

Variabilidade Temporal em Longo Período da Descarga Fluvial e Níveis de Água da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil

Marques, W. C, Möller, O. O

Laboratório de Oceanografia Física, Universidade do Rio Grande

willian_marques@yahoo.com.br

Recebido: 18/01/08 – revisado: 09/04/08 – aceito: 30/07/08

RESUMO

A influência da descarga fluvial nos ambientes marinhos se manifesta em diversas escalas temporais, entretanto, em longas escalas de tempo tende a controlar o padrão residual do comportamento destes ecossistemas. Estudos da dinâmica da Lagoa dos Patos, situada no extremo sul do Brasil, são limitados a considerar o efeito do vento e da descarga fluvial em escalas de tempo sinóticas. Neste sentido, o objetivo do estudo é investigar a escala de variabilidade temporal dos processos dominantes em longo prazo na descarga fluvial e níveis de água da Lagoa dos Patos. Na realização do estudo foram utilizadas séries temporais de descarga fluvial, níveis de água e Índice de Oscilação Sul. Um modelo polinomial baseado no método de mínimos quadrados foi utilizado para re-constituir séries de níveis de água e métodos de análise estatística foram empregados para a determinação dos principais ciclos de variabilidade e sua possível relação de causa e efeito nas variáveis analisadas. A análise das séries temporais sugere que em escalas de anos a descarga fluvial explica mais de 80% da variabilidade na porção lagunar da Lagoa dos Patos. A descarga fluvial dos principais rios afluentes e os níveis de águas na Lagoa dos Patos é influenciada em escalas interanuais (ciclos entre 3.3 e 5 anos) pelo El Niño Oscilação Sul. A descarga fluvial e os níveis de água na região seguem ainda um padrão de variabilidade temporal com escala decadal (ciclo de 10.8 anos) que pode ter estar associado a eventos de El Niño Oscilação Sul ou a outros processos oceânicos e atmosféricos de ordem climática em escalas globais.

Palavras-chave: Descarga fluvial; ecossistemas.

INTRODUÇÃO

A influência da descarga fluvial em zonas costeiras se manifesta em diferentes escalas temporais e em inúmeros processos físicos, químicos ou geológicos (Schubel e Pritchard, 1986; Denes e Cafrey, 1988; Yanagy, 1990; Uncles e Stephens, 1996; Dronkers, 1996), afetando a produção primária, estimulando a remineralização bentônica e criando padrões espaciais de produção devido à alta disponibilidade de sedimentos suspensos e maior turbidez das águas de origem continental.

A descarga fluvial também é responsável pelo controle da qualidade da água através da mudança nas quantidades e composições de compostos orgânicos e inorgânicos alterando o tempo de transporte de materiais e residência da água (Cifuentes et al., 1990; Grabemann et al., 1996; Doering e Chamberlain, 1999). Suas influências podem ser observadas também no controle da circulação residual induzindo padrões espaciais e temporais de circulação que podem se refletir também nos pro-

cessos de transporte, estratificação e cisalhamento na coluna d'água (Jay, 1990; Kuo et al., 1990).

O estudo da influência da descarga fluvial na dinâmica de regiões costeiras, em escalas de tempo de longo período, não é facilmente realizado, pois, são necessárias longas séries de dados que muitas vezes não estão disponíveis. No entanto, o conhecimento da importância relativa desta forçante é fundamental para o correto gerenciamento dos ambientes costeiros.

A maior parte dos estudos sobre a dinâmica da Lagoa dos Patos, situada no extremo sul do Brasil, é limitado a estudos que considerem o efeito do vento e da descarga fluvial em escalas de tempo sinóticas (Möller, 1996; Möller et al., 1996; Möller et al., 2001; Fernandes, 2001; Fernandes et al., 2002; Fernandes et al., 2005). Estudos sobre a dinâmica em longo período são dificultados pela ausência de dados simultâneos, sobretudo, de dados de níveis de água ao longo do corpo da laguna.

Neste sentido, o objetivo deste estudo é investigar a importância da descarga fluvial como forçante física da Lagoa dos Patos em escalas temporais

maiores que um ano desprezando a contribuição dos ventos, bem como, identificar a escala de variabilidade temporal dos processos dominantes na descarga fluvial e níveis de água da Lagoa dos Patos.

Descrição da área de estudo

A Lagoa dos Patos é uma lagoa costeira estrangulada localizada no extremo sul do Brasil, entre 30° - 32°S de latitude e 50° - 52°W de longitude (Figura 1). Esta laguna tem uma área superficial de 10.360 km² e drena uma bacia hidrográfica de aproximadamente 201.626 km². A porção lagunar corresponde a cerca de 90% de sua área superficial e a região estuarina compreende os outros 10% (Delaney, 1965), sendo que estas regiões são separadas pelos bancos de areia da ponta da Feitoria.

Os principais rios tributários são os rios Jacuí e Taquari, os quais descarregam suas águas através do rio Guaíba, com uma vazão média anual de 2000 m³s⁻¹ (Marques, 2005) e o rio Camaquã, que deságua na região central da laguna, com uma vazão média anual de 400 m³s⁻¹ (Vaz, 2003).

A descarga fluvial que abastece esta laguna responde a um padrão associado a uma região de clima temperado e apresenta também variações temporais em escalas interanuais (Marques, 2005; Vaz, 2003). Picos extremos de descarga de 25.000 e 16.000m³s⁻¹ foram observados por Rochefort (1958) e Marques (2005), respectivamente.

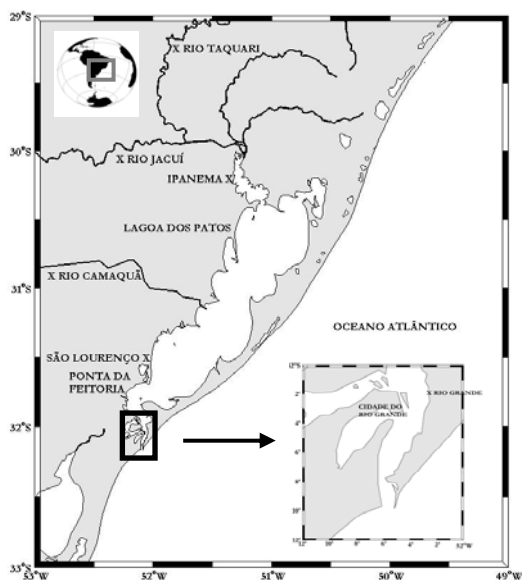


Figura 1 - Lagoa dos Patos, principais rios, estações fluviométricas e de níveis de água.

A ação dos ventos é a mais efetiva forçante da circulação da Lagoa dos Patos em escalas de tempo sinóticas (Möller et al. (2001)). Porém, estudos que mostrem a importância da descarga fluvial para a dinâmica da Lagoa dos Patos, principalmente em escalas de longo período, ainda devem melhor explorados.

METODOLOGIA

Para a realização do estudo foram utilizados dados de descarga fluvial, níveis de água e do Índice de Oscilação Sul (IOS). O IOS foi usado com a finalidade de investigar a relação entre a ocorrência do fenômeno natural El Niño Oscilação Sul (ENOS) e as anomalias observadas nos dados de descarga fluvial e níveis de água.

O fenômeno ENOS é a flutuação climática natural com escala interanual mais forte existente (Timmermann et al., 1999) e IOS indica a força e a fase da Oscilação Sul (OS). Valores positivos (negativos) deste índice estão associados à ocorrência do evento La Niña (El Niño).

Os dados brutos foram obtidos na forma de séries temporais de médias mensais para o período compreendido entre os anos de 1965 e 2002. Dados históricos de descarga fluvial e IOS cobrem o período entre 1965 e 2002 e os dados históricos de níveis de água cobrem o período entre 1985 e 2002.

A descarga fluvial dos rios Jacuí, Taquari e Camaquã, bem como os níveis de água para as estações de Ipanema, São Lourenço e Rio Grande foram obtidas na página virtual da Agência Nacional de Águas (ANA – www.ana.gov.br). A figura 1 mostra a posição destas estações de medidas. A descarga fluvial total foi representada pela soma dos fluxos dos tributários mencionados acima e as médias mensais do IOS foram obtidas através da página virtual da Agência Australiana de Meteorologia (<http://www.bom.gov.au>).

As médias mensais dos dados utilizados neste trabalho foram transformadas em médias anuais e dispostas na forma de séries temporais. Os mais importantes ciclos de variabilidade das séries temporais foram investigados através da análise rápida de Fourier (FFT – Fast Fourier Transform). O método de suavização de espectros no domínio de frequência foi utilizado para aumentar a significância estatística dos resultados e a investigação de possíveis relações lineares entre as variáveis foi realizada através do método de análise de espectros de coerência. Os métodos utilizados nas análises estatísticas são descritos em Emery e Thompson (1998).

O preenchimento das lacunas dos dados de níveis de água entre 1965 e 1985 foi realizado através da criação de um modelo de níveis de água como função da descarga fluvial utilizando o método de regressão polinomial. Pois, pode-se considerar que uma função qualquer pode ser escrita como um conjunto completo de funções ortogonais e independentes no seu espaço de funções. A base de função de níveis de água $\eta(x)$ pode ser escrita com um número finito (m) de séries convergentes de funções ortogonais $F_n(x)$.

$$\eta(x) = \sum c_n F_n(x), \quad n = 0, 1, \dots, m \quad (1)$$

Onde, c_n são os coeficientes. Qualquer série de dados pode ser dividida em uma parte determinística $E(x)$ e outra randômica ϵ .

$$\eta(x) = E(x) + \epsilon \quad (2)$$

De acordo com Emery e Thompson (1998), o método de mínimos quadrados pode ser usado para encontrar uma relação polinomial de uma variável randômica η (variável dependente) como função de variáveis não randômicas x_N (variáveis independentes) como:

$$\eta(x) = b_0 + b_1x + \dots + b_Nx^N + \epsilon \quad (3)$$

Onde, N é a ordem do ajuste polinomial e b_0, b_1, \dots, b_N são os coeficientes do ajuste.

Nestas condições, um modelo polinomial de terceira ordem ($m=4$) de níveis de água $\eta_D(D(t))$ pode ser escrito como uma função da descarga fluvial $D(t)$, como:

$$\eta_D(D(t)) = b_m D(t)^{m-1} + b_{m-1} D(t)^{m-2} + b_{m-2} D(t)^{m-3} + b_{m-3} D(t)^m \quad (4)$$

O modelo polinomial descrito acima foi utilizado para calcular a parte determinística dos níveis de água como função da descarga fluvial. E o ajuste de terceira ordem foi escolhido através de testes de estabilidade realizados com o modelo polinomial.

RESULTADOS

Séries temporais e análises de regressão

As series temporais de médias anuais de descarga fluvial total, IOS e níveis de água para os diferentes pontos ao longo da Lagoa dos Patos são apresentadas na figura 2. A descarga fluvial total

(Figura 2A) apresenta o valor mínimo de $525.6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ em 1968 e máximo de $4043.7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ em 1999. Comparando a série de descarga fluvial e a série de IOS (figura 2B) podemos observar que valores negativos do IOS (anos de El Niño) são associados com algum atraso de tempo aos maiores valores médios de descarga fluvial. Da mesma forma, valores positivos do IOS (anos de La Niña) estão relacionados aos menores valores médios de descarga na Lagoa dos Patos, indicando uma relação inversa entre o IOS e a intensidade da descarga fluvial na região com algum atraso de tempo.

Os níveis de água apresentam uma tendência de decréscimo em direção a desembocadura da Lagoa dos Patos e este padrão pode ser observado nos valores mínimos e máximos alcançados no período (Tabela 1). Com relação aos níveis de água (figuras 2C, 2D e 2E) podemos observar uma relação direta com a descarga fluvial, onde altas (baixas) intensidades médias são associadas a níveis acima (abaixo) da média. A análise de regressão entre os dados de descarga fluvial e níveis de água entre 1985 e 2002 evidencia bem esta relação (figura 3)

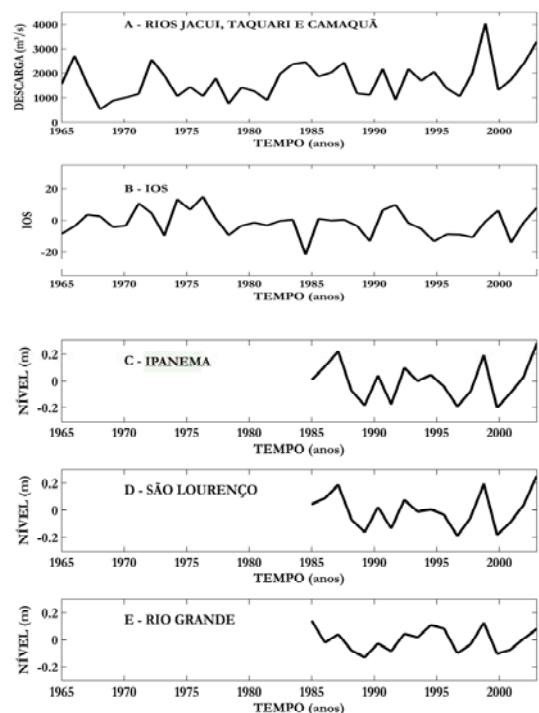


Figura 2 - Séries temporais de descarga fluvial (A) e IOS (B) para o período entre 1965 e 2002. Séries temporais de níveis de água em Ipanema (C), São Lourenço (D) e Rio Grande (E) entre 1985 e 2002.

Pela análise de dispersão (figura 3) podemos confirmar a relação diretamente proporcional entre as variáveis nas escalas de tempo analisadas onde níveis abaixo (acima) da média são associados a intensidades de descarga menor (maior) que 2000 m³/s. A região de Rio Grande é a que apresenta menor correlação com a descarga fluvial e alguns pontos não seguem este padrão. O ajuste polinomial obtido (figura 3) segue um padrão similar ao de uma parábola cúbica, porém existe uma diferença na orientação das concavidades entre a região estuarina e lagunar. Este padrão fica evidenciado nos sinais dos coeficientes polinomiais que são apresentados na tabela 2. A estabilidade do modelo polinomial foi testada pela sua aplicação no preenchimento das lacunas observadas entre os anos de 1965 e 1985 das séries de níveis de água (figura 4).

Tabela 1 - Valores mínimos e máximos para as médias anuais da descarga fluvial e níveis de água no período de estudo.

Estações	Mínima	Máxima
Descarga fluvial	525.6 m ³ s ⁻¹	4043.7 m ³ s ⁻¹
Ipanema	-0.2 m	0.28 m
São Lourenço	-0.19 m	0.25 m
Rio Grande	-0.13 m	0.15 m

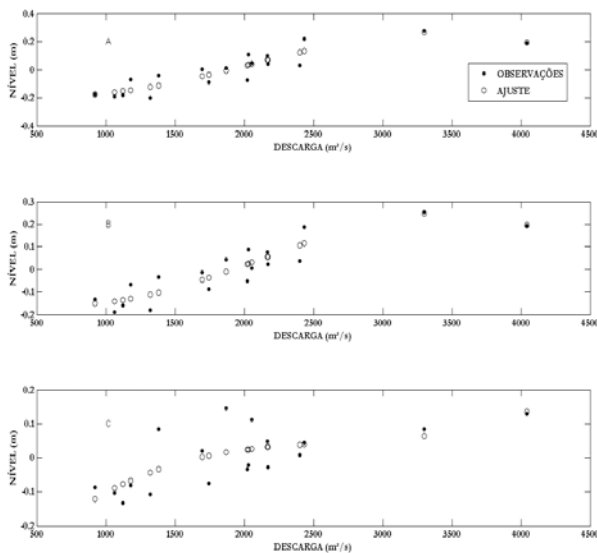


Figura 3 - Diagramas de dispersão entre a descarga fluvial e os níveis de água em Ipanema (A), São Lourenço (B) e Rio Grande (C) entre 1985 e 2002. O melhor ajuste em terceira ordem é mostrado pelos círculos não preenchidos nas figuras.

A análise dos resultados mostrou que a descarga dos principais afluentes da Lagoa dos Patos explica em escalas de anos mais de 80% (r²=0.81) da variabilidade dos níveis de água observados na região lagunar. Na região estuarina, a descarga explica cerca de 50% (r²=0.71) da variabilidade dos níveis de água.

Tabela 2 - Coeficientes polinomiais (coef) das estações de medidas.

coef	Ipanema	São Lourenço	Rio Grande
b4	-4.4465*10 ⁻¹¹	-4.0562*10 ⁻¹¹	2.4183*10 ⁻¹¹
b3	2.7641*10 ⁻⁷	2.6042*10 ⁻⁷	-1.9409*10 ⁻⁷
b2	-3.2360*10 ⁻⁴	-3.3295*10 ⁻⁴	5.3980*10 ⁻⁴
b1	-7.6357*10 ⁻²	-3.2454*10 ⁻²	-4.7352*10 ⁻¹

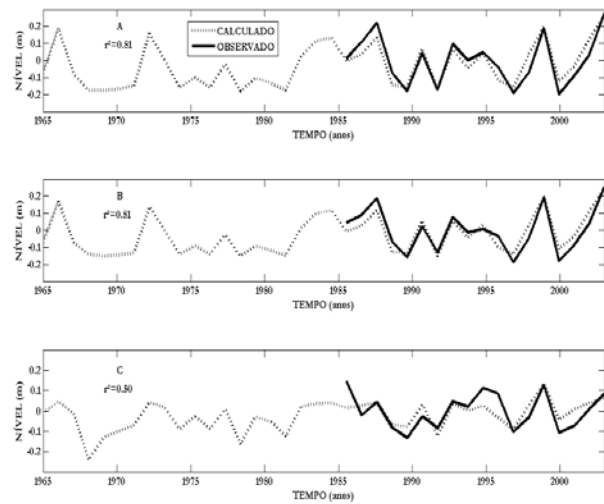


Figura 4 - Séries de níveis de água calculadas entre 1965 e 2002 e séries de níveis de água observadas entre 1985 e 2002 em Ipanema (A), São Lourenço (B) e Rio Grande (C). Coeficientes de determinação (r²) são apresentados nas figuras.

Análises estatísticas

A análise do espectro de potência cruzado entre as séries de descarga dos principais rios e níveis de água com a série de IOS mostrou a existência de ciclos bem definidos em escalas interanuais de 3.3 e 5 anos aproximadamente (figura 5). Além destes, um ciclo decadal de aproximadamente 10.8 anos também foi observado em ambos os espectros de potência.

A relação entre o fenômeno natural ENOS e estes ciclos de variabilidade foi confirmada através da análise do espectro de coerência (figura 6) das séries de descarga fluvial e níveis de água com a série de IOS. A análise sugere que existe uma relação linear entre o ENOS e os ciclos de descarga fluvial em escalas de tempo maiores que 3 anos e menores que 6 anos (figura 6A) com um atraso de fase relativo (figura 6B) que indica uma relação inversa entre IOS e a intensidade da descarga fluvial, ou seja, valores negativos do índice (anos de El Niño) com altas descargas.

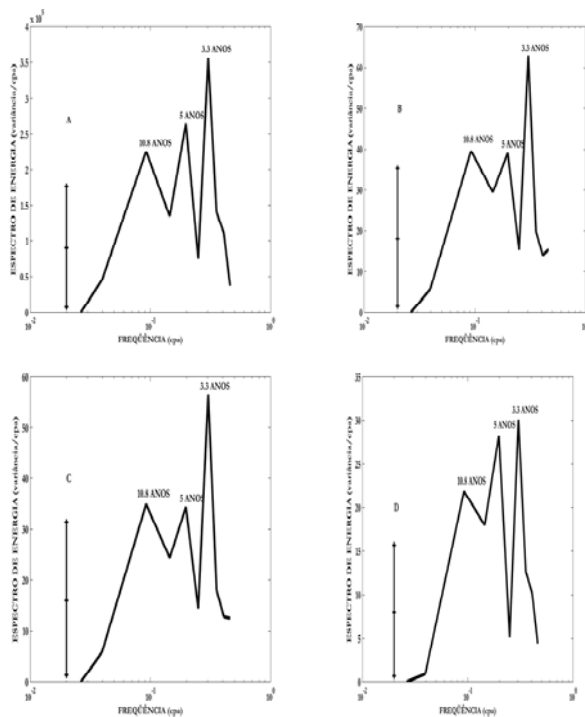


Figura 5 - Espectro cruzado de potência entre serie de descarga fluvial e IOS (A) e espectros cruzados e de potência entre séries de nível de água e IOS em Ipanema (B), São Lourenço (C) e Rio Grande (D). Barra vertical indica o nível de 95% de confiança para um espectro com 4 graus de liberdade.

A análise de coerência entre os níveis de águas e o IOS indica o mesmo comportamento observado para a descarga fluvial. Neste sentido, podemos esperar que os eventos de El Niño (La Niña) que contribuem para aumentos (decréscimos) na intensidade da descarga fluvial desta região vão secundariamente contribuir para aumentos (decréscimos) nos níveis médios da Lagoa dos Patos.

Os ciclos decadais são observados em ambos os espectros de potência (figura 5) e a análise do espectro de coerência sugere que exista uma relação entre estes ciclos e o ENOS, porém, sem atraso de fase relativo.

DISCUSSÕES

O método de análises de regressão pode ser utilizado para encontrar relações entre diversos tipos de variáveis e parâmetros. Neste trabalho os níveis de água foram estimados como função da descarga fluvial através deste método. Baseado nesta aproximação, pré-supomos que o modelo pode representar a parte determinística dos níveis de água que são influenciadas pelos processos mais importantes que ocorrem em escalas interanuais e decadais.

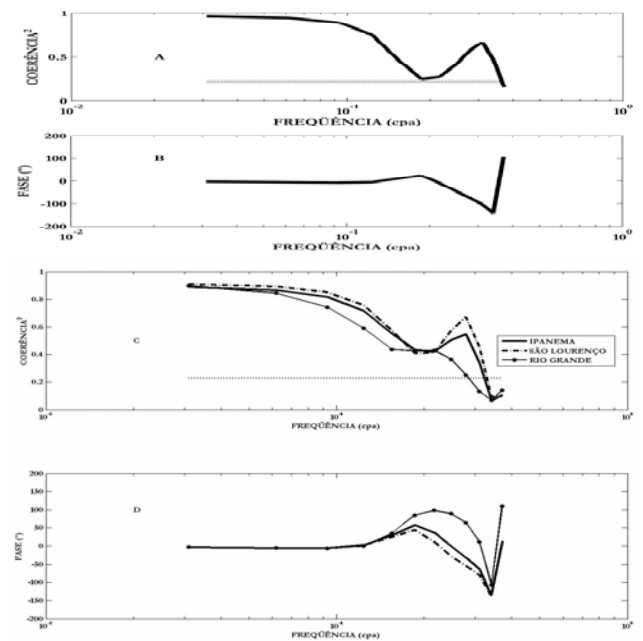


Figura 6 - Espectro de coerência (A) e atraso de fase (B) entre serie de descarga fluvial e IOS. Espectros de coerência (C) e atraso de fase (D) entre séries de nível de água e IOS. Nível de 95% de confiança é representado pela linha pontilhada horizontal.

O modelo proposto forneceu resultados satisfatórios para as simulações das séries temporais pretéritas de níveis de água, de forma que, o mesmo poderia ser utilizado como condições de contorno

de modelos numéricos ou para o preenchimento de pequenas lacunas em outras séries temporais ao longo da Lagoa dos Patos.

O método de regressão já foi aplicado com sucesso por outros autores. Kendall e Blanton (1981) utilizaram para calcular a salinidade como função da temperatura da superfície do mar ao longo da costa da Georgia, e Pilson (1985) para obter o tempo de residência da baía de Narragansett, EUA. Simpson et al. (1993) utilizaram métodos de regressão para estimar a corrente ao longo da costa como função do vento no mar do Norte e Bourgault e Koutitonsky (1999) aplicaram os métodos para calcular a descarga fluvial como função dos níveis de água no estuário St. Lawrence, EUA.

A aplicação destes métodos nos permitiu verificar que em escalas de anos e maiores a descarga fluvial explica cerca de 50% da variabilidade dos níveis de água na região estuarina, pois, sua proximidade com a desembocadura faz com que os efeitos remotos associados à circulação oceânica adjacente em longo período tenham igual importância. Möller et al. (2001) e Fernandes et al. (2005) verificaram que a região estuarina da Lagoa dos Patos, em escalas de tempo sinóticas, tem seu padrão de circulação dominado pela ação local e remota dos ventos com sua influência sendo intensificada em períodos de baixa e moderada descargas. Nossos resultados indicam um padrão similar para o controle dos níveis de água em escalas de tempo maiores que um ano, porém a importância dos efeitos associados ao vento não foram investigados.

Na porção lagunar da Lagoa dos Patos, a descarga fluvial explica mais de 80% da variabilidade dos níveis de água. Portanto, em escalas temporais maiores que um ano, a descarga fluvial pode ser considerada como forçante principal para o controle de processos residuais desta região. De forma que as forçantes que controlam o padrão de variabilidade da descarga serão responsáveis pela manutenção deste ambiente em longas escalas de tempo.

Estudos anteriores mostraram que lagoas costeiras são dinamicamente dominadas pela forçante de vento (Kjerfve, 1994), principalmente quando seu eixo principal é orientado na direção dos ventos predominantes (Smith, 1994). Segundo, Möller et al. (1996); Möller et al. (2001); Fernandes (2001); Fernandes et al. (2002); Castelão e Möller (2003) a dinâmica da Lagoa dos Patos em escalas de tempo sinóticas é dirigida pela componente longitudinal dos ventos que sopra paralelamente a linha de costa.

Em algumas regiões a dominância das forçantes de ventos e descarga fluvial é bem separada

em diferentes escalas temporais (Schroeder, et al., 1990). Nossos resultados indicam que a Lagoa dos Patos segue este padrão, sendo similar ao da baía Atchafalaya, EUA, onde Swenson e Sasser (1990) verificaram que a descarga dos rios explica aproximadamente 86% dos níveis de água em escalas anuais.

Em longas escalas temporais, a América do Sul sofre influência do ENOS (Allan et al., 1996; Grimm et al., 1998; Grimm et al., 2000; Dettinger et al., 2001). Os eventos mais significativos de ENOS mostram uma alta variabilidade temporal, podendo ocorrer em escalas quase-bienais (18 – 35 meses) ou em mais baixas frequências (32 – 88 meses) (Rasmusson et al., 1990). Zhang et al. (1997) analisaram campos globais de temperatura da superfície do mar e separam a ocorrência de ENOS em escalas interanuais e uma escala residual de variabilidade interdecadal.

O El Niño é a fase da OS em que os ventos alísios são fracos, a pressão é baixa sobre o Pacífico Tropical leste e alta sobre o lado oeste. O Sul do Brasil apresenta anomalias de precipitação associadas à ocorrência de ENOS (Grimm et al., 1998; Grimm et al., 2000; Montecinos et al., 2000). Para anos de El Niño, a primavera tende a ser mais úmida e para anos de La Niña anomalias secas ocorrem (Grimm et al., 1998, Montecinos et al., 2000). Neste trabalho foi observado que os principais tributários da Lagoa dos Patos mostram uma intensificação (decréscimo) no fluxo médio associado a anos de El Niño (La Niña), em escalas interanuais (com ciclos entre 3.3 e 5 anos). Estes resultados são consistentes com a análise relacionada ao IOS e concordam com resultados observados previamente por outros autores nesta região da América do Sul. Robertson e Mechoso (1997) verificaram que anos de El Niño intensificam a descarga do rio Negro e Paraguai em escalas de variabilidade interanual (ciclos entre 3.5 e 6 anos). Krepper et al. (2003) associaram picos de descarga fluvial do rio Uruguai com escalas de 3.5 e 6 anos também a influência do ENOS.

Os resultados mostram também que a intensidade da descarga fluvial e os níveis de água apresentam um padrão de variabilidade em escalas de 10.8 anos. Apesar das análises de coerência indicar uma possível relação com o IOS não existe um atraso de fase relativo entre as séries. Este resultado poderia sugerir que nestas escalas temporais a relação de causa e efeito observada entre o ENOS e a descarga fluvial poderia ocorrer por intermédio de mecanismos de circulação atmosféricos e oceânicos diferentes dos associados naturalmente aos eventos de El Niño e La Niña.

Robertson e Mechoso (1997) encontraram um ciclo de aproximadamente 9 anos como componente de variabilidade nas séries de descarga dos rios Paraguai e Paraná. Estes autores associaram as altas descargas observadas nesta escala de tempo com baixas temperaturas superficiais no oceano Atlântico Norte, observando que esta componente é mais forte no verão austral.

Anomalias negativas de temperatura superficial do oceano Atlântico Norte tropical durante o verão austral são associadas com a intensificação dos ventos de nordeste e um deslocamento para o sul da Zona de Convergência Intertropical em escalas de ENOS (Hastenrath et al., 1987; Aceituno, 1988). Estas também são associadas às tendências lineares observadas entre 1951-1990 (Wagner, 1996). Nogués-Paegle e Mo (1997) sugerem que uma possível forma de influência do Atlântico Norte tropical na região Sul da América do Sul é através de um ciclo decadal no sistema de monção de verão, e pelo fluxo em direção ao sul associado com um jato de baixo nível ao longo da parte leste dos Andes.

Os resultados apresentados anteriormente nos permitem identificar que algum evento de ordem climatológica influencia o padrão de descarga fluvial desta região seguindo um ciclo decadal, porém, a identificação dos fatores responsáveis, os mecanismos de interação entre diferentes oceanos e a atmosfera, bem como, uma possível co-relação com o eventos de ENOS requerem investigações mais detalhadas.

CONCLUSÕES

A análise das séries temporais sugere que em escalas de anos a descarga fluvial explica cerca de 50% da variabilidade dos níveis de água na região estuarina e mais de 80% da variabilidade na porção lagunar da Lagoa dos Patos. Este resultado indica que em escalas de tempo anuais ou mais longas a descarga fluvial é a principal forçante da região lagunar. Desta forma, podemos esperar que os processos dinâmicos residuais desta área sejam consideravelmente influenciados pelos eventos naturais de ordem climatológica que controlam os regimes de vazante dos principais rios da região. Por outro lado, o controle do padrão de níveis de água na região estuarina é mais complexo sendo influenciado pela variabilidade da descarga fluvial e possivelmente por efeitos remotos associados à circulação oceânica de

meso e larga escala ou pela ação remota do vento que neste trabalho não foi investigada.

A descarga fluvial dos principais rios afluentes e os níveis de águas na Lagoa dos Patos é influenciada em escalas interanuais (ciclos entre 3.3 e 5 anos) pelo ENOS, de forma, que eventos de El Niño (La Niña) estão associados a altas (baixas) descargas fluviais médias e níveis de água acima (abaixo) da média. A descarga fluvial e os níveis de água na região seguem ainda um padrão de variabilidade temporal com escala decadal (ciclo de 10.8 anos) que pode ter estar associado a eventos de ENOS ou a outros processos oceânicos e atmosféricos de ordem climática em escalas globais.

REFERÊNCIAS

- ACEITUNO, P. 1988. *On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate*. Mon. Wea. Rev. 116,505-524.
- ALLAN, R., LINDESAY, J. AND PARKER, D. 1996. *El Niño Southern oscillation and climate variability*. National Library of Australia Cataloguing-in-Publication entry, Australia.
- BOURGAULT, D. AND KOUTITONSKY, V. G. 1999. *Real time monitoring of the Freshwater Discharge at the Head of the St. Lawrence Estuary*. Atmosphere-Ocean 37(2), 203 – 220.
- CASTELÃO, R. M. E MÖLLER, O. O. 2003. *Sobre a circulação tri dimensional forçada por ventos na Lagoa dos Patos*. Atlântica 25(2),91-106.
- CIFUENTES L. A., SCHEMEL, L. E., AND SHARP, J. H., 1990. *Qualitative and numerical analyses on the effects of river inflow variations on mixing diagrams in estuaries*. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 30, 411-427.
- DELANEY, P. 1965. *Fisiografia e geologia de superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul*. Publicação Especial da escola de Geologia de Porto Alegre 6:1-105.
- DENES, T. A., AND CAFFREY, J. M. 1988. *Changes in seasonal water transport in a Louisiana estuary, Forleague Bay, Louisiana*. Estuaries 11(3):184-191.
- DETTINGER M. D., BATTISTI D. S., MCCABE, G. J., BITZ, C. M. AND GERREAUD, R. D. 2001. *Interhemispheric effects of inter-annual and decadal ENSO-like climate variations on the Americas*. Interhemispheric Linkages, V. Markgraf, Ed. Academic Press 1-16.
- DOERING, P. H. AND CHAMBERLAIN, R. H. 1999. *Water quality and source of freshwater discharge to the Ca-*

- loosahatchee estuary, Florida*. Journal of the American Water Resources Association 35,793-805.
- DRONKERS, J. 1996. *The influence of buoyancy on transverse circulation and on estuarine dynamics*. *Buoyancy Effects on Coastal and Estuarine Dynamics*. Coastal and Estuarine Studies 53:341-356. Copyright 1996 by the American Geophysical Union.
- EMERY, W. J. AND THOMPSON, R. E. 1998. *Data Analysis methods in physical oceanography*. 1st Edn. (B. P. C. Wheatons, Great Britain.)
- FERNANDES, E. H. L. 2001. *Modeling the hydrodynamics of the Patos Lagoon, Brazil*. PhD Thesis, University of Plymouth, England.
- FERNANDES, E. H. L., DYER, K. R., MÖLLER, O. O., AND NIENCHESKI, L. F. H. 2002. *The Patos Lagoon hydrodynamics during an El Niño event (1998)*. *Continental Shelf Research* 22, 1699-1713.
- FERNANDES, E. H. L., DYER, K. R. AND MÖLLER, O. O. 2005. *Spatial gradients in the flow of southern Patos Lagoon*. *Journal of Coastal Research*. 20,102-112.
- GRABEMANN, I., KÜHLE, H., KUNZE, B. AND MÜLLER, A. 1996. *Studies on transport times and water quality in the Weser estuary (Germany)*. In 'Mixing in Estuaries and Coastal Seas. Coastal and Estuarine Studies 50,291-302. American Geophysical Union, Washington DC.
- GRIMM, A. M., FERRAZ, S. E. T. AND JULIO, G. 1998. *Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events*. *American Meteorological Society*. 1998, 2863-2879.
- GRIMM, A. M., BARROS, V. R. AND DOYLE, M. E. 2000. *Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events*. *American Meteorological Society* 2000, 35-57.
- HASTENRATH, S., DE CASTRO, L. C. AND ACEITUNO, P. 1987. *The southern Oscillation in the tropical Atlantic sector*. *Contrib. Atmos. Phys.* 60,447-463.
- JAY, D. A. 1990. *Residual circulation in shallow estuary: shear, stratification and transport processes*. *Coastal and Estuarine Studies*. In *Residual Currents and Long-term Transport* 38:49-78. R. T. Cheng (ed.) Springer Verlag, New York.
- KENDALL, B. M. AND Blanton, J. O. 1981. *Microwave radiometer measurement of tidally induced salinity changes off the Georgia coast*. *Journal of Geophysical Research* 86(C7), 6435-6441.
- KJERFVE, B. 1994. *Coastal lagoons*. In 'Coastal Lagoon Processes' (Ed. B. Kjerfve) pp. 1-8. (Elsevier Oceanographic Series 60, Amsterdam.)
- KUO, A., Y., HAMRICK, J., M. AND SISSON, G., M. 1990. *Persistence of residual currents in the James River estuary and its implication to mass transport*. *Residual Currents and Long-term Transport*. Coastal and Estuarine Studies 38:389-402. R. T. Cheng (Ed.). Springer Verlag New York.
- KREPPER, C. M., GARCIA, N. O. AND JONES, P. D. 2003. *Interannual variability in the Uruguay river basin*. *International Journal of Climatology*. 23, 103-115.
- MARQUES, W. C. 2005. *Padrões de variabilidade temporal nas forçantes da circulação e seus efeitos na dinâmica da Lagoa dos Patos, Brasil*. Dissertação de mestrado, Universidade do Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.
- MÖLLER, O. O. 1996. *Hydrodynamique de La Lagune dos Patos, Mésures et Modelisation*. DSc. Thesis, Université Bordeaux I, France.
- MÖLLER, O. O., LORENZZETTI, J. A., STECH, J. L. AND MATA, M. M. 1996. *The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics*. *Coastal Shelf Research* 16, 335-351.
- MÖLLER, O. O., CASTAING, P., SALOMON, J. C. AND LAZURE, P. 2001. *The influence of local and non-local forcing effects on the sub tidal circulation of Patos Lagoon*. *Estuaries*, 24, 297-311.
- MONTECINOS, A., DIAZ, A. AND ACEITUNO, P. 2000. *Seasonal diagnostic and predictability of rainfall in subtropical South America base on Tropical Pacific SST*. *Journal of Climate*. 13, 746:758.
- NOGUÉS-PAEGLE, J. AND MO, K. C. 1997. *Alternating wet and dry conditions over South America during Summer*. *Mon. Wea. Rev.* 125,279-291.
- PILSON, M. E. Q. 1985. *On the residence time of water in Narraganset Bay*. *Estuaries*. 8(1), 2-14.
- RASMUSSEN, E. M., WANG, X. AND ROPELEWSKI, C. F. 1990. *The biennial component of ENSO variability*. *Journal of Marine Systems*. 1:71-96.
- ROBERTSON, A. W. AND MECHOSO, C. R. 1997. *Interannual and decadal cycles in river flows of southeastern south America*. *Journal of Climate*. 11, 2570-2581.
- ROCHERFORT, M. 1958. *Rapports entre la Pluviosité et l'écoulement dans le Brasil Subtropical et le Brasil Tropical Atlantique*. *Travaux et Mémoires de l'Institut des Hautes Etudes de l'Amérique Latine*, Paris, France.
- SCHROEDER, W. W., DINNEL, S. P. AND WISEMAN Jr., W. J. 1990. *Salinity stratification in a river-dominated estuary*. *Estuaries*. 13,145.154.
- SCHUBEL, J. R. AND PRITCHARD, D. W. 1986. *Responses of upper Chesapeake Bay to variations in discharge of the Susquehanna river*. *Estuaries*. 9(4a)236-249.
- SIMPSON, J. H., BOS, W. G., SCHIRMER, F., SOUZA, A. J., RIPPETH, T. P., JONES, S. E. AND HYDES, D. 1993. *Periodic stratification in the Rhine ROFI in the North Sea*. *Oceanologica ACTA*. 16(1),23-31.

- SMITH, N. P. 1994. *Water, salt and heat balance of coastal lagoons*. In B. Kjerfve (ed.), *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier Oceanography Studies. 60:69-101.
- SWENSON, E. M., AND SASSER, C. E. 1990. *Water level fluctuations in the Atchafalaya Delta Louisiana: tidal forcing x river forcing*. In 'Coastal and Estuarine studies 40: Dynamics and Exchanges in Estuaries and Coastal Zone'. (Ed. D. Prandle.) pp 191-208. (American Geophysical Research: Washington, DC.)
- TIMMERMANN, A., OBERHUBER, J., BACHER, A., ESCH, M., LATIF, M. AND ROECKNER, E. 1999. *Increased El Nino frequency in a climate model forced by future greenhouse warming*. *Nature*. 398, 684-697.
- UNCLES, R. J. AND STEPHENS, J. A. 1996. *Buoyancy phenomena in the Tweed estuary. Buoyancy Effects on Coastal and Estuarine Dynamics*. *Coastal and Estuarine Studies* 53:175-193. Copyright 1996 by the American Geophysical Union.
- VAZ, A. C. 2003. *Efeito da descarga de água doce em processos ocorrentes no estuário da Lagoa dos Patos*. Monografia do curso de Oceanologia da Fundação Universidade do Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.
- WAGNER, R. G. 1996. *Decadal-scale trends in mechanisms controlling meridional sea surface temperature gradients in the tropical Atlantic*. *J. Geophys. Res.* 101,16683-16694.
- YANAGY, T. 1990. *Currents and sediment transport in the Seto Inland Sea, Japan*. In R. T. Cheng (ed), *Coastal and Estuarine Studies*, 38:348-355. Residual Currents and Long-term Transport. Springer Verlag, New York.
- ZHANG, Y., WALLACE, J. M., BATTISTI, D. S. 1997. *ENSO-like interdecadal variability: 1900-93*. *Journal of Climate* 10:1004-1020.

used to perform the study. A polynomial model based on the least squares method was used to re-construct series of water levels and statistical analysis methods were used to determine the main cycles of variability and their possible cause and effect relationship in the variables analyzed. The time series analysis suggests that on a scale of years, the river discharge accounts for over 80% of the variability in the lagoonal portion of Patos Lagoon. The river discharge in the main tributaries and the water levels in Patos lagoon are influenced on interannual scales (cycles between 3.3 and 5 years) by El Niño Southern Oscillation. The river discharge and the water levels in the region also follow a pattern of temporal variability with a decadal scale (10.8 year cycle), which may have been associated with El Niño Southern Oscillation events, or with other oceanic and atmospheric processes of climatic kind on global scales.
Keywords: river discharge; ecosystems.

Temporal Variability in a Long Period of River Discharge and Water Levels of the Patos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil

ABSTRACT

The influence of river discharge in the marine environment is expressed in several time scales, but in long time scales it tends to control the residual pattern of behavior of these ecosystems. Studies on the dynamics of the Patos Lagoon, located in the extreme south of Brazil, are limited to considering the effect of wind and river discharge on synoptic time scales. In this sense, the objective of the study is to investigate the time variability scale of the dominant processes over the long term in river discharge and water levels in Patos Lagoon. Several time series of river discharge, water levels and Southern Oscillation Index were