

Análise EOF dos Padrões espaço-temporais dos campos de velocidades superficiais do Estuário da Lagoa dos Patos – RS para análise de Escala de Tempo de Transporte

Paulo Victor Lisboa^{1,2}
Jean Marcel de Almeida Espinoza²
Daniel Capella Zanotta²

¹ Universidade Federal do Rio Grande - FURG
Caixa Postal 96203-900 – Rio Grande - RS, Brasil
paulovictor.oceano@gmail.com

² Instituto Federal do Rio Grande – IFRS – Rio Grande
Caixa Postal 474-96201-900 – Rio Grande - RS, Brasil
jean.espinoza@riogrande.ifrs.edu.br

ABSTRACT

The EOF analysis of intensity showed a contribution of 90%, 6% and 4% for the first three EOF's, respectively, as for the direction of EOF showed a contribution of 86%, 8% and 6% for the first three EOF's, respectively. The intersection of these EOF's with the data of intensity and direction exhibited correlation values of 79.52% and 73.38% respectively, showing the contribution of intensity and wind contribution to the spatial distribution of the current. With that, trying to analyze the different Timeframes Transport in Estuary of Patos Lagoon, the present work we used methods such as numerical modeling and GIS to accomplish its objectives. With the use of modeling a hydrodynamic simulation of a year, where we determined the velocity field which subsequently underwent an EOF analysis to check their patterns of spatiotemporal variability in the study area, it was possible to estimate the preferred trajectories of the particles was implemented the waters of the estuary complex.

Key-Words: Velocity Field, Time Residence, EOF Analysis, Numerical Modelling

1. INTRODUÇÃO

Lagoas, lagos e corpos semi-fechados comumente estão sujeitos a intervenção antrópicas, comprometendo tanto o estado trófico, quanto a saúde do ambiente. A capacidade intrínseca de limpeza desses ambientes pode ser representada em dois diferentes processos: processos biogeoquímicos e processos físicos, sendo o último os principais processos, visto que, a maioria dos contaminantes e massas de nutrientes liberados nestes sistemas aquáticos, são transportados num estado suspenso ou dissolvido através de um fluxo médio. Além disso, por mais que esses ambientes sejam geralmente caracterizados por processos biogeoquímicos intensos e de curta duração que podem renovar totalmente o compartimento aquático. Essa capacidade de limpeza é dependente principalmente dos processos hidrodinâmicos, que transportam massas de água com os seus constituintes para fora da bacia.

A descrição dos processos de transporte pode ser expressa pela definição de uma escala de tempo (Monsen *et al.*, 2002). Esta escala de tempo é geralmente menor do que a escala de tempo de renovação biogeoquímica e dá uma estimativa da retenção de massa de água dentro da bacia. O tempo de retenção de água ou escala de tempo de transporte (ETT) tem sido bastante abordado por muitos autores como um parâmetro fundamental para a compreensão da dinâmica ecológica em ambientes lagunares. Em diversos trabalhos a variabilidade da escala de tempo de transporte em corpos de água interiores tem sido usado para descrever a variabilidade de nutrientes dissolvidos (Andrews & Müller, 1983), a taxa de mineralização da matéria orgânica (Den Heyer e Kalff, 1998), a produção primária e concentração de carbono orgânico dissolvido.

Na literatura a ETT é definido através de diferentes conceitos: idade, tempo de descarga, tempo de residência, tempo de transito e tempo de renovação. Segundo Takeoka (1984), uma vez que existam muitos fenômenos de transporte em mar costeiro, deve haver muitas escalas de tempo para eles, daí a grande quantidade de conceitos. Dentre as diversas aplicações da ETT, o Tempo de Residência será abordado nesse trabalho, sendo este o tempo necessário para que através dos mecanismos como difusão e advecção, a massa de água seja transportada para o mar aberto. O tempo gasto para que cada partícula de água saia do interior da laguna nos dá uma ideia da eficiência do transporte no processo de limpeza desse corpo de água. Esses fatos exibem a relevância do cálculo da ETT, e principalmente do Tempo de Residência (TR) na gestão em ambientes de lagoas e bacias costeiras.

Esse tipo de estudo já vem sendo executado e aprimorado em diversas regiões no mundo dentre eles o Lago Venice, e na Ria de Aveio onde Cucco *et al.*, 2005 e Dias *et al.*, 2007, respectivamente, determinaram esse parâmetro com o auxílio da modelagem numérica, usando lançamento de partículas. Para a Lagoa do Patos, Régis *et al.*, 2004 verificaram que esse parâmetro é muito dependente da descarga fluvial e do vento. A variabilidade no regime de ventos da região altera a direção das trajetórias das partículas, sendo assim difícil determinar a possível trajetória preferencial, o que para o estudo da hidrodinâmica é de suma importância. Para suprir essa ausência a análise realizadas por Funções Ortogonais Empíricas (EOF) aparece como uma ótima sugestão na determinação espaço-temporal probabilística desses parâmetros, exibindo os padrões espaciais de distribuição das trajetórias para as partículas.

A EOF tem sido utilizado com bastante frequência em estudos relacionados com recursos naturais, tais como Salinidade e Temperatura Superficial do Mar (TSM) (Zanotta *et al.*, 2010). Porém na literatura esse método ainda não tem sido utilizado para a detecção a trajetória preferencial de uma partícula num corpo lagunar, como acontece no Estuário da Lagoa dos Patos (ELP).

Para um conjunto de dados distribuídos espacialmente e que constituam uma série temporal, a análise EOF permitirá extrair os padrões de variabilidade espacial da grandeza exibida na série. No caso espacial da movimentação de partículas ao longo de um corpo d'água, a análise EOF exibirá os padrões espaço-temporais mais representativos para as trajetórias observadas. Assim, cada EOF representará um padrão espaço-temporal das trajetórias das partículas, sendo que o conjunto total de trajetórias pode ser explicado com um número reduzido de EOFs.

Diante das informações mencionadas acima, o presente trabalho busca determinar uma estimativa das trajetórias preferenciais de partículas no Estuário da Lagoa dos

Patos aplicando a modelagem numérica associada à análise EOF, e definindo assim os padrões espaço-temporal do seu Tempo de Residência.

2. METODOLOGIA DE TRABALHO

Área de Estudo

A Lagoa dos patos fica localizada na costa Sul do Brasil (31°S, 51°O). Apresenta 250 Km de comprimento e uma largura média de 40 Km, o que lhe possibilita ser rotulada como a maior lagoa costeira do mundo, como uma área média de 10.360 km². Sua profundidade média é de 5 m, o que a faz ser classificada como uma lagoa do tipo rasa, onde a circulação é controlada pelo vento e pela descarga fluvial. Sua conexão com o mar se dá através de um canal estreito no estuário, com largura variando entre 1 e 2 km e comprimento de 22 Km.

O Estuário da Lagoa dos Patos (31°S, 51°O), próximo a desembocadura do estuário da Lagoa dos Patos. É caracterizada por ser uma zona de alta convergência de águas, originados de diferentes bacias hidrográficas. É ecossistema para diversas espécies aquáticas e é fundamental para o abastecimento de água em todo o entorno. A presença de um porto e de canais antrópicos e naturais no estuário resulta atualmente num elevado trânsito de navios comerciais.

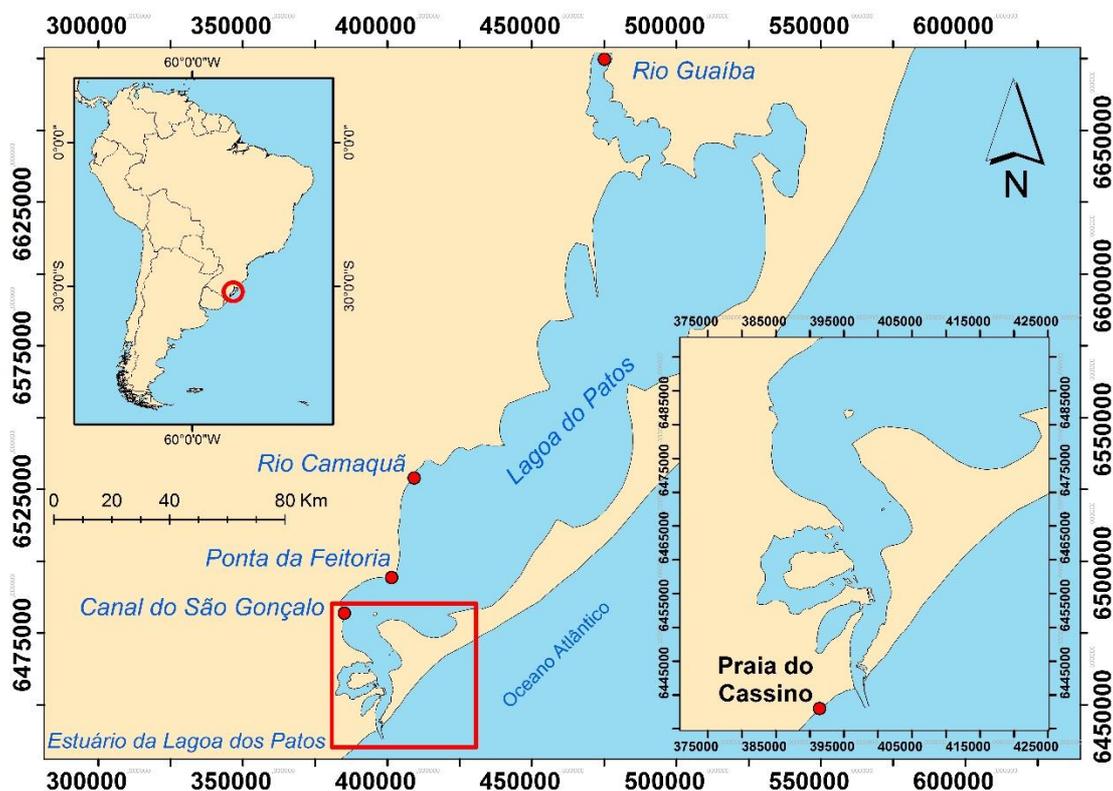


Fig. 1: Área de Estudo

Fonte: Arquivo Pessoal

Modelagem Numérica do Tempo de Residência

As simulações hidrodinâmicas foram realizadas com o sistema de modelagem numérica TELEMAC, desenvolvido pelo *Laboratoire National d’Hydraulique* da *Compagnie Electricité de France (EDF)*. Foram usados a maré, nível, velocidade de corrente e vazão para forçar as fronteiras líquidas do modelo. Como condição inicial foram prescritos dados de temperatura e salinidade obtidos do Projeto OCCAM. Na superfície, o modelo foi forçado com dados de vento e temperatura do ar do Projeto NCEP/REANALISES. As simulações foram realizadas para o período de um ano, e a grade batimétrica utilizada estende-se desde as latitudes de 28°S até 36°S e as longitudes de 45°W e 54°W, atingindo profundidades superiores a 3700m (Figura 7). Este modelo já se encontra calibrado e validado (Marques, *et al.* 2009) para a região de estudo.

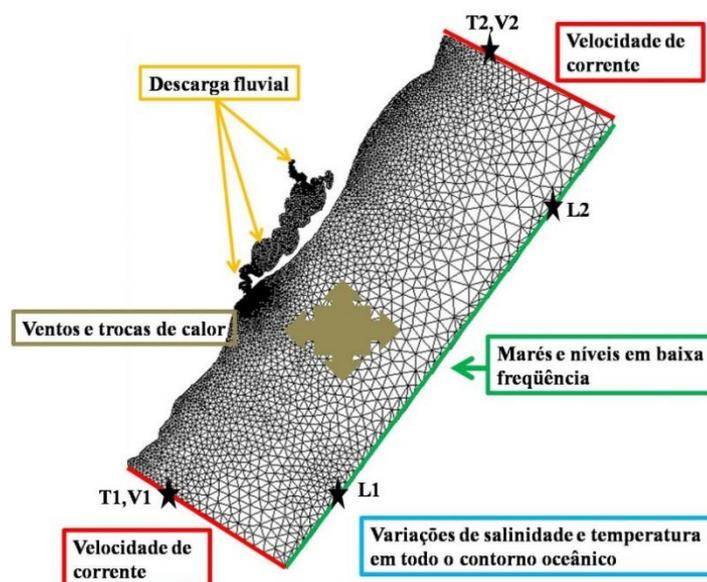


Fig. 2.: Contornos líquidos e superficiais e grade numérica considerados nas simulações.

Fonte: Arquivo Pessoal

A simulação retrata a configuração atual os molhes assim como a batimetria. As demais forçantes citadas acima são dinâmicas no tempo e no espaço. O modelo ainda fornecerá previsões dos valores de velocidade, salinidade e temperatura para cada ponto da grade e ao longo de 14 níveis sigmas.

Análise EOF do Tempo de Residência e Tempo de Renovação

A análise EOF foi empregada objetivando identificar os padrões espaço-temporais para as trajetórias de partícula, Tempo de Residência e Tempo de Renovação. A partir dos dados especializados de intensidade e direção de corrente, obtidos para cada passo de simulação, foram gerados arquivos raster contendo cada uma das variáveis de interesse especializadas.

O arquivo de inicialização da análise EOF utilizado tem um formato matricial onde cada linha representa um passo de simulação (passo de tempo simulado) e cada coluna

representa uma certa posição espacial onde a variável foi simulada ou aferida (Figura 8). A partir deste arquivo de inicialização foi determinado o conjunto de funções lineares ortogonais (não correlacionadas) que associadas são capazes de compor o dado inicial. Em outras palavras, através da associação linear de um conjunto de N funções EOF é possível compor o dado de entrada utilizado na análise EOF.

Havendo um ou mais padrões espaciais para a variável de interesse, a análise EOF agregará os padrões mais significativos junto as primeiras funções EOF obtidas, permitindo descartar as demais funções geradas. A significância dos padrões de cada função EOF (cada auto-função) foi determinada pela importância estatística desta auto-função na reconstrução dos dados originais analisados, no que conhecemos como auto-valor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado da modelagem numérica, foi gerado uma simulação de um ano, onde era possível se obter dados do campo de velocidade em período horário, para todos pontos da malha batimétrica. A partir desses dados de corrente para o Estuário da Lagoa dos Patos, foram calculadas as EOF's de intensidade e de direção para o período analisado. As figuras X e Y mostram as três primeiras EOF's de intensidade. As taxas de contribuição das três primeiras EOF's de intensidade são 90%, 6%, 4%, respectivamente.

A partir da análise das imagens, percebe-se que há um padrão bem definido dos valores de intensidade na região que compreende o canal de navegação, representado pelas cores quentes. Sendo assim nessa região, de acordo com a EOF, é onde menos sofre variação dos valores de intensidade na área analisada durante todo o período de um ano. Com isso nas demais regiões a variabilidade desse parâmetro pode ser controlada por outros fatores como vento e batimetria.

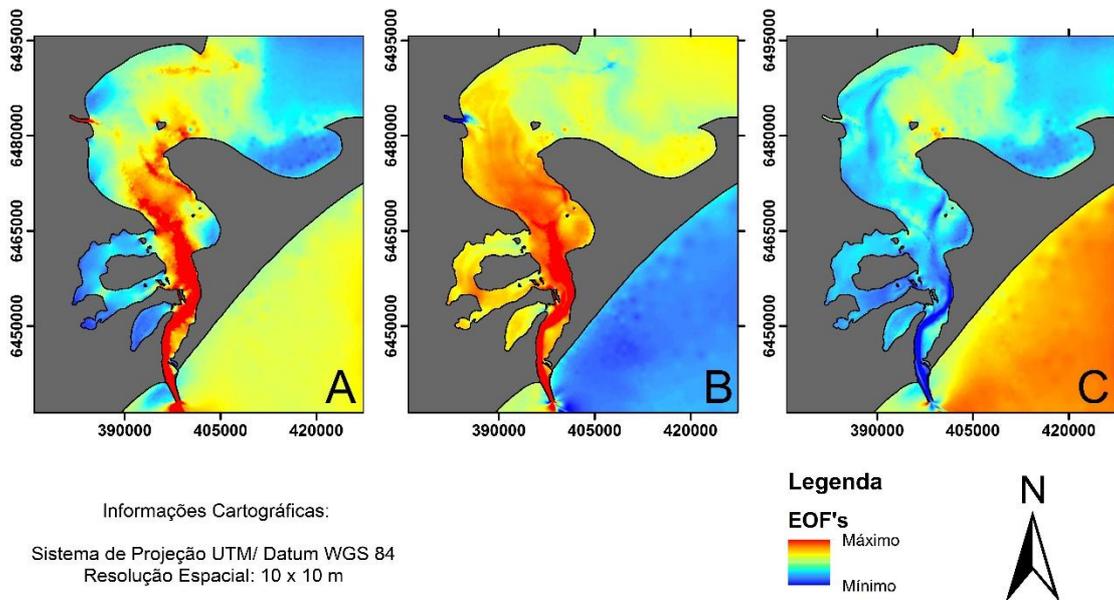


Fig. 3: (A) Primeira EOF de intensidade, (B) Segunda EOF de intensidade, (C) Terceira EOF de intensidade

Fonte: Arquivo Pessoal

Quanto a EOF da direção, vemos um padrão mais variável no espaço se comparado com o de intensidade. Percebe-se que na porção central do estuário, próximo ao canal do São Gonçalo, a variabilidade é muita baixa, devido a profundidade relativamente alta para a região. Outras regiões onde se pode evidenciar esse fato é na desembocadura do estuário, assim como no canal do porto novo.

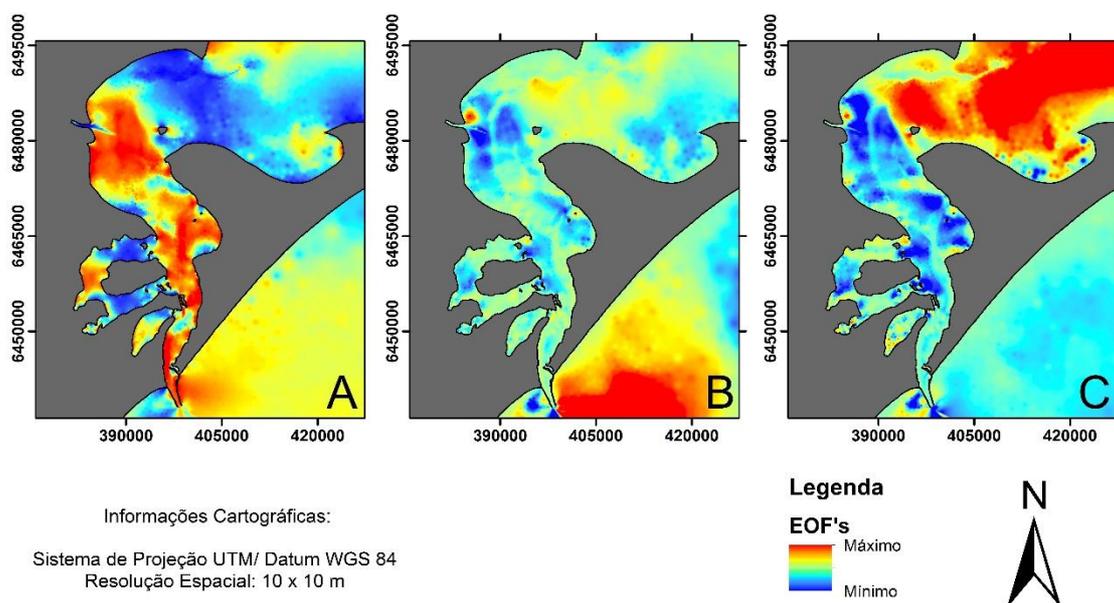


Fig. 3: (A) Primeira EOF de direção, (B) Segunda EOF de direção, (C) Terceira EOF de direção

Fonte: Arquivo Pessoal

Como forma de averiguar o grau de importância de variáveis como batimetria e vento nas análises EOF's, foi realizado uma correlação entre a batimetria e a EOF de intensidade, assim como uma correlação entre o vento e a EOF de direção.

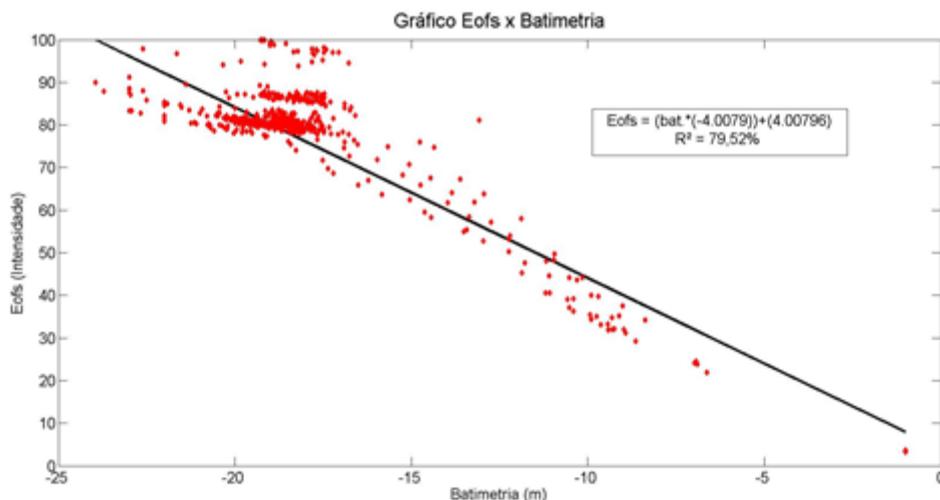


Fig. 4: Grafico de correlação entre as EOF's de intensidade e a batimetria

Fonte: Arquivo Pessoal

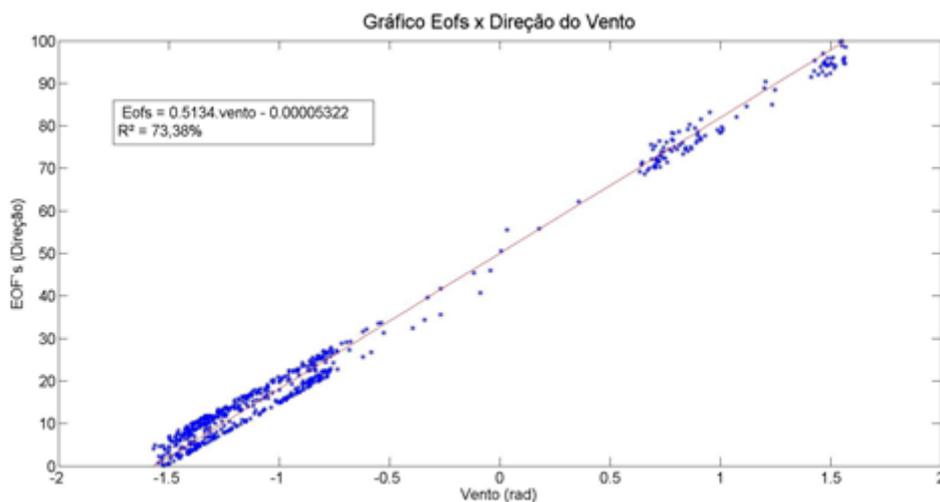


Fig. 5: Grafico de correlação entre as EOF's de direção e a direção do vento

Fonte: Arquivo Pessoal

Existe uma boa correlação entre os parâmetros acima analisados, porém outros parâmetros ainda contribuem para esse padrão espaço-temporal das Eof's, como por exemplo a velocidade de corrente.

4. CONCLUSÃO

Utilizando dados modelados de corrente, a variação horária desse parâmetro foi investigada. Verifica-se que o campo de velocidade para o Estuário da Lagoa dos Patos tanto para as EOF's de intensidade quanto de direção segue um padrão espaço-temporal bem definido. Pode concluir-se que a primeira EOF de intensidade corresponde a um padrão que é delimitado pela presença do canal de navegação refletindo variações relacionadas à batimetria. Já a EOF de direção reflete bem a resposta do vento sobre a camada superficial da água.

A EOF permitiu isolar as diferentes variabilidades encontradas nos dados do campo de velocidade. É importante ressaltar que a técnica de análise de séries temporais espacializadas por EOF's se mostra robusta, ao propiciar a determinação da quantidade da variabilidade do dado original que está representada pelas primeiras componentes principais, além de reduzir a redundância dos dados ao descartar as demais componentes principais não representativas.

5. REFERÊNCIAS

Andrews, J.C., Muller, H., 1983. Space-time variability of nutrients in a lagoonal patch. *Limnology and Oceanography* 28, 215–227.

Cucco, A., Umgieserb, G., Ferrarinb, C., Perilli, A., Canuc, D. M., Solidoroc, C., 2009. Eulerian and lagrangian transport time scales of a tidal active coastal basin. *Ecological Modelling* 913–922.

Den Heyer, C., Kalff, J., 1998. Organic matter mineralization rate: a within- and among-lake study. *Limnology and Oceanography* 43, 695–705.

Dias, J.M., Abrantes, I., Rocha, I., 2007. Suspended Particulate Matter Sources and Residence Time in a Mesotidal Lagoon. *Journal of Coastal Research SI 50 1034 - 1039 ICS2007 (Proceedings) Australia ISSN 0749.0208*

Monsen, N.E., Cloern, J.E., Lucas, L.V., 2002. A comment on the use of flushing time, residence time, and age as transport time scales. *Limnology and Oceanography* 47 (5), 1545–1553.

Pereira, R. S., Niencheski, L.F.H., 2004. Simulação Do Tempo De Residência DA Lagoa Dos Patos. XXI Congresso Latinoamericano DE Hidráulica São Pedro, Estado De São Paulo, Brasil

Takeoka, H., 1984. Exchange and transport time scales in the Seto Inland Sea. *Continental Shelf Research* 3 (4), 327–341.

Zanotta, D. C.; Ducati, J. R.; Gonçalves, G. A., 2010 Surface temperature patterns of Lagoa dos Patos, Brazil, using NOAA-AVHRR data: an annual cycle analysis. *Pesquisas em Geociências (UFRGS. Impresso)*, vol. 37, p. 219- 226.