

Padrão de variabilidade anual dos campos de temperatura superficial da Lagoa dos Patos – RS por análise EOF

Daniel Capella Zanotta^{1,2}
Jean Marcel de Almeida Espinoza^{2,3}
Yosio Edemir Shimabukuro¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{zanotta, yosio}@dsr.inpe.br

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – *Campus* Rio Grande - IFRS
Rua Eng. Alfredo Huch, – Rio Grande - RS, Brasil
jean.espinoza@riogrande.ifrs.edu.br

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
– Porto Alegre - RS, Brasil

Abstract. This work is focused on the characterization of Lagoa dos Patos temperature dynamics in the South of Brazil in a space and time scale of one year cycle through an empirical orthogonal function (EOF) analysis. The variability analyses are based on remote sense data provided by AVHRR – NOAA satellite sensors for images between August/2007 and July/2008. The results and analyses show that lake surface temperature data have similar spatial values on the first EOF mode. The first EOF, which in this case explains more than 97% of the total variability in the images, shows simultaneous increase or decrease of water temperature due to surface heating or cooling with the uniform magnitude of the temperature change over the lake. The second mode reflects more local property of heat storage dependent on the depth of the water body and can adequately be associated with the bathymetric profile.

Palavras-chave: lake surface water temperature, NOAA-AVHRR, EOF analysis, temperatura da superfície de lagos, NOAA-AVHRR, análise EOF.

1. Introdução

O estudo da dinâmica de processos ocorrentes em ambientes lacustres é considerado muito importante para diversas áreas do conhecimento (Schwab et al., 1999). Dados de temperatura superficial têm um importante papel no entendimento dos processos de interação entre superfície e atmosfera. A representatividade espacial e temporal obtida com a observação por satélites é imprescindível para um melhor acompanhamento e compreensão de fenômenos meteorológicos, representando uma importante fonte de dados de entrada para modelos de previsão. A Temperatura da Superfície de um Lago (TSL) pode ser operacionalmente derivada a partir dos canais termais de vários sensores, como por exemplo, o Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) instalado a bordo da série de satélites da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) aplicando-se os algoritmos *split-window* normalmente utilizados para o cálculo da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) em escala global (Oesch et al., 2005). Aqui, fala-se mais especificamente do *Multi-Channel Sea Surface Temperature* (MCSST) e do *Non-linear Sea Surface Temperature* (NLSST), algoritmos largamente usados e estudados por diversos pesquisadores desde sua criação há poucas décadas atrás. O AVHRR apresenta cinco canais espectrais, dos quais três abrangem a faixa do infravermelho termal (1,58-12,5 μ m).

A praticabilidade dos algoritmos TSM-AVHRR para determinação da temperatura superficial de corpos d'água continentais têm sido mostrada para os Grandes Lagos no norte dos Estados Unidos (Schwab et al., 1999; Li et al., 2001; Schwab et al., 1992) e lagos

canadenses (Bussi eres et al., 2001) na Am eric a do Norte, África (Wooster et al., 2001) e Europa Continental (Thiemann e Schiller, 2003). A aplicação desse método para detecção da temperatura superficial de grandes sistemas aquáticos não marítimos, como lagos e lagoas, leva a uma imprecisão inerente às condições físicas e morfológicas em que originalmente os coeficientes foram concebidos. Ou seja, os coeficientes usados nos algoritmos para detecção da temperatura da superfície do mar (TSM) são calibrados com dados de navios de oportunidade e b ias da *National Data Buoy Center* (NDBC) em condições marítimas, e não lacustres. Ao aplicar em lagos a mesma metodologia aplicada para oceanos, surge uma degradação na confiabilidade das temperaturas encontradas. Para os Grandes Lagos, por exemplo, muitos estudos para diferentes sensores a bordo de diferentes plataformas estimam um bias de 1,0 – 1,5K e um desvio padrão de 1,0K quando comparados com dados provenientes de b ias instaladas *in situ* (Oesch et al., 2005). Estes valores estão fora da região limite de aceitação requerida para fins científicos pela *National Polar-Orbiting Operational Environmental Satellite System* (NPOESS) (Walton et al., 1998a), mas podem servir para estudar a variabilidade espacial e temporal desses ambientes.

Em Zanotta et al. (2010), um estudo foi conduzido para verificar a distribuição espacial da temperatura da superfície da Lagoa dos Patos – RS a partir de m dias mensais em um ciclo anual (Agosto/2007 a Julho/2008). O estudo mostrou de maneira visual que existe uma forte correlação espacial entre a permanência de alguns padrões de temperatura e determinadas regiões onde a profundidade da lagoa é menor. Isto p de ser explicado pela circulação diferenciada da água dependendo da profundidade. Neste estudo, pretende-se verificar a existência e localização de padrões de variabilidade espacial e temporal dos campos de temperatura através de uma Análise de Componentes Principais (ACP), aplicada a mesma série anual de temperaturas. Após o processamento, foram plotados os mapas das Fun es Ortogonais Empíricas (EOFs) correspondentes a 1^a e 2^a principais componentes.

2. Metodologia de Trabalho

2.1  rea de Estudo

A Lagoa dos Patos (31 S, 51 O), situada na região sul do Rio Grande do Sul, apresenta-se como uma zona de convergência de águas provenientes de várias bacias hidrográficas. Abriga milhares de espécies aquáticas e é fundamental para o abastecimento de água para muitas localidades dispostas em suas margens. A lagoa possui atualmente um elevado trânsito de navios comerciais que trafegam por suas águas da capital do estado até a ligação com o oceano no canal de Rio Grande na região extremo sul do estado. A Figura 1 mostra a localização da Lagoa dos Patos no território nacional.



Figure 1. Localização da área de estudo.

2.2 Produção dos mapas de temperatura superficial

Dados AVHRR de alta resolução radiométrica são recebidos em *High Resolution Picture Transmission* (HRPT) na estação do CEPSTRM-UFRGS. As imagens contam com 5 bandas espectrais, sendo 2 no visível e 3 no infravermelho, as quais com resolução espacial de 1,1 km e radiométrica de 10 bits. Esses dados são o ponto de partida para obtenção da TSL. A partir do aplicativo HRPTtoL1B desenvolvido pelo pesquisador David J. Taylor (*Edinburgh*), os dados brutos são convertidos para Level-1B (L1B) em valores de radiância espectral. O formato L1B derivado é então corrigido radiometricamente e calibrado em unidades físicas para ser transformado em valores de temperatura de brilho nas bandas 4 (10,3-11,3 μ m) e 5 (11,5-12,5 μ m), usando-se a função de Planck para o corpo negro. Subsequentemente é realizada uma seleção por recorte da área estudada em coordenadas latitude-longitude no sistema WGS84. O tamanho do pixel em dimensões de latitude e longitude foi definido como sendo 0,01 grau.

Com a intenção de cobrir o ciclo anual, neste trabalho foram usados os dados do satélite NOAA-17 entre os meses de agosto/2007 e julho/2008 no período diurno e noturno, o que corresponde aproximadamente a 11:30h e 23:30h em hora local, respectivamente. O algoritmo usado para resolver os valores de temperatura de superfície foi essencialmente o NLSST de acordo com Walton (1988) e descrito em Oesch et al. (2003) (Equação 1):

$$\begin{aligned} NLSST &= a_1(c4) + a_2(c4 - c5)(MCSST) + a_3(c4 - c5)(q) - a_4 \\ MCSST &= b_1(c4) + b_2(c4 - c5) + b_3(c4 - c5)(q) - b_4 \end{aligned} \quad (1)$$

Onde: $NLSST, MCSST = non-linear e multichannel SST$
 $c4, c5 =$ canais 4 e 5 AVHRR em temperaturas de brilho [K]
 $a_1-a_4, b_1-b_4 =$ Coeficientes de acordo com *National Environment Satellite Data and Information Service - NOAA* (NESDIS-NOAA)
 $q = ((secante do \hat{a}ngulo zenital do sat\acute{e}lite) - 1)$

Explorando o fato de haver diferente absorção atmosférica por vapor d'água entre os diferentes canais AVHRR (Anding e Kauth (1970); Prabhakara et al. (1974)), o método utilizado para exclusão de pixels contaminados por nuvem foi obtido pela subtração da temperatura do canal 5 pelo canal 3, a diferença deve ser igual ou inferior a -0,6°C para o pixel ser considerado livre de contaminação por nebulosidade. Adicionalmente, pixels com valor de temperatura abaixo de 0°C também foram excluídos.

2.3 Análise EOF

Análises realizadas por Funções Ortogonais Empíricas (EOF's) tem sido bastante utilizadas em vários estudos relacionados com recursos naturais. Trata-se de um método estatístico utilizado para decompor informações multivariadas em combinações lineares não correlacionadas das variáveis originais. Usando este método, o volume da variância de um conjunto de dados pode ser descrito por alguns modos ortogonais, de maneira que algumas características do conjunto original dos dados possam ser mais facilmente compreendidas.

As primeiras componentes geradas nesta transformação geralmente representam a maior porção significativa da variação total da série, cujo padrão contém fenômenos com diferentes escalas espaciais e temporais (Lorenz, 1956; Emery e Thomson, 2001). Normalmente, a variância é explicada pelas primeiras funções ortogonais geradas, cujo padrão pode ser associado a algum mecanismo físico ou dinâmico. Mas a relação entre os resultados

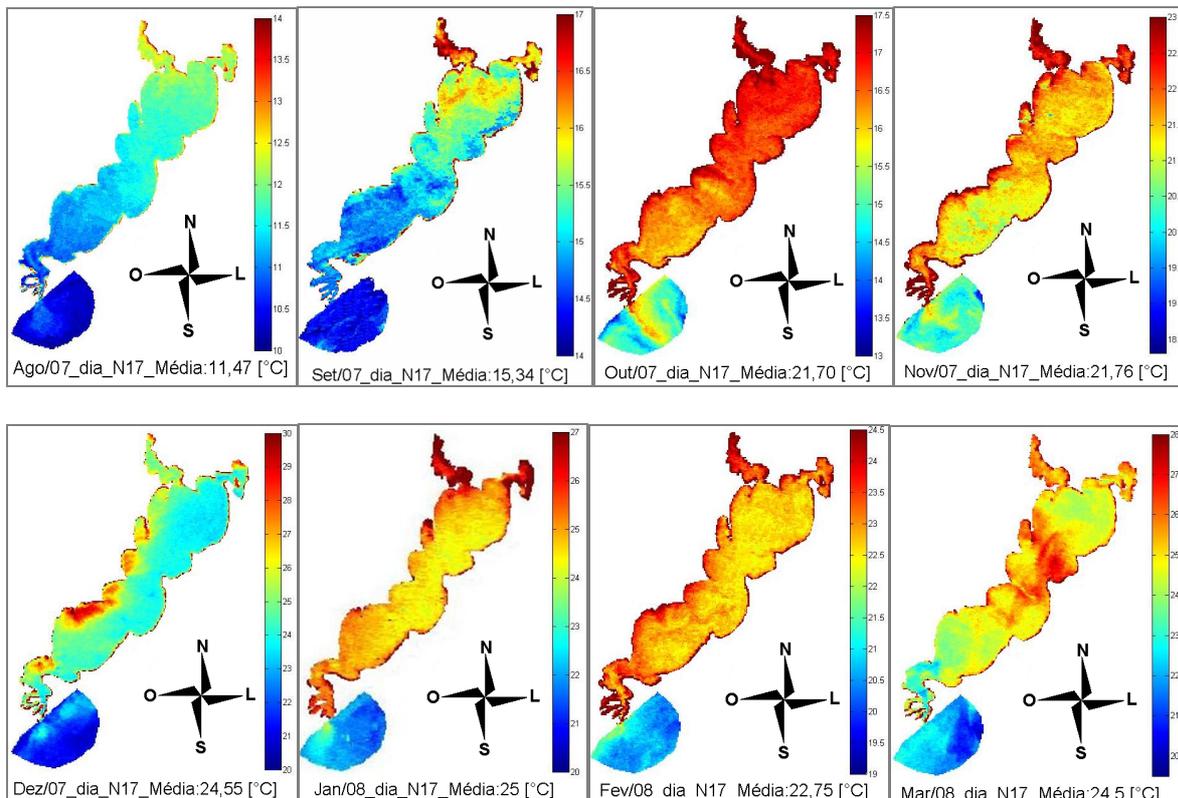
estatísticos da EOF e o processo físico observado não necessariamente se relacionam (Lorenz, 1956; Emery e Thomson, 2001). Na aplicação da técnica de EOF pode-se obter a variação de uma propriedade qualquer do ambiente no espaço e tempo, como a soma de um número de termos finito de EOFs em (x,y,z) , representando a variabilidade espacial, com amplitude $\Psi_m(t)$, representando a variabilidade temporal (Equação 2):

$$X(x, y, z, t) = \sum \Psi_m(t) \text{ em } (x, y, z) \quad (2)$$

A componente principal, $\Psi_m(t)$, informa como a amplitude de cada EOF varia com o tempo. A EOF contém a estrutura espacial dos fatores de variação com maior importância temporal na variação das propriedades da série temporal “X”, neste caso, uma série de dados de temperatura da lagoa dos Patos.

3. Resultados e Discussões

Foram gerados 12 mapas de temperatura superficial da Lagoa dos Patos e respectiva porção do oceano adjacente para permitir análise de interação na região estuariana. Os mapas (Figura 2) correspondem às médias mensais, sendo que o número de imagens utilizadas para cada mês varia de acordo com a disponibilidade das mesmas no período. Para melhor representação da variação da temperatura, cada mapa mensal possui sua própria paleta de referência, a qual varia de forma contínua do azul (frio) ao vermelho (quente) contabilizando os valores em graus celsius.



4. Conclusões

Utilizando dados NOAA/AVHRR, a variação sazonal da temperatura da superfície da água da Lagoa dos Patos foi investigada. Verifica-se que as águas na zona norte, mais rasas e abrigadas, mostram as variações sazonais da temperatura distintas. Pode concluir-se que a primeira EOF corresponde à uma variação de temperatura praticamente uniforme em toda a lagoa, enquanto que a segunda EOF reflete variações provavelmente relacionadas à batimetria da lagoa.

Esta técnica permitiu isolar as diferentes variabilidades encontradas nos dados de interesse, possibilitando uma melhor associação destas com os fenômenos físicos observados. 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.

Referências Bibliográficas

- Schwab, D. J.; Leshkevich, G. A.; Muhr, G. C. Automated mapping of surface water temperature in the great lakes. **Journal of Great Lakes Research**, 25(3): p. 468-481. 1999.
- Oesch, D. C.; Jaquet, M.; Hause, A.; Wunderle, S. Lake surface water temperature retrieval using advanced very high resolution radiometer and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data: Validation and feasibility study. **Journal of Geophysical Research**, vol. 110, C12014. 2005.
- Walton, C. C. Nonlinear Multi-channel Algorithms for Estimating Sea Surface Temperature with AVHRR Satellite Data, **Journal of Applied Meteorology**. vol. 27, Issue 2, p.115-124. 1988.
- Anding, D. & Kauth, R. Estimation of sea surface temperature from space. **Remote Sensing of Environment**. 1: p. 217-220. 1970.
- Prabhakara, C.; Dalu, G.; Kunde, V. G. Estimation of Sea Surface Temperature from Remote Sensing in the 11- to 13- μm Window Region. **Journal of Geophysical Research**. vol. 79, issue 33, p. 5039-5044. 1974.
- Martins, I. M. S.; Dias, J. M.; Fernandes, E. H. L.; Muelbert, J. H.. Numerical modelling of fish eggs dispersion at the Patos Lagoon estuary - **Brazil**. **Journal of Marine Systems**, v. 68, n.1, p. 537-555, 2007.
- Takuwa, M.; Tanaka, H.; Fujita, Y.; Yang, C. Remote Sensing and EOF Analysis of Surface Temperature Distribution in a Lake. Proceedings of the 10th Interational Symposium on Flow Visualization, 2002.
- Schwab, D. J.; Leshkevich, G. A.; and Muhr, G. C. Satellite measurements of surface water temperature in the great lakes: Great lakes coast watch, **Journal of Great Lakes Research**., 18 (2), p. 247–258. 1992.
- Zanotta, D. C.; Ducati, J. R.; Gonçalves, G. A.. 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. 2010.
- Li, X.; Pichel, W.; Clemente-Colon, P.; Krasnopolsky, V.; and Sapper J. Validation of coastal sea and lake surface temperature measurements derived from NOAA/AVHRR data, **International Journal of Remote Sensing**., 22 (7), p. 1285 – 1303. 2001.
- Oesch, D. C.; Hauser, A.; and Wunderle, S. Operational Mapping of Lake Surface Temperature in the Alps Using NOAA – AVHRR Data: Intercomparison of Different Lakes. **Eumesat**. 2003.
- Bussièrès, N.; Versegny, D.; and MacPherson, J. I. The evolution of AVHRR-derived water temperatures over boreal lakes, **Remote Sensing of Environment**. , 80 (3), p. 373–384. 2001.

Thiemann, S.; and Schiller, H. Determination of the bulk temperature from NOAA/AVHRR satellite data in a midlatitude lake, **International Journal Applied Earth Observation and Geoinformatics**, 4, p. 339–349. 2003.

Wooster, M.; Patterson, G.; Loftie, R.; and Sear, C. Derivation and validation of the seasonal thermal structure of Lake Malawi using multi-satellite AVHRR observations. **International Journal of Remote Sensing**, 22 (15), p. 2953–2972. 2001.