

Derivadores Rastreados por Satélite: uma eficiente ferramenta aplicada à Oceanografia.

ARCILAN TREVENZOLI ASSIREU¹
MERRITT RAYMOND STEVENSON¹
JOSÉ LUIZ STECH¹

¹INPE--Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12201- 097 São José dos Campos, SP, Brasil
{arcilan,stech}@itid.inpe.br
merrittstev@worldnt.att.net

Abstract. The applicability of Satellite tracked ocean drifters in oceanography studies is here presented. The drifters used in the study contain a Sea Surface Temperature (SST) sensor and UHF radio, that transmits the SST and ancillary engineering data through a satellite link. Positions of the drifters are determined by the Doppler frequency shift of the transmitted signal due to the relative movement of the buoy in relation to the satellite. In this work, it is presented a discussion about these drifters, the methodology utilized in the treatment of the data and some results obtained from drifters launched in the Brazilian Southeast Continental Shelf.

Keywords: Drifter tracked by satellite; Oceanography.

1 Introdução

O estudo do padrão da circulação oceânica, bem como de parâmetros físicos tais como a Temperatura da Superfície do Mar (TSM), é de interesse da comunidade oceanográfica. Estes estudos fornecem subsídios importantes para várias áreas que vão desde a climatologia até a indústria pesqueira. Porém, dada a dimensão dos oceanos e as escalas espaciais e temporais normalmente associadas aos fenômenos oceanográficos, o estudo puramente “*in situ*” é não somente inviável, como também insuficiente para fornecer condições de compreensão de fenômenos de meso e grande escala. Com o desenvolvimento dos sistemas orbitais de coleta de dados, um novo ramo do Sensoriamento Remoto vem sendo amplamente utilizado pela oceanografia. Através de telemetria por satélite, plataformas automáticas têm sido empregadas com a finalidade de medir e transmitir dados ambientais de diversas naturezas. Neste sentido, os derivadores rastreados por satélite são instrumentos que vêm sendo utilizados para o monitoramento das correntes de superfície nos oceanos abertos, plataformas continentais e mares adjacentes. Estes derivadores podem ser equipados também com sensores de pressão, oxigênio dissolvido, clorofila e salinidade, o que aumenta o alcance de suas aplicações.

Com o objetivo de estudar a coerência entre as velocidades das correntes superficiais e o regime dos ventos locais, Niiler e Paduan (1995) analisaram dados de 47 derivadores com elemento de arrasto a 15m, para períodos entre 5 e 20 dias, no Pacífico nordeste. Os autores verificaram alta coerência entre as correntes e os ventos locais, com um deslocamento médio de 70 graus à direita da direção do vento. Eles constataram também que as velocidades das correntes eram em torno de 0,5% da velocidade do vento.

Schmid *et al.* (1995) utilizaram dados de derivadores com elementos de arrasto a 100 m, para estudar um vórtice ciclônico detectado em 1991 no Atlântico sudoeste, mais precisamente no paralelo correspondente a cidade de Vitória - E.S. Os autores cruzaram dados dos derivadores com informações combinadas de CTD/XBT e imagens termais, e indicaram haver alta complexidade naquela região.

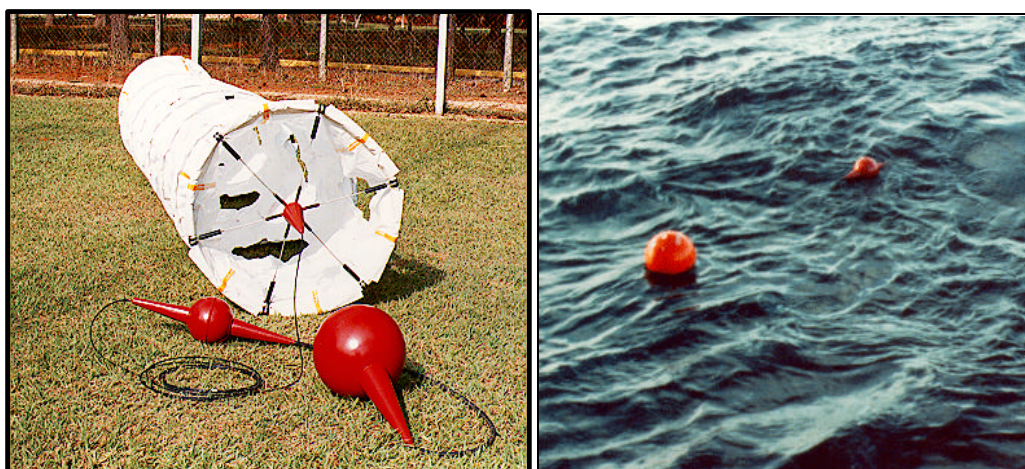
No intuito de estudar a recirculação da corrente do Brasil ao sul de 23°S, Stevenson (1996), utilizou dados de cinco *Low Cost Drifter* (LCDs) lançados a oeste desta corrente. Os resultados preliminares indicaram a presença de vórtices movendo-se em direção sul na fronteira oeste da Corrente do Brasil. O autor concluiu ainda que a recirculação para esta parte da Corrente do Brasil varia entre 115 e 161 dias. O autor apresentou também, estimativas para a energia cinética média e residual para a área em questão.

Este trabalho tem por objetivo descrever algumas aplicações e importância dos derivadores rastreados por satélite para os estudos oceanográficos.

2 Materiais e Métodos

Os dados que serão analisados neste trabalho são provenientes de 15 derivadores lançados entre 1993 e 1994, como parte de um experimento do projeto Circulação Oceânica da Região Oeste do Atlântico Sul (COROAS) no limite oeste da corrente do Brasil. Estes dados, que constituem-se em séries temporais de posição e TSM cobrem grande parte da costa sudeste e sul do Brasil e foram obtidos a partir dos derivadores. Tais derivadores são rastreados por satélites e transmitem, através destes, dados coletados *in situ* durante um longo período de tempo. A **figura**

1a mostra a bóia de deriva juntamente com a vela de arrasto. A **Figura 1b** mostra o derivador quando lançado ao mar.



(A)

(B)

Figura 1 – Ilustração do Derivador

Em média, 50% dos derivadores perdem sua capacidade de comunicação com o satélite 440 dias após terem sido lançados. Entretanto, alguns derivadores excedem em muito este valor, como é o caso do LCD-3194 que foi lançado pelo projeto MEDICA em novembro de 1993 e que enviou sinais por mais de 1200 dias (Stevenson e Assireu, 1997).

A parte do derivador que fica à tona (flutuador), consiste de uma esfera de aproximadamente 35 cm de diâmetro, feita em fibra de vidro e contém em seu interior a plataforma de transmissão, baterias (fonte de alimentação), e uma antena, através da qual os dados são transmitidos para o satélite. Um outro componente bastante importante é a vela submersa, do tipo meia-furada, a qual possui 7 m de comprimento e se mantém a aproximadamente 15 m de profundidade (**Figura 2**).

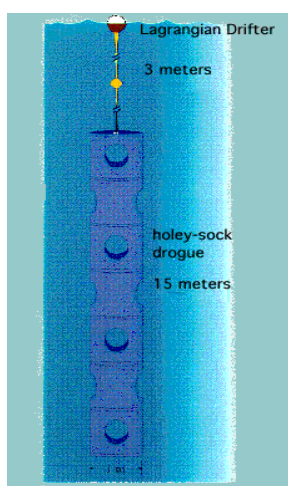


Figura 2 – Esquema do Derivador quando à deriva.

FONTE: Global Drifter Center at NOAA/AOML.

Há vários fatores que atuam como agentes no deslocamento do derivador. Uma vez que os derivadores são utilizados com a finalidade de estudar movimentos de determinadas massas de água, é importante, a fim de que seja garantida acurácia no processo, que a trajetória destes derivadores seja função apenas do deslocamento destas massas de água. Desta forma, é importante minimizar efeitos indesejáveis que contribuem para o deslocamento do derivador, como: o deslocamento vertical da vela na coluna de água, força de arrasto do vento sobre o flutuador e ondas superficiais. Em busca da minimização destas contribuições indesejáveis, Niiler *et al.*(1987), recomendam alguns procedimentos a serem adotados quando da fabricação do derivador: simetria tridimensional tanto para a vela quanto para o flutuador, mínima tensão sobre o cabo que suporta a vela, e uma relação de área vela-flutuador na ordem de 40:1 ou mais. A componente responsável pelo direcionamento do derivador segundo as correntes é a vela submersa.

A vela submersa tem a função de manter o derivador acoplado à corrente e minimizar o efeito do vento e outros fatores sobre a trajetória da bóia. Do tipo meia-furada, esta vela oferece a vantagem, devido a sua estrutura de construção, de atenuar os efeitos de turbulência sobre o deslocamento do derivador. A relação entre a área da vela e a área do flutuador dos derivadores utilizados neste trabalho fica em torno de 40:1, o que se aproxima muito das condições ideais. Maiores informações sobre os derivadores podem ser obtidos no Lagrangian Drifter Construction Manual (Sybrandy e Niiler, 1991). Outros componentes importantes são a plataforma de transmissão, que é a responsável pelo envio por telemetria dos dados coletados *in situ* pelos sensores que integram estes derivadores: termistor (medida da TSM), sensor de submersão que acusa quando a bóia está totalmente submersa, (**Figura 3**).

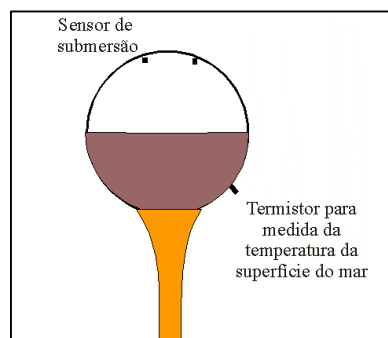


Figura 3 – Estrutura externa do flutuador e seus sensores.

As posições dos derivadores são obtidas a partir do cálculo do desvio Doppler sobre as frequências transmitidas. O sistema de Localização e Coleta de Dados (SLCD) Argos assume uma precisão nominal na localização de 300 m. Em Assireu (1998) é apresentada uma discussão detalhada sobre o efeito desta e outras incertezas nas estimativas das velocidades. Segundo este autor, as incertezas médias nas velocidades calculadas a partir dos derivadores é de $1,7 \text{ cms}^{-1}$.

As sucessivas posições dos derivadores quando plotadas, dão informação sobre as trajetórias dos derivadores e conseqüentemente as correntes em questão. Isto permite uma avaliação da circulação em termos das tendências de direção das correntes. Os valores quantificados do padrão médio da circulação, ou seja, os valores de velocidades médias das correntes, assim como

das direções destas são calculados a partir da aplicação do método estatístico da regressão linear sobre as componentes zonal e meridional das séries de tempo de posição dos derivadores. O tempo (t) é considerado a variável independente, e as componentes zonal (X) e meridional (Y) da posição são tomadas como sendo as variáveis dependentes. Desta forma:

$$Y = \alpha_1 \bullet t + b_1 \tag{2.1}$$

$$X = \alpha_2 \bullet t + b_2$$

onde:

b_1, b_2 = coeficiente linear da reta de regressão.

α_1, α_2 = coeficiente de inclinação da reta de regressão.

O coeficiente de inclinação (α) da reta de regressão representa o intervalo de distância pelo tempo, o que equivale a deslocamento por tempo, que fisicamente é a velocidade média. Assim tem-se:

$$v = \alpha_1 = dy/dt \tag{2.2}$$

$$u = \alpha_2 = dx/dt$$

onde v e u são as componentes meridional e zonal respectivamente, da velocidade média de corrente.

Assim, a velocidade resultante é dada por:

$$V = (v^2 + u^2)^{1/2} \tag{2.3}$$

Finalmente, os valores foram convertidos de graus geográficos por dia juliano para centímetros por segundo.

A direção da corrente média (θ), dada em graus trigonométricos, foi obtida por:

$$\theta = \text{arc tang} (v/u) \tag{2.4}$$

3 Resultados e discussões

Através dos dados obtidos pelos derivadores do projeto COROAS serão apresentados agora, alguns resultados que exemplificam a aplicabilidade dos derivadores em estudos oceânicos.

A **Figura 4** mostra um vórtice em translação, que foi detectado em 1993 e corresponde a região relativa ao paralelo de Florianópolis. O mesmo apresentou raio médio de 60 km, o tempo para fechar o loop (período) foi em torno de 10 dias e a TSM média foi de 26,0 °C. Em média o centro destes vórtices variou entre 27°S,46,5°W e 27,8°S,46,8°W. Grande parte dos derivadores que passaram por esta região entre março e setembro de 1993 foram capturados por estas feições oceanográficas, o que parece ser um indicativo de que esta região é favorável à formação de vórtices semi-permanentes. Estas informações dificilmente poderiam ser obtidas por técnicas convencionais da oceanografia, pois os vórtices apresentam escalas que somente podem ser avaliadas através de visões sinópticas sobre estas feições. Por se tratarem de feições oceanográficas importantes sob vários aspectos, as análises das mesmas a partir dos derivadores se despontam como uma forma promissora de estudo dos mecanismos relacionados a estes vórtices.

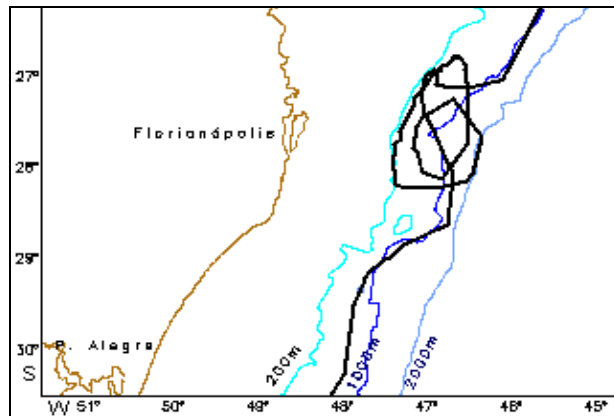


Figura 4 – Vórtice semi-permanente.

São apresentadas, a seguir, as trajetórias para sul dos derivadores lançados no primeiro semestre de 1993 e as trajetórias após estes derivadores terem sido capturados pelo ramo costeiro da Corrente das Malvinas. A **Figura 5** apresenta as trajetórias para sul de três derivadores. Observa-se que as trajetórias foram aproximadamente paralelas à costa e sobre as isóbatas de 200 m, 1000 m e 2000 m.

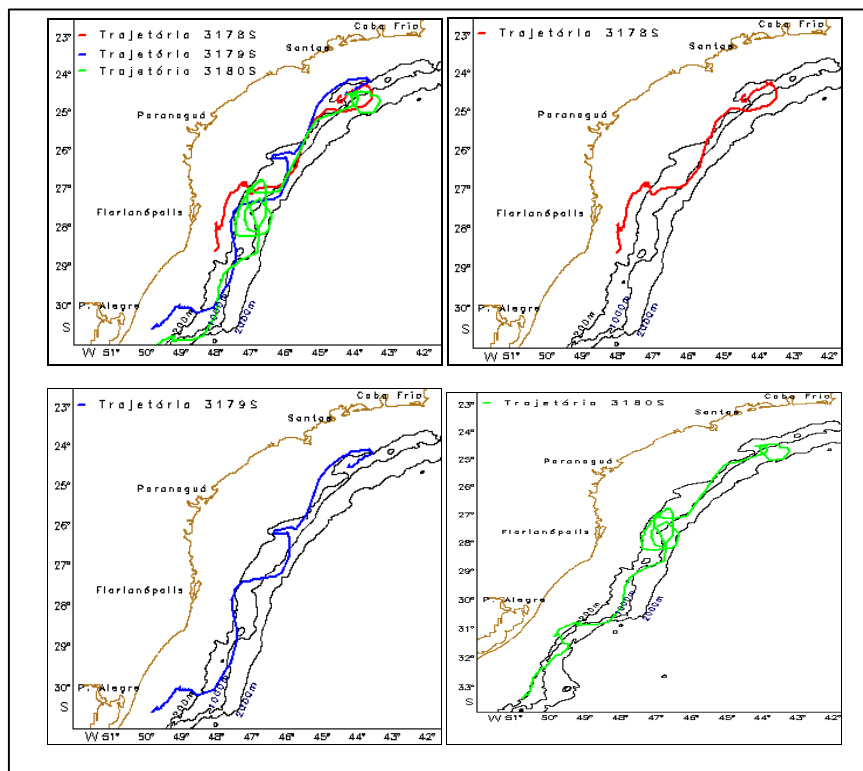


Figura 5 – Trajetória para sul dos derivadores.

Na **Tabela 1** são indicados os valores de intensidade e direção média das correntes e TSM média obtidas a partir da análise dos dados dos derivadores.

Tabela 1 – Valores associados às trajetórias dos derivadores para sul.

| Derivador | Período das transmissões | | Duração em dias | Velocidade média (cm/s) | Direção média (graus) | Temperatura média (°C) |
|----------------|--------------------------|----------|-----------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|
| 3178 | 17/02/93 | 06/04/93 | 47 | 17,6 | 225,7 | 25,8 |
| 3179 | 17/02/93 | 26/04/93 | 50 | 18,4 | 217,9 | 24,8 |
| 3180 | 17/02/93 | 21/05/93 | 92 | 15,0 | 214,7 | 24,7 |
| Valores médios | | | | 17,0 | 219,4 | 25,1 |
| Desvio padrão | | | | 1,4 | 4,6 | 0,5 |

A imagem AVHRR (**Figura 6**), da região de estudo, mostra a borda oeste da Corrente do Brasil (vermelho) movendo-se para sul sobre o talude continental e o ramo costeiro da Corrente das Malvinas (azul) movendo-se para norte sobre a Plataforma Continental.

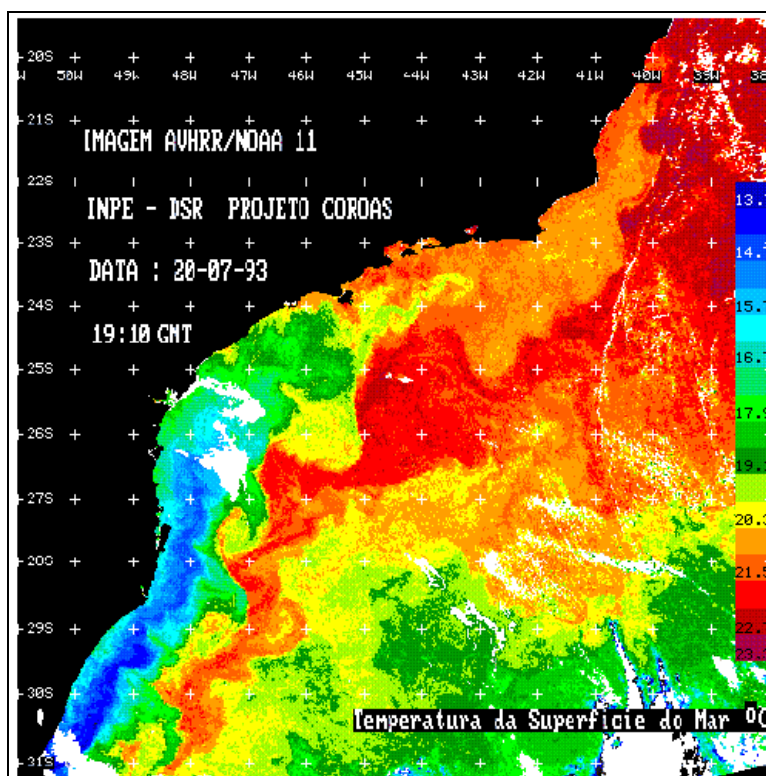


Figura 6 - Imagem AVHRR da região por onde os derivadores fluíram.

As trajetórias para norte, devido a penetração do ramo costeiro da Corrente das Malvinas ao longo da costa brasileira, são apresentadas. Na **Figura 7** observa-se que a intrusão do ramo costeiro da Corrente das Malvinas sobre a Plataforma Continental, atingiu a latitude de 23°S.

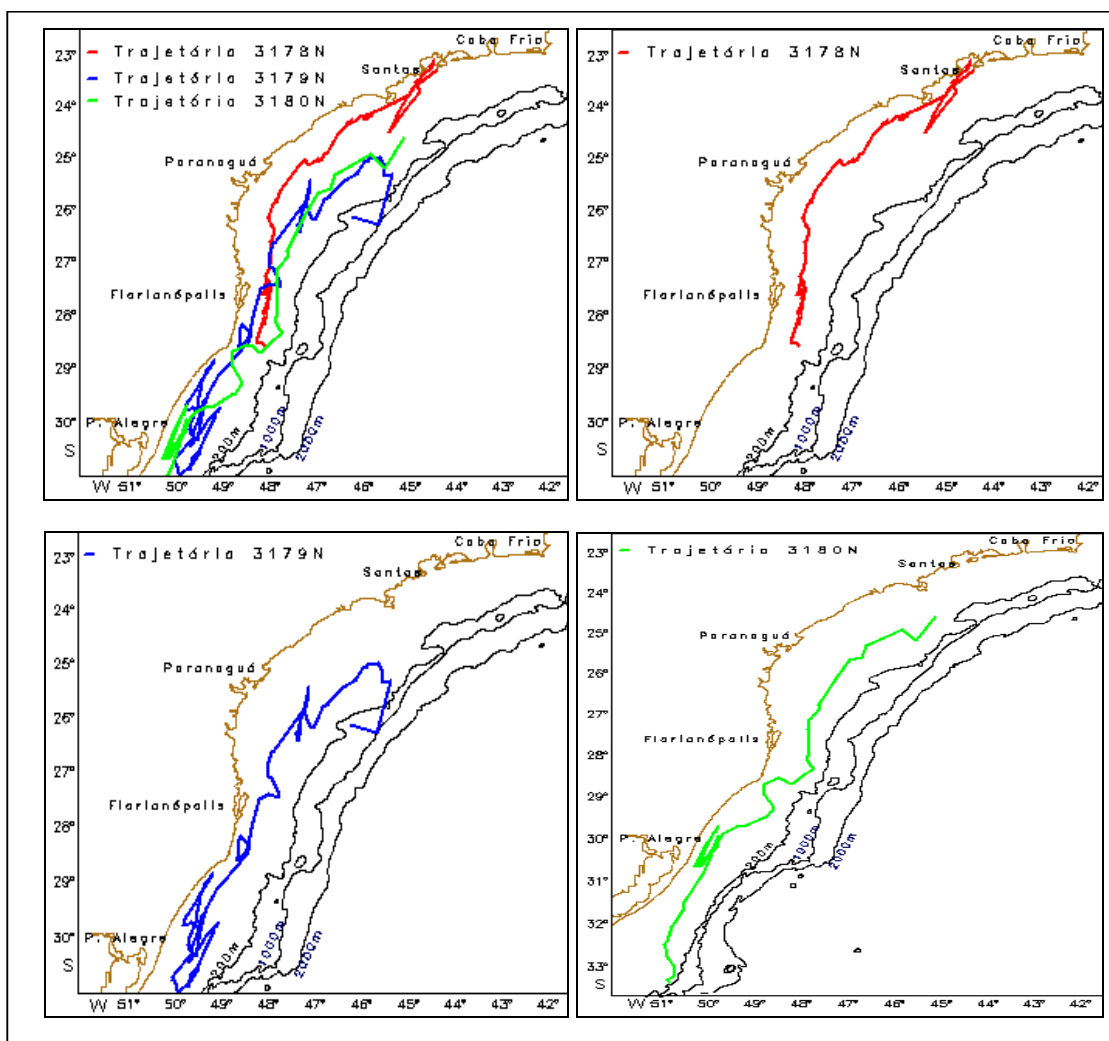


Figura 7 – Trajetória para norte dos derivadores.

A **Tabela 3.2** mostra os valores da corrente e direção médias e a TSM associadas a intrusão da Corrente das Malvinas.

Tabela 2 – valores associados às trajetórias dos derivadores para norte.

| Derivador | Período das transmissões | | Duração em dias | Velocidade média (cm/s) | Direção média (graus) | Temperatura média (°C) |
|----------------|--------------------------|----------|-----------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|
| 3178 | 06/04/93 | 03/07/93 | 88 | 10,0 | 34,8 | 23,3 |
| 3179 | 08/04/93 | 19/07/93 | 101 | 9,5 | 30,7 | 19,9 |
| 3180 | 21/05/93 | 30/07/93 | 70 | 17,0 | 31,0 | 17,6 |
| Valores médios | | | | 12,2 | 32,3 | 20,3 |
| Desvio padrão | | | | 3,4 | 1,9 | 2,3 |

3 Conclusões

Por permitirem um monitoramento remoto do oceano a um custo razoavelmente barato, os derivadores vêm se despontando como um meio altamente viável e eficiente de se estudar a circulação oceânica, a temperatura da superfície do mar, os vórtices e demais fenômenos de meso e grande escala. No estudo de determinados fenômenos, tais como os vórtices ou o regime da circulação oceânica em escalas maiores, o uso de derivadores vem se tornando fundamental. Com a implementação de sensores para vários parâmetros tais como: oxigênio dissolvido, pressão, clorofila, salinidade, os derivadores poderão ser utilizados também em estudos de menor escala como por exemplo, a qualidade da água em reservatórios.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (contrato N° 91/0542-7) e ao CNPq (contrato N° 403007/91-7) pelo suporte ao Projeto COROAS.

Referências

- Assireu, A.T. *Análise da Circulação Superficial Oceânica na Costa Sudeste-Sul do Brasil, a Partir da Utilização dos Dados de Derivadores Rastreados por Satélite*. Tese de mestrado em Sensoriamento Remoto, INPE, 1998.
- Global Drifter Center at NOAA/AOML [online]
<URL:<http://inspire.ospi.wednet.edu:8001/curric/oceans/drifters/drifters.html>.>
20 de Fev. 1997.
- Niiler, P.P.; Davis, R.E.; White, H.J. Water-Following Characteristics of a mixed layer drifter. *Deep-Sea Research*, 34(11): 1867-1881, 1987.
- Niiler, P.P.; Paduan, J.D. Wind-driven motions in the northeast Pacific as measured by Lagrangian drifters. *Journal of Physical Oceanography*. 25(11 Pt. II): 2819-2830, 1995.
- Schmid, C.; Schäfer, H.; Podestá, G.; Zenk, W. The Vitória eddy and its relation to the Brazil Current. *Journal of Physical Oceanography*, 25(11 Pt. I): 2532-2546, 1995.
- Stevenson, M.R. Recirculation of the Brazil Current South of 23°S. *International WOCE Newsletter*, (22): 30-32, 1996.
- Stevenson, M.R.; Assireu, A.T. Medição da corrente circumpolar Antártica durante a XV Expedição à Antártida. *Informativo CIRM*, 8(2):10, 1997.
- Sybrandy, A.L.; Niiler, P.P. *WOCE/TOGA Lagrangian Drifter-Construction Manual*. University of Califórnia, Califórnia, 1991. 92 p.