

INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE VENTO NO DESLOCAMENTO DE ÁGUAS FRIAS NA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA, UTILIZANDO DADOS AVHRR/NOAA

MARCELO PARISE¹
JOSÉ LUIZ STECH¹
JOÃO ANTONIO LORENZZETTI¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{parise, stech, loren}@tid.inpe.br

Abstract. An important oceanographic phenomenon observed in the SE/S Brazilian and Uruguayan coasts is the northward intrusion of a surface cold water tongue during the autumn and winter seasons. Past studies indicate that these intrusions have their origin as a combination of La Plata river outflow and the inshore and northward penetration of Malvinas water over the outer shelf of La Plata estuary. During the austral winter it reaches the lowest latitudes, being found in extreme cases, in the southern coast of Rio de Janeiro. With the intention of verifying possible correlations between the wind fields with the dynamics of these cold-water intrusions, we analyze in this work an AVHRR-NOAA SST data set together with NCEP winds. SST and wind time series were used for the months of May, June, July and August of the years of 1993 and 1995.

Keywords: AVHRR/NOAA, Temperatura da Superfície do Mar, Ventos

1. Introdução

Um dos principais processos oceanográficos observados durante o período de outono e inverno, na plataforma continental da costa sul-sudeste do Brasil, é a penetração de águas frias e de baixa salinidade. Estas águas originadas nas latitudes mais altas, incluindo o estuário do Rio da Prata, a Plataforma Continental Argentina e a região oeste da Zona de confluência das Correntes do Brasil (CB) e Malvinas, são transportadas para o norte sobre a Plataforma Continental Brasileira.

Diversos mecanismos são propostos como forçantes destas águas frias sobre a plataforma S/SE brasileira. Stevenson *et al.*, (1998), através da observação de grupos taxonômicos característicos de águas oceânicas mais frias sugere uma possível origem destas águas em altas latitudes. Piola e Rivas (1999), sugerem que as águas desta região possuem grande influência tanto do aporte continental como também de águas de origem sub-antártica.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência dos padrões de vento em escala sinótica, associados à passagem de frentes frias pelas costas da Argentina, Uruguai e S/SE do Brasil no deslocamento de águas frias provenientes das altas latitudes sobre a Plataforma Continental Brasileira.

2. Materiais e métodos

A área de estudo abrange a plataforma continental sul-americana leste, desde a região costeira até a isóbata de 200m. Encontra-se delimitada entre os paralelos 25°S e 40°S e entre os meridianos 40°W e 60°W (**Figura 1**). Localizada entre a Zona de Convergência do Atlântico Sul, entre 32°S - 48°S, e a Corrente Sul Equatorial, é uma região fortemente

influenciada pelo aporte de águas continentais, drenagem do Rio da Prata e Lagoa dos Patos, além de correntes oceânicas de contorno oeste, Correntes do Brasil e das Malvinas.

Para a execução deste trabalho, foram utilizados dados de TSM (AVHRR-NOAA), dados de vento provenientes de modelos globais de reanálise (NCEP). Escolheram-se os meses de maio, junho, julho e agosto dos anos de 1993 e 1995 devido ao grande contraste na intrusão de águas frias. O período de maio a agosto foi escolhida por ser aquele onde normalmente se observam intrusões de águas frias ao longo da plataforma S-SE Brasileira.

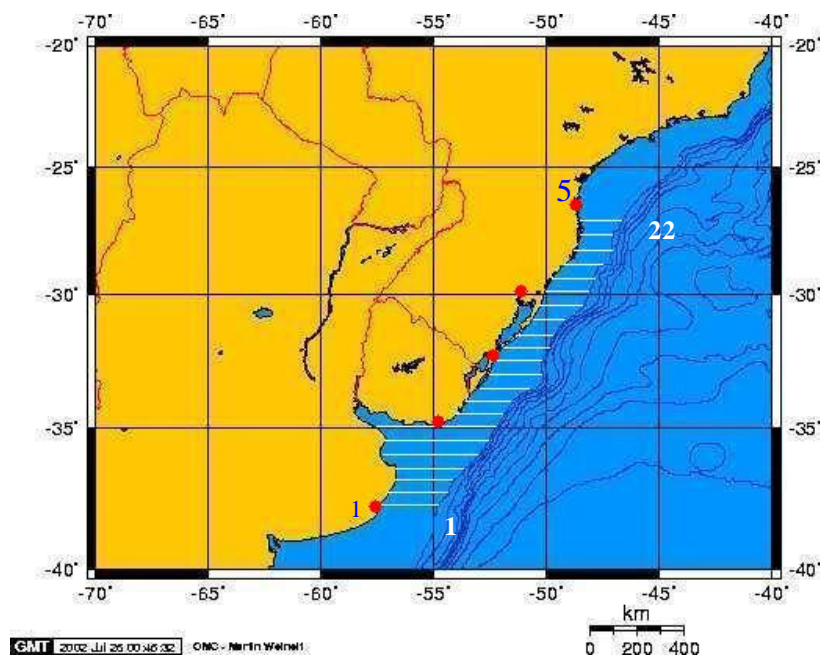


Figura 1. Área de estudo com a localização dos perfis onde o valor de TSM foi extraído (em branco). As linhas paralelas sobre a plataforma indicam os respectivos perfis. Os pontos em vermelho representam a localização dos pontos de vento.

2.1 Dados AVHRR-NOAA (TSM)

Os dados utilizados neste trabalho foram disponibilizados pela Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science (RSMAS) da Universidade de Miami e foram previamente processados, com resolução temporal de 2 dias e resolução espacial de $0,2^\circ$ (aproximadamente 20 km), totalizando 246 “mapas” (123 para cada ano).

2.3 Obtenção dos Perfis de TSM

Dentro da área de estudo, foram selecionados 22 perfis zonais, igualmente espaçados entre si de $0,5^\circ$ de latitude (Figura 1). Através de rotinas em MATLAB, foi extraído o píxel de menor temperatura para cada perfil em todos os composites tendo como intervalo de longitude, de um lado a linha de costa e do outro, a isóbata de 200m. Diferentemente da metodologia utilizada por Folkard *et al.*, (1997), onde o pixel utilizado corresponde à média de todos os pixels extraídos de cada perfil, optou-se neste trabalho pela escolha do píxel com o valor mínimo de temperatura em cada perfil. Isto foi feito para minimizar o efeito da

contaminação dos dados pelo avanço da Corrente do Brasil sobre a plataforma continental, e para gerar uma série temporal de valores mínimos de TSM para cada perfil.

Uma interpolação dos dados de TSM originais foi realizada para torná-los compatíveis com a resolução diária dos dados de vento. Assim, uma foi calculada uma média entre dois dias.

2.3 Obtenção dos grids para a análise de isotermas

Além do método do “píxel mais frio” de cada perfil, também foi utilizada para a análise dos dados, a variação espaço-temporal da isoterma de 17°. A escolha desta temperatura foi baseada em Garfield, (1990) e Zivialov *et al.*, (1999) que utilizaram as isotermas entre 17 e 18°C como indicadores do limite térmico entre as águas frias que se deslocam sobre a plataforma continental brasileira no inverno e as águas quentes da corrente do Brasil que fluem em sentido contrário. A partir dos composites, foram geradas grades com resolução de 0,05° x 0,05° por médias espaciais ponderadas pelo método de interpolação. Em seguida foi feita uma máscara do continente para facilitar a localização do ponto exato onde a isoterma de 17°C intercepta a linha de costa.

2.4 Dados de vento (NCEP/NCAR)

Em função da não disponibilidade de dados de vento *in situ*, optou-se então, pelos dados da base do National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR).

As componentes zonal e meridional do vento foram obtidas via internet (<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.reanalysis>) do Climate Diagnostics Centre (CDC). Originalmente, encontram-se dispostos em pontos de grade com resolução de 2,5° em latitude e 2,5° em longitude e resolução temporal de 6 horas. Para este trabalho, foram selecionados 5 pontos de amostragem. Foram utilizadas médias diárias das componentes nos meses de maio, junho, julho e agosto dos anos de 1993 e 1995 para 1000 hPa de pressão atmosférica.

2.5 Análise Estatística dos Dados

Com o objetivo de determinar a correlação entre os ventos paralelos à costa e a variabilidade nos campos de TSM ao longo da plataforma, foi feita a análise de correlação cruzada das séries temporais com “lag”. Tal análise, além de determinar o grau de correlação entre os dados, permite a identificação da defasagem de tempo (lag) onde se observa a máxima correlação entre os mesmos. Ou seja, a partir da intensidade do vento em um determinado ponto, estima-se a defasagem temporal onde a variação da TSM possui maior correlação. A seguir é apresentado o processo de correlação cruzada utilizado.

$$c_{xy}(m) = \frac{1}{N-|m|} \sum_{n=0}^{|m|-1} x_n y_{n+m} \quad m \geq 0$$

$$c_{xy}(m) = c_{xy}(-m) \quad m < 0$$

onde,

$c_{xy}(m)$ = correlação entre as duas variáveis;

N = tamanho da matriz;
 m= lag (defasagem de tempo);
 x e y= matrizes de dados (TSM e Vento).

Para esta análise, inicialmente foi eliminada variabilidade dos dados correspondente ao ciclo sazonal senoidal através de rotinas construídas em MATLAB™ obtendo assim, um resíduo em relação ao ciclo sazonal.

Por fim, a significância das análises de correlação foi testada utilizando-se o teste de Monte Carlo (Preisendorfer, 1988) por meio de mil repetições dos cálculos acima através de dados randômicos para simular os dados de vento e TSM. Para a estimativa do número efetivo de graus de liberdade. As correlações simuladas foram estimadas através de séries randômicas (ruído branco) com amostras, onde o *ng* é o número efetivo de graus de liberdade.

Isto foi feito através da fórmula:

$$ng = p * \left(\frac{1-r^2}{1+r^2} \right)$$

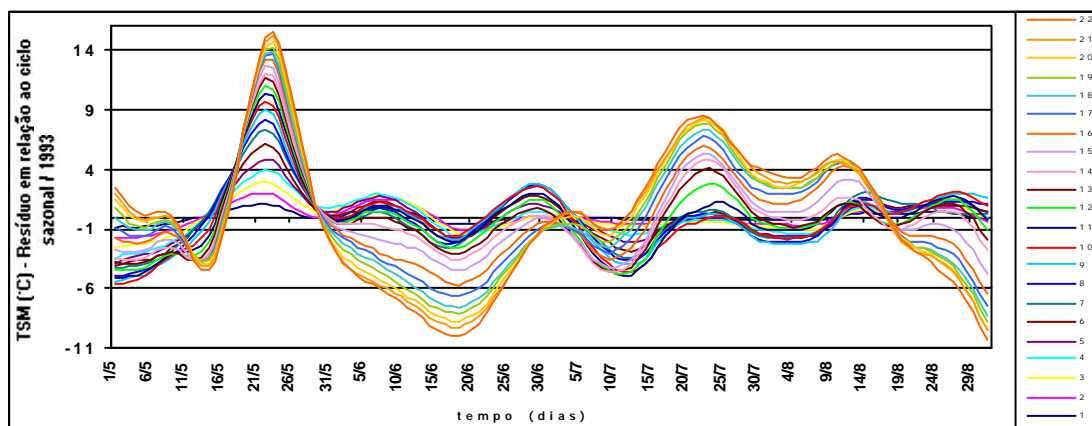
onde,

p = número de pontos;
ng = número de graus de liberdade.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} [(x_i - \bar{x}_i)(x_{i+1} - \bar{x}_{i+1})]}{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}_i)^2]}$$

3. Resultados e Discussões

Na **Figura 2** estão representadas as séries temporais para os 22 perfis de TSM (píxel mais frio), a partir da remoção do sinal sazonal. A partir da análise qualitativa em conjunto com os dados de vento (**Figura 3**), observa-se apenas uma tendência somente em algumas situações isoladas (queda na temperatura associada a ventos de sul), o que sugere uma possível correlação entre os dados. A partir da análise quantitativa, os resultados não mostraram uma boa correlação.



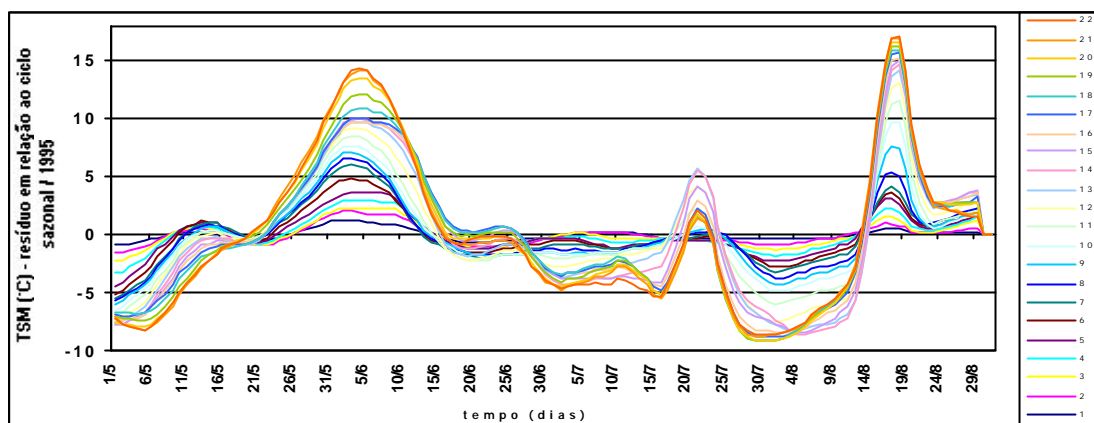


Figura 2: Séries temporais dos perfis de TSM (píxel mais frio) para os anos de 1993 (acima) e 1995 (abaixo).

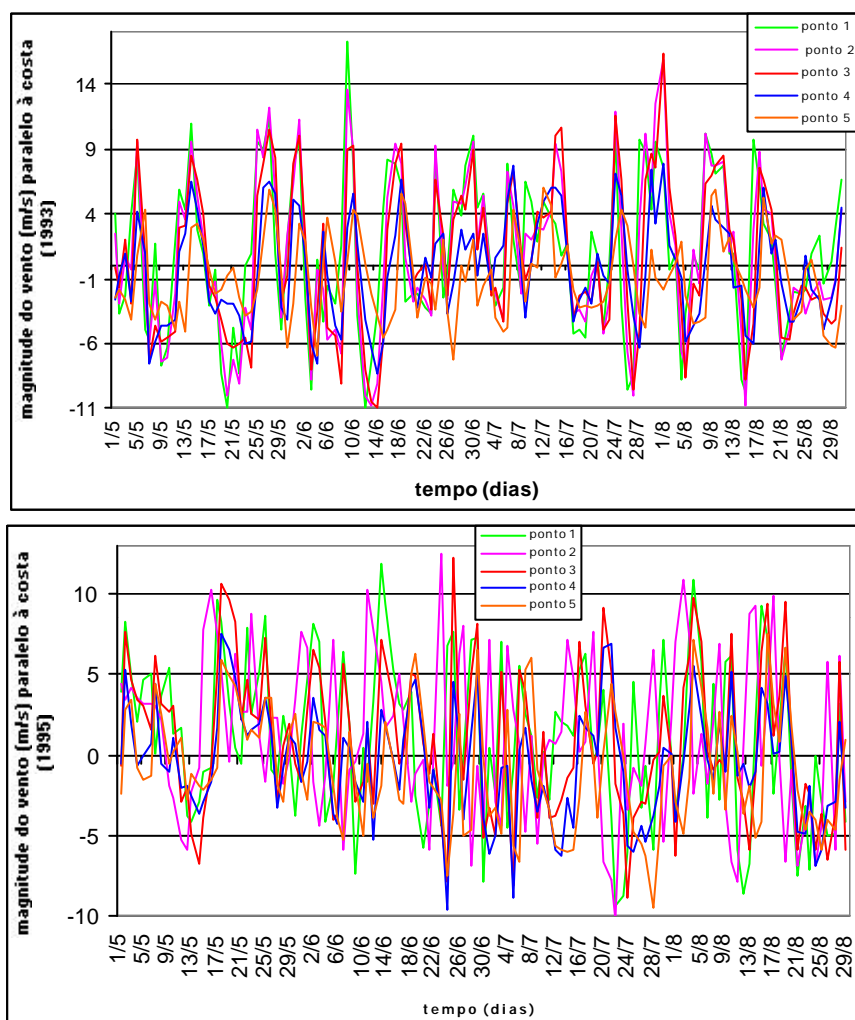


Figura 3: Magnitude da componente “v” do vento paralelo à costa para os anos de 1993 e 1995. Os valores positivos representam ventos do quadrante sul e os negativos, ventos do quadrante norte.

A partir da análise da variação espacial da isoterma de 17°C (derivada em função do tempo) (**Figura 4**) em conjunto com os dados de vento, em termos qualitativos pode-se observar uma melhor correlação entre os dados.

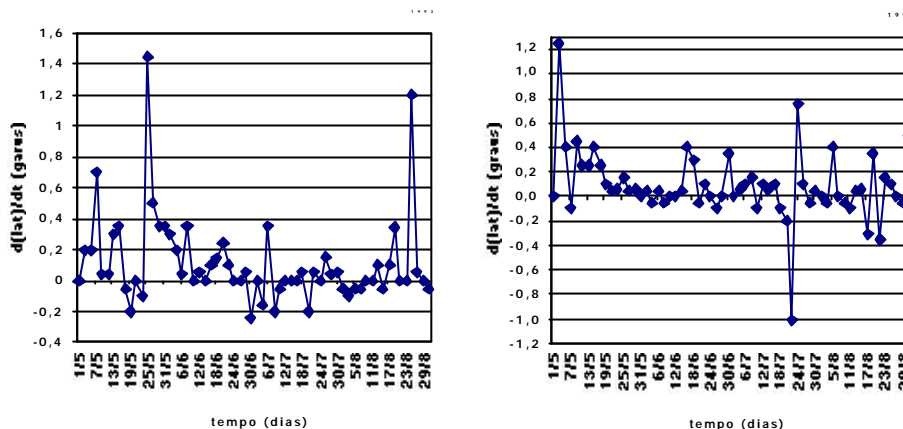


Figura 4. Derivada da posição da isoterma de 17°C em relação ao tempo para os anos de 1993 (esquerda) e 1995 (direita). Os valores positivos indicam um deslocamento em direção ao equador. Os valores negativos em direção oposta. Nota-se, além disso, um avanço muito mais rápido na situação de 1995 (início do período) quando comparado com 1993.

Em termos quantitativos, os resultados obtidos através da análise de correlação cruzada (**Tabelas 1 a 3**), não indicaram correlações significativas entre os dados. Trabalhos anteriores como os de Assireu,(1999); Lima *et al.*, (1996); e Castro Filho,(1985), denotam esta relação como sendo uma relação indireta entre o cisalhamento do vento e a variabilidade da TSM. Além disso, o aporte continental de águas frias provenientes dos estuários do Rio da Prata e Lagoa dos Patos, pode ser determinante no estabelecimento de plumas de água fria que se deslocam periodicamente sobre a plataforma continental brasileira.

Tabela 1: Resultados das análises de correlação cruzada e a defasagem de tempo com maior correlação para o ano de 1993 (esquerda) e 1995 (direita), utilizando-se o deslocamento da isoterma de 17°C conjunto com os pontos de vento (v1-5).

| | r^2 | Defasagem (dias) | | r^2 | Defasagem (dias) |
|----|-------|------------------|----|-------|------------------|
| v1 | -0,12 | 2 | v1 | -0,12 | 1 |
| v2 | -0,16 | 2 | v2 | -0,17 | 1 |
| v3 | -0,18 | 2 | v3 | -0,14 | 0 |
| v4 | -0,21 | 2 | v4 | -0,2 | 2 |
| v5 | -0,22 | 1 | v5 | -0,02 | 2 |

Tabela 2: Resultados das análises de correlação cruzada e a defasagem de tempo com maior correlação para o ano de 1993, utilizando-se o pixel mais frio dos perfis em conjunto com os pontos de vento (v1-5). (novamente a legenda tem que ser colocada em cima)

| perfis | v1 | defasagem | v2 | defasagem | v3 | defasagem | v4 | defasagem | v5 | defasagem |
|--------|-------|-----------|-------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|-------|-----------|
| 1 | -0,12 | 1 | -0,17 | 0 | -0,17 | 0 | -0,14 | 0 | 0,07 | 0 |
| 2 | -0,13 | 1 | -0,21 | 0 | -0,22 | 0 | -0,18 | 0 | 0,04 | 0 |
| 3 | | | -0,10 | 5 | -0,09 | 1 | -0,09 | 4 | 0,04 | 0 |
| 4 | | | -0,12 | 2 | -0,11 | 1 | -0,12 | 1 | 0,02 | 0 |
| 5 | | | -0,12 | 1 | -0,11 | 0 | -0,13 | 1 | -0,03 | 1 |
| 6 | | | -0,06 | 1 | -0,04 | 0 | 0,07 | 1 | -0,09 | 1 |
| 7 | | | | | 0,07 | 0 | -0,025 | 6 | -0,03 | 1 |
| 8 | | | | | -0,25 | 1 | -0,22 | 1 | -0,03 | 1 |
| 9 | | | | | -0,31 | 1 | -0,29 | 1 | -0,07 | 6 |
| 10 | | | | | -0,11 | 2 | -0,21 | 1 | -0,16 | 0 |
| 11 | | | | | -0,001 | 0 | -0,047 | 1 | -0,18 | 0 |
| 12 | | | | | -0,003 | 0 | -0,014 | 1 | 0,15 | 0 |
| 13 | | | | | | | 0,02 | 0 | 0,08 | 4 |
| 14 | | | | | | | 0,02 | 0 | 0,024 | 0 |
| 15 | | | | | | | 0,07 | 0 | 0,065 | 0 |
| 16 | | | | | | | 0,12 | 0 | 0,07 | 0 |
| 17 | | | | | | | | | 0,07 | 1 |
| 18 | | | | | | | | | 0,07 | 1 |
| 19 | | | | | | | | | 0,07 | 1 |
| 20 | | | | | | | | | 0,07 | 0 |
| 21 | | | | | | | | | 0,07 | 0 |
| 22 | | | | | | | | | 0,07 | 0 |

Tabela 3: Resultados das análises de correlação cruzada e a defasagem de tempo com maior correlação para o ano de 1995, utilizando-se o pixel mais frio dos perfis em conjunto com os pontos de vento (v1-5). (novamente legenda)

| 95 | v1 | defasagem | v2 | defasagem | v3 | Defasagem | v4 | defasagem | v5 | defasagem |
|----|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
| 1 | -0,06 | 3 | -0,07 | 4 | -0,12 | 0 | -0,13 | 0 | -0,08 | 0 |
| 2 | -0,03 | 3 | -0,05 | 5 | -0,09 | 3 | -0,09 | 3 | -0,06 | 3 |
| 3 | | | -0,03 | 5 | -0,05 | 3 | -0,02 | 3 | 0,01 | 0 |
| 4 | | | -0,04 | 0 | -0,06 | 0 | -0,02 | 0 | 0,02 | 0 |
| 5 | | | -0,06 | 0 | -0,07 | 0 | -0,03 | 0 | 0,02 | 0 |
| 6 | | | -0,08 | 0 | -0,08 | 0 | -0,04 | 0 | 0,01 | 0 |
| 7 | | | | | 0,01 | 3 | 0,03 | 5 | 0,01 | 0 |
| 8 | | | | | -0,01 | 6 | 0,1 | 5 | -0,01 | 5 |
| 9 | | | | | 0,15 | 0 | 0,1 | 6 | 0,02 | 0 |
| 10 | | | | | -0,01 | 7 | 0,05 | 6 | 0,01 | 0 |
| 11 | | | | | -0,01 | 9 | 0,05 | 6 | 0,1 | 0 |
| 12 | | | | | -0,05 | 0 | 0,01 | 7 | 0,1 | 0 |
| 13 | | | | | | | 0,02 | 0 | -0,05 | 4 |
| 14 | | | | | | | 0,03 | 0 | -0,01 | 3 |
| 15 | | | | | | | 0,03 | 0 | 0,1 | 0 |
| 16 | | | | | | | 0,03 | 0 | 0,12 | 0 |
| 17 | | | | | | | | | 0,05 | 0 |
| 18 | | | | | | | | | 0,03 | 0 |
| 19 | | | | | | | | | 0,03 | 0 |
| 20 | | | | | | | | | 0,02 | 0 |
| 21 | | | | | | | | | 0,03 | 4 |
| 22 | | | | | | | | | 0,03 | 4 |

4. Conclusões

Observou-se em termos qualitativos, alguns sinais de forma isolada (períodos curtos) onde o vento parece estar relacionado com as mudanças nos padrões da TSM. Também foram observadas situações onde o vento não parece estar relacionado à mudanças nos padrões de TSM. Em termos quantitativos, os resultados indicaram baixas correlações e não significativas para todos os acasos analisados.

Através dos dados analisados (vento e TSM) pode-se sugerir que, para as situações analisadas em 1993 e 1995, o estabelecimento da pluma de água fria sobre a plataforma parece estar sendo influenciado por outros processos não abordados neste trabalho, como por exemplo, a descarga continental e a contribuição de águas subantárticas. Assim, os resultados obtidos sugerem que uma mistura de águas continentais com águas subantárticas ocorre sobre a plataforma externa do estuário do Prata, sendo então, deslocadas para norte por efeito de ventos do quadrante sul. Portanto, além da descarga continental, processos dinâmicos tais como: transporte de Ekman e Geostrofia que atuam de forma indireta, devem ser incorporados em uma modelagem mais detalhada, possibilitando a obtenção de resultados mais significativos.

5. Referências

- Assireu, A. T. Intrusão de águas de baixa temperatura e salinidade ao longo da costa Brasileira: Uma manifestação clara da importância da circulação gerada pelo vento. (Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999). Comunicação Pessoal.
- Lima, D. A.; Garcia, C. A .E. and Möller, O. O. Ocean surface processes on the southern Brazilian shelf: characterization and seasonal variability. *Continental Shelf Research*, v.16,n.10, p.1307-1317. 1996.
- Castro Filho, B. Subtidal response to wind forcing in the south Brazil bight during winter. Coral Gables, Flórida. 211p. Tese de Doutorado em Oceanografia Física - University of Miami, 1985.
- Piola, A. R. e Rivas, A. L. Corrientes en la plataforma continental. *El Mar Argentino y sus recursos pesqueros*. v.1, p.119-132.1997.
- Stevenson, M. A.; Dias-Brito, D.; Stech, J. L; Kampel, M. How do cold water biota arrive in a tropical bay near Rio de Janeiro, Brazil? *Continental Shelf Research*, v.18, p. 1595-1612, 1998.
- Preisendorfer, R. W. *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography*. New York: Elsevier Pub. Co., 1988. 425 pp.
- Zavialov, P. O; Wainer, I. and Absy, J. M. Sea surface temperature variability of southern Brazil and Uruguay as revealed from historical data since 1854. *Journal of Geophysical Research*, v.104, n.C9, p.21.021-21.032, 1999.
- Folkard, A.. M.; Davies, P. A. Fiúza, A.. F.G. and Ambar I. Remotely sensed sea surface thermal patterns in the Gulf of Cadiz and the Strait of Gibraltar: variability, correlations, and relationships with the surface wind field. *Journal of Geophysical Research*, v.102, n. C3, p. 5669-5683, 1997.