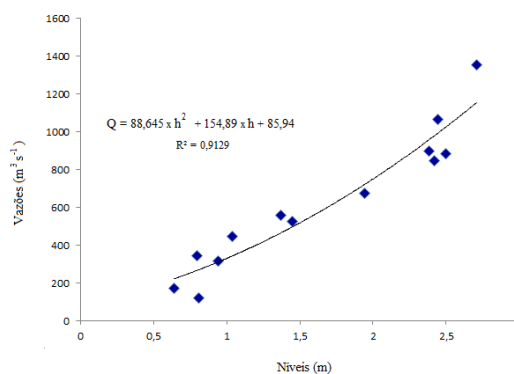


Figura 6 – Curva de correlação entre os níveis observados e as vazões medidas na estação de Santa Isabel.

A série temporal de vazão para a Lagoa Mirim estimada através da equação acima e da série temporal de níveis de água em Santa Isabel, pode ser observada na figura 8. A vazão oscilou entre os valores de  $98,54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em janeiro de 2009 a  $1503 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em dezembro de 2009, enquanto a média calculada para o período é igual a  $590,96 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

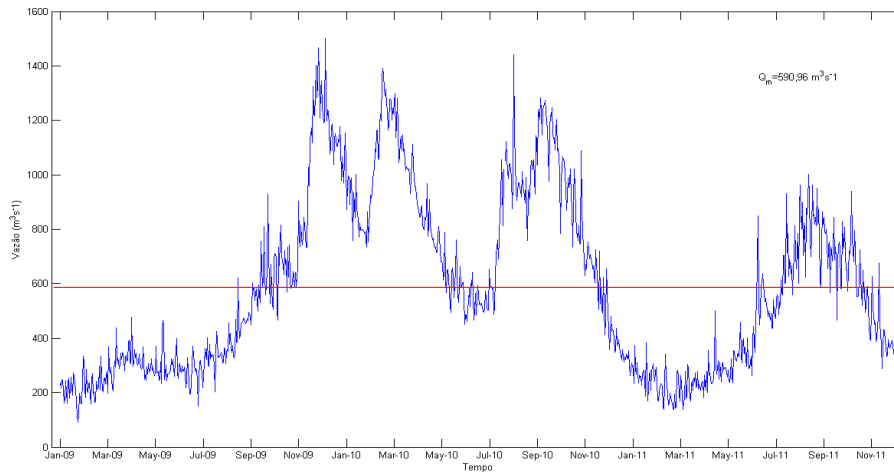


Figura 7 – Série temporal de vazão estimada para a Lagoa Mirim (em azul) e a média de vazão (em vermelho) calculada para todo o período de Janeiro de 2009 a Dezembro de 2011.

A descarga média calculada da LM é superior aos valores encontrados por outros autores. Segundo a Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA, 2006) a descarga anual média da LM é em torno de  $395,91 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , com vazão mínima de  $41,98 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em janeiro. Machado (2002) calculou a descarga média do CSG e chegou a valores de  $433,41 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $437,141 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , para os meses de janeiro de 2001 e julho de 2001, respectivamente. É importante lembrar que as vazões estimadas neste trabalho referem-se à descarga da LM para o CSG. A vazão da LM para a Lagoa dos Patos inclui ainda o aporte do Rio Piratini e do Arroio Pelotas (Figura 1), e foi estimada por Hartmann e Harkot (1990) em  $700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , e por Viegas e Franz (2006 *apud* Marques 2009) como  $760 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Como a vazão máxima dos contribuintes da LM é superior a  $30.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e capacidade de descarga máxima do canal é inferior a  $4.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (SUDESUL, 1977), conclui-se que a própria lagoa acumula a diferença dessas descargas, atuando como um grande reservatório, que responde ao acúmulo dos fluxos dos rios através de variações de nível.

Em função dos aportes dos rios uruguaios e da pequena vazão do CSG, o tempo de residência na Lagoa é alto. Considerando a vazão média calculada para o CSG e que o tempo de escoamento pode ser dado pela razão entre o volume médio da LM e a descarga média do CSG, chega-se a um tempo de residência de 400 dias. Considerando os valores extremos de vazão calculados para o CSG, com picos de  $1.500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , os valores caem para 166 dias e sobem a 1.250 dias se for utilizada a vazão mínima de  $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Estes resultados mostram as razões da manutenção de níveis altos por muito tempo, e indicam que este sistema pode apresentar problemas graves se for submetido a ações que gerem impactos fortes na qualidade de suas águas. Assim, este sistema lagunar parece ser bem diferenciado em seu funcionamento, pois recebe o aporte de uma importante bacia hidrográfica e seu escoamento se dá apenas pelo CSG, ligando a LM à Lagoa dos Patos. Convém lembrar também, que a região do CSG possui baixo declive o que pode contribuir para os processos de baixo escoamento para a Lagoa dos Patos e a manutenção de níveis altos na Lagoa Mirim.

## CONCLUSÕES

A partir de dados disponíveis na página da Agência Nacional de águas foi possível calcular séries temporais de vazão de três tributários da Bacia da Lagoa Mirim: Rio Cebollati, Rio Taçuari e Rio Piratini. Também foi possível calcular uma série temporal de vazão para a Lagoa Mirim a partir das coletas de dado de vazão e das séries temporais de nível. O aporte de água estimado para a Bacia da Lagoa Mirim no período é muito maior que a vazão estimada pra a Lagoa Mirim, indicando que a lagoa atua como um grande reservatório de água doce.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GENTA, J. L., PEREZ-IRIBARREN, G. e MECHOSO, C.R. 1998. A recent increasing trend in the streamflow of rivers in Southeastern South America. *Journal of Climate* 11, 2858-2862.
- GOUVÊA, T., ZARNOT, D. H. e ALBA, J. M. F. 2010. Caracterização geoambiental e histórico do processo de desenvolvimento da bacia da Lagoa Mirim. In: *Sustentabilidade Socioambiental da Bacia da Lagoa Mirim. Embrapa Clima Temperado*. Pelotas, RS. (1):19-30.
- HIRATA, F. E., MÖLLER, O. O. e MATA, M. M. 2010. Regime shifts, trends and interannual variations of water level in Mirim Lagoon, southern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatics Sciences*, 5(2):254-266.
- IRGA. 2006. Arroz irrigado – safra 2005/2006 – produção municipal. Fonte: <<http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20070117104152.pdf>>. Acesso 08/2007.
- MACHADO, G. 2002. Qualidade das Águas no Canal de São Gonçalo – Rio Grande do Sul – Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 170p.
- MACHADO, G. 2007. Demanda e Disponibilidade Hídrica no Sistema Lagoa Mirim-São Gonçalo – Rio Grande do Sul. *Revista Discente Expressões Geográficas*, 3: 61-82.
- MARQUES, W. C. 2005. Padrões de Variabilidade Temporal nas forçantes da circulação e seus efeitos na dinâmica da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul – Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Rio Grande - FURG. Rio Grande, RS. 87 p.
- MARQUES, W. C. 2009. Estudo da Dinâmica da Lagoa dos Patos. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Rio Grande - FURG. Rio Grande, RS. 284 p.
- PIOLA, A. R., ROMERO, S.I. e ZAJACZKOVSKI, U. 2008. Space-time variability of the Plata plume inferred from ocean color. *Continental Shelf Research*, 28, 1556-1567.
- ROBERTSON, A.W. e MECHOSO, C.R. 1998. Interannual and decadal cycles in river flows of Southeastern South America. *Journal of Climate* 11, 2570-2581.
- SEMA – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. 2006. Disponível em: < <http://www.sema.rs.gov.br/sema/jsp/rhcommrim.jsp> >. Acesso em: 23 de agosto de 2010.
- SUDESUL. 1974. Plano de desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim. Porto Alegre. 29p.
- TUCCI, C. E. M. 1997. Regionalização de Vazões. In: *Hidrologia: ciência e aplicação*, Tucci, C. E. M. (Ed.). Editora da Universidade. 573-619.
- VAZ, A. C. 2003. Efeito da descarga de água doce em processos ocorrentes no estuário da Lagoa dos Patos. Monografia de conclusão de curso. Universidade Federal de Rio Grande.
- VAZ, A. C.; MÖLLER, O. O e ALMEIDA, T. L. 2006. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. *Revista Atlântica*, Rio Grande, 28(1): 13-23, 2006.
- VIEIRA, E. F. e RANGEL, S. R. S. 1984. In: *Rio Grande do Sul: Geografia Física e Vegetação*. Porto Alegre: Sagra. 184p.
- VIEIRA, E. F. e RANGEL, S. R. S. 1988. In: *Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Geografia Física, Vegetação e dinâmica sócio-demográfica*. Porto Alegre: Sagra. 256p.