

**Análise da variabilidade de altura dinâmica do oceano e comparações entre velocidades geostróficas obtidas a partir de dados altimétricos e derivadores de superfície na Bacia de Campos – Brasil**

Antônio Augusto Sepp Neves<sup>1</sup>

Ronald Buss de Souza<sup>2</sup>

Maurício Magalhães Mata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fundação Universidade Federal do Rio Grande

Rua Eng. Alfredo Huch, 475, Rio Grande – RS

CEP: 96201-900

{ocesepp, mauricio.mata}@furg.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Av. dos Astronautas, 1758, São José dos Campos – SP

CEP: 12227-010

ronald@dsr.inpe.br

**Abstract:** The Campos Basin – Brazil – has nowadays the biggest oil production sites of the country. It means that the offshore activities related to the oil are very intense, like transport and oil production. With this intense oil transportation the spills are unavoidable. In some developed countries operational oceanography programs have been useful to avoid accidents or reduce their environmental impacts. However, they demand great spatial coverage and real-time data distribution. The satellite altimetry is a good way to attend this demand. In this labor the feasibility of satellite altimetry employment for surface velocities monitoring is analysed in the study area. The analysis was based in the comparison between geostrophic velocities obtained from altimeter data and surface drifters velocities. For this, it was made a linear correlation between the measurements, obtaining correlation coefficients of  $\sim 0.66$  for the meridional component and  $\sim 0.45$  for the zonal one. Even being small coefficients the results are encouraging. Specially considering that the geostrophic velocities are simplifications of the reality and the optimal interpolation errors in drifter data and sea surface height maps.

**Palavras chave:** altimetria, correntes superficiais, variabilidade

## 1.Introdução

Com o desenvolvimento da oceanografia por satélites tornou-se possível observar o oceano em vários comprimentos de onda dentro do espectro eletromagnético, Johannesen et al. (2000), permitindo estimar as principais propriedades do oceano em várias resoluções espaciais e temporais. Dentre os satélites em órbita, são citados como uma das ferramentas mais usadas na oceanografia moderna os satélites com sensores altimétricos, que estimam a altura dinâmica dos oceanos em intervalos constantes de tempo sem sofrer com a presença de nuvens, Uchida et al. (1998). Principalmente a partir do lançamento destes satélites o monitoramento em grande e média escala espacial do oceano tornou-se possível e relativamente barato, pois a maior parte dos dados são disponibilizados gratuitamente.

Especialmente nos EUA e Europa as informações obtidas pelos satélites altimétricos tem sido utilizadas operacionalmente, tanto para o monitoramento em tempo quasi-real quanto para alimentar modelos de previsão oceânica. Digby et al.(ano desconhecido) exemplifica, entre outras, a importância dos mapas de altura do oceano para a escolha da melhor rota de navegação e dos mapas de velocidade geostrófica para as indústrias *offshore* ligadas ao petróleo e comunicações. Entretanto, os dados históricos obtidos pelos satélites altímetros também são importantes para o entendimento da dinâmica oceânica. A partir destes pode-se analisar as variações de longo período das correntes e alturas dinâmicas, como intersazonais ou interanuais, Digby et al (ano desconhecido) e Lázaro et al. (2005), permitindo especular médias e máximos de velocidade esperados.

Entre os grandes utilizadores do oceano no Brasil está a indústria do petróleo, seja para o transporte, seja para a exploração do óleo. A Bacia de Campos, que envolve litoral do Rio de Janeiro e Espírito Santo, desponta no país como a região de maior produção petrolífera, PETROBRÁS (2006). Especialmente nestas regiões é necessário o conhecimento sobre a dinâmica local por motivos ambientais, de segurança humana e econômicos, Johannesen et al. (2000), Kite-Powell e Colgan (2001). Visando preencher parte desta lacuna de conhecimento, o objetivo deste trabalho é analisar quão representativa é a velocidade obtida pelos altímetros na circulação total da região e quais os efeitos da sazonalidade na alturas dinâmicas (e consequentemente velocidades geostróficas) locais.

### 1.1. Características Oceanográficas da Área de Estudo

A Corrente do Brasil (CB) está localizada na borda oeste do giro do Atlântico Sul. Ela origina-se a partir da bifurcação da Corrente Sul Equatorial em aproximadamente 10° S, quando esta encontra costa brasileira dando origem também à Corrente Norte do Brasil, Peterson & Stramma (1991). A partir de sua origem a CB flui sempre em direção ao Sul, acompanhando a quebra de plataforma, Castro & Miranda (1998). Seu fluxo permanece estreito e raso até a latitude de 20.5° S onde a Cadeia de Vitória-Trindade forma uma barreira, forçando a passagem da CB pela passagem mais próxima da costa, Evans & Signorini (1985).

A região entre Cabo Frio e o Cabo de São Tomé (aproximadamente 23° S) é característica pelos meandramentos e formação de vórtices ciclônicos e anticiclônicos, podendo inclusive haver a subida da CB na plataforma continental, Evans & Signorini (1985). Medidas diretas de velocidade na altura de Campos (22.3° S) mostram que as oscilações da CB estão concentradas principalmente nas frequências subinerciais, entre 3 e 15 dias, Castro & Miranda (1998).

Até a região de Cabo Frio a CB acompanha a quebra de plataforma, com direção praticamente SO-NE. Ao Sul dessa região há uma brusca mudança na direção da costa para praticamente L-O, causando uma rotação ciclônica da CB abaixo dessa latitude, afastando-a do talude e voltando a encontrá-lo mais ao Sul, Castro & Miranda (1998).

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Altimetria

Após anos de medidas de anomalia de altura do oceano a partir dos satélites altimétricos tornou-se possível a montagem de um mapa global de altura média do oceano (MADT). Seguindo o raciocínio de que a altura absoluta do oceano (ADT) é a somatória da MADT com a anomalia de altura do oceano (SLA), pode-se concluir que com esta nova ferramenta passa a ser possível, além de determinar a ADT, determinar velocidades geostróficas absolutas, Ssalto/Duacs User Handbook (2006). Isto é um avanço importante, principalmente em regiões que contêm correntes de contorno oeste, que são bastante estáveis ao longo do tempo, não aparecendo facilmente nos mapas de SLA, Boebel & Barron (2003).

Os mapas de altura utilizados foram do tipo *merged*, produzidos por Ssalto/Duacs e distribuídos pela Aviso (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data), com ajuda da Cnes (Centre National d'études Spatiales). Os dados do tipo *merged* têm intervalo de sete dias, desde 1992 até os dias atuais, e vem na forma de um mapa global com grid amostral fixo ao longo do tempo com resolução de  $1/3^\circ$ , resultado de uma interpolação ótima entre as medidas obtidas por um par de satélites (Topex/Poseidon + ERS, seguidos por Jason-1 e Envisat, respectivamente), Ssalto/Duacs User Handbook (2006).

Foram usados mapas de altura desde 1992 até dezembro de 2005 para análises de variabilidade.

### 2.2. Derivadores Lagrangeanos de Superfície

A estrutura das bóias faz com que sejam transportadas essencialmente pelas correntes oceânicas, eliminando outras formas diretas de arrasto (como o vento, por exemplo), Souza (2005). A partir das sucessivas posições da bóia é possível calcular então a velocidades da corrente na qual ela está inserida. A velocidade medida pelas bóias de deriva representa o movimento do oceano em várias escalas, tendo efeito do arrasto do vento, da maré e de outras oscilações de alta frequência embutidos. Por isso, é importante ter cuidado ao comparar com outras formas de medida de velocidade em manter a mesma escala temporal.

Para este trabalho foram utilizados os dados de bóia disponibilizados pela Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory (AOML), pela Marine Environmental Datasets (MEDS) e pelo Programa Brasileiro de Bóias (PNBOIAS) na Internet. Ambos foram tratados da mesma forma, Hansen & Poulain (1995), retirando posicionamentos espúrios, e interpolados para um intervalo amostral constante de 6 horas.

### 2.3. Comparações entre altimetria e bóias

É importante para o uso operacional dos mapas de velocidade geostrófica saber quão representativas da circulação total elas são. Portanto, é necessário comparar estas velocidades calculadas com a verdade de mar, neste trabalho representada pelas velocidades das bóias, Boebel & Barron (2003).

Como já dito anteriormente, há uma diferença de escalas entre as bóias e os altímetros. As velocidades geostróficas são uma simplificação da circulação do oceano, resolvendo-o em sua maior escala, enquanto as bóias respondem às forçantes de pequena, meso e grande escala. Por isto, é importante compatibilizar os dados para que as comparações sejam justas.

O primeiro passo para compatibilizar os dados foi escolher a região para comparação das bóias com as velocidades geostróficas. Optou-se por utilizar apenas as bóias na Corrente

do Brasil (CB), corrente de contorno Oeste com grande influência na região de estudo. A separação foi feita visualmente bóia por bóia, extraindo apenas os trechos que cobriam a CB. A região de plataforma não foi utilizada devido à má qualidade das medidas altimétricas nesta região, Johannessen et al. (2000).

O segundo passo foi filtrar as oscilações de alta frequência das bóias, calculando posições e velocidades médias de cada sete dias de deslocamento das bóias. Após os dois passos restaram 28 posições e velocidades médias de bóia para as comparações com as velocidades geostróficas.

Compatibilizados os dados foram feitas as comparações. As velocidades geostróficas foram interpoladas temporal e espacialmente para os pontos amostrais das bóias. Estas foram correlacionadas linearmente para analisar até onde as medidas do altímetro são capazes de resolver a circulação local, Boebel & Barron (2003).

### **3.Resultados e Discussões**

Como a seção de Materiais e Métodos, esta também será dividida em duas partes. Uma dedicada à variabilidade da altura dinâmica e das correntes geostróficas e outra dedicada às comparações entre os derivadores e os mapas de velocidade geostrófica.

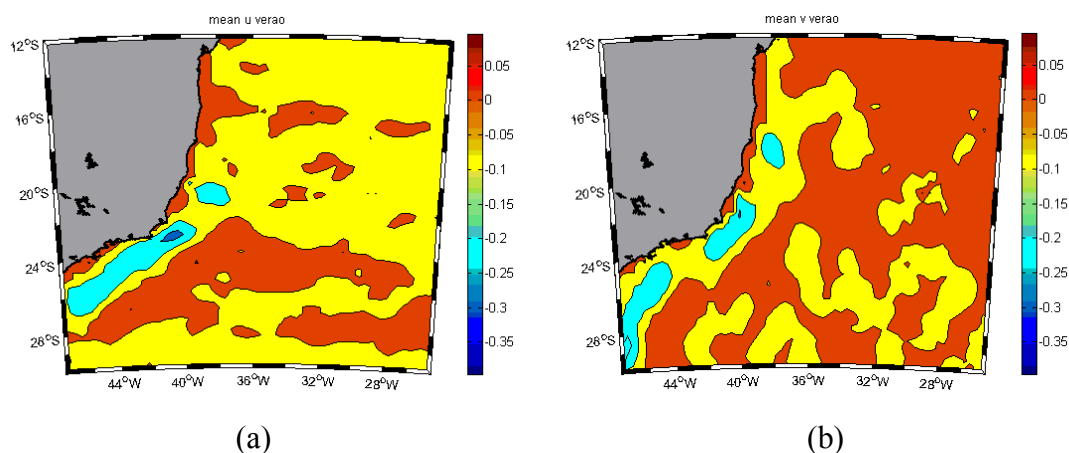
#### **3.1.Altimetria e variabilidade:**

A análise da variabilidade sazonal foi baseada nos mapas de ADT e de velocidade geostrófica. Optou-se por não utilizar os derivadores devido à baixa densidade destes na região de estudo, insuficiente para atingir este objetivo específico.

Na região ao Norte da bacia de Campos (19.5° S a 22° S), observou-se em todas as estações do ano o desvio da CB devido à cadeia de Vitória-Trindade. Os mapas de vetores de velocidade confirmam estudos de circulação geostrófica na região, reafirmando que a CB contorna o obstáculo preferencialmente pela passagem mais próxima da costa, Evans & Signorini (1985).

A porção intermediária (22°S a 23.8°S), apresentou características com variações sazonais. No período de primavera/verão observou-se uma compressão das isolinhas de altura em relação ao período de outono/inverno, correspondentes à CB. Consequentemente, neste período houve intensificação das componentes  $u$  (horizontal) e  $v$  (vertical) da velocidade nesta região, observável nos mapas de velocidade (**Figura 1**). No mesmo período também houve uma aproximação da CB da costa, subindo a plataforma continental. Os dois processos já foram previamente observados por Castro & Miranda (1998). Segundo Castro e Miranda, estes processos estão ligados à intensificação dos ventos de NE no período do verão que consequentemente, intensificariam a CB.

Figura 1. (a) média da componente u do Verão, em m/s e (b) média de v para o mesmo período, também em m/s



Abaixo do Cabo Frio, aproximadamente 23.8°S, observou-se nos mapas de desvio padrão de altura e especialmente nos de velocidades, uma região com maiores variações de altura e velocidade logo abaixo de Cabo Frio (**Figura 2a**). Acredita-se que esta anomalia seja causada pelo vórtice semi-permanente da CB, que apareceu também nas trajetórias das bóias na região e pelo mapa de vetores de velocidade geostróficas médias (gráfico não presente neste trabalho), para o mesmo período. No mapa há uma região com baixas velocidades médias coincidente com a área de anomalia de variações de altura. Vórtices são eventos turbulentos, em que se espera uma baixa contribuição da componente média da velocidade na velocidade total.

O mesmo evento ocorreu na porção intermediária ao largo do Cabo São Tomé, mas em menor escala, também podendo estar relacionado aos vórtices formados pela CB ao longo de seu deslocamento (**Figura 2b**).

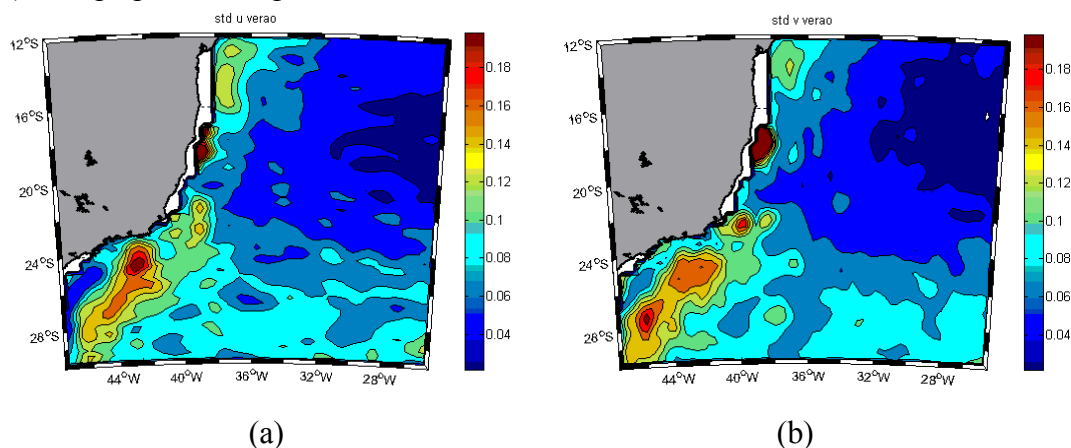
### 3.2. Comparações entre velocidades geostróficas e as velocidades dos derivadores

Após o cálculo da média de velocidade e deslocamento das trajetórias de bóia presentes na CB os posicionamentos foram plotados sobre mapas de altura de data correspondente. Este procedimento foi feito para haver a confirmação de que as bóias realmente estejam sobre a Corrente do Brasil e não respondendo a outros efeitos de menor escala. Após todos estes procedimentos restaram 28 posições/velocidades médias de bóia que foram comparadas com os mapas de velocidade geostrófica.

Os resultados da correlação linear simples deram um índice de correlação para a componente u de  $\sim 0.66$  e  $\sim 0.45$  pra v (**Figura 3**). Índices de correlação tão baixo não eram esperados, já que foram utilizadas médias de velocidade das bóias. As médias deveriam filtrar oscilações de maior freqüência que não poderiam ser detectadas pela altimetria.

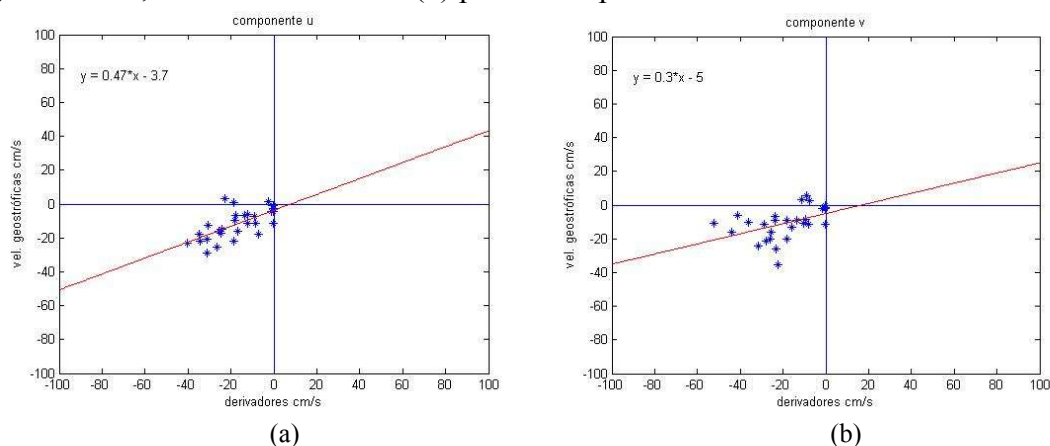
Diversas causas podem ser apontadas como causas da correlação tão baixa entre as velocidades geostróficas e as velocidades de bóias. Como dito anteriormente, as bóias respondem às oscilações de várias escalas, inclusive à deriva de Ekman, Boebel & Barron (2003), podendo ser uma primeira fonte de “erros”. Outra forma possível de erro é na interpolação de posicionamento das bóias (da ordem de  $10e-5$  graus de latitude/longitude), que consequentemente refletem nas medidas de velocidade.

Figura 2. (a) Mapa de desvio padrão da componente u da velocidade para o período do Verão e (b) o mapa para a componente v, em m/s



Os mapas de altura também são uma fonte de erros, Ducet (2000); Boebel & Barron (2003); Leeuwenburgh & Stammer (2002), devido à interpolação que é feita no processo de *merging*. Ainda nos mapas, uma fonte detectável foram as interpolações espaciais feitas da medida do altímetro para a posição da bóia e temporais, feitas com o dado altimétrico para o dia da medida de bóia. Entretanto, foi preciso assumir estas fontes, já que o número de medidas de bóias para comparação com os altímetros foi muito pequeno.

Figura 3. (a) Dispersão (estrelas) e reta de regressão (em vermelho) de u das bóias e vel. geostróficas, em cm/s e idem em (b) para a componente v.



#### 4. Conclusões

Os efeitos de grande escala aparentemente foram bem resolvidos para a altimetria. Isto é demonstrado pela concordância entre os gráficos médios de velocidades geostróficas e os resultados obtidos por outros autores através de dados hidrográficos. No entanto, efeitos de menor escala em que a bóia é afetada não foram tão bem representados.

Na verdade, mesmo tendo baixos coeficientes de correlação o uso do altímetro para mapear velocidades na região é encorajador. Análises qualitativas de comparação entre trajetórias de bóia e contornos de altura tiveram resultados positivos. Como dito antes, as interpolações temporais e espaciais utilizadas foram uma fonte comprovada de erro, fazendo com que novos testes sejam necessários evitando utilizar interpolações temporais ou mesmo

evitando a confecção de trajetórias médias de bóia e utilizando velocidades instantâneas do mesmo dia das medidas altimétricas.

Quanto à variabilidade das alturas e velocidades geostroficas, é importante a confirmação de feições observadas, como o vórtice ao largo do Cabo de São Tomé e o próprio vórtice ciclônico da CB ao Sul de Cabo Frio, através de imagens de temperatura da superfície do mar ou cor do oceano. Os vórtices são feições que tem efeito importante nas atividades *offshore*, merecendo estudos sobre a sua variabilidade ao longo do tempo.

## 5. Bibliografia

Boebel O. e Barron, C. A comparison of in-situ float velocities with altimeter derived geostrophic velocities, **Deep-Sea Research II**, vol. 50, pp.119-139, 2003.

Castro, B. M. e Miranda, L. B., **The Sea**, cap. 8, vol. 11, John Wiley & Sons, Inc.. 1998.

Davis, C. H. Satellite Radar Altimetry. **IEEE Transactions of Microwave Theory and Techniques**, vol. 40, n. 6, pp. 1070- 1076,1992.

Digby, S. Antczak, T., Leben, R., Born, G., Barth, S., Cheney, R., Foley, D., Goni, G. J., Jacobs, G. & Shay, N.; Altimeter data for operational use in the marine environment.

Ducet, N., Le Traon, P.Y., Reverdin, G., 2000. Global high-resolution mapping of ocean circulation from TOPEX/Poseidon and ERS-1 and -2. **Journal of Geophysical Research**, vol. 105, pp.19477-19498.

Evans, D. L. & Signorini, S. S.; Vertical Structure of the Brazil Current, **Nature**, 315, 48-50, 1985.

Hansem, D. V. e Poulain, P-M., Quality control and interpolations of WOCE-TOGA drifter data, **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, vol. 16, pp. 900-909,1996.

Johannessen, O. M., Sandven, S., Jenkins, A. D., Durand, D., Pettersson, L. H., Espedal, H., Evensen, G. & Hamre, T.; Satellite earth observation in operational oceanography, **Coastal Engineering**, vol. 41, pp. 155-176, 2000.

Kite-Powell, H. & Colgan, C.; The potential economics benefits of coastal ocean observing systems: the Gulf of Maine, **A joint publication of National Oceanic and Atmospheric Administration Office of Naval Research – Woods Hole Oceanographic Institution**, 2001.

Lázaro, C., Fernandes, M. J., Santos, A. M. P. & Oliveira, P.; Seasonal and interannual variability of surface circulation in the Cape Verde region from 8 years of merged T/P and ERS-2 altimeter data, **Remote Sensing of Environment**, vol 98, pp 45 – 62, 2005.

Leeuwenburgh, O. e Stammer, D. Uncertainties in altimetry-based velocity estimates, **Journal of Geophysical Research**, vol. 107, n. C10, 3175, 2002.

Peterson, R. G. e Stramma, L., Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean, **Progress in Oceanography**, vol.26, pp 1-73, 1991.

Petrobras.. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br> . Acesso em: 28 out. 2006.

Souza, R.B.; **Oceanografia por Satélites**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005,336 pg.

Ssalto/Duacs User Handbook : **(M)SLA and (M)ADT Near-Real Time and Delayed Time Products**, Edition 1.5, Outubro 2006.

Uchida, H., Imawaki, S. e Hu, J-H.; Comparison of Kuroshio Surface Velocities Derived from Satellite Altimeter and Drifting Buoy Data. **Journal of Oceanography**, vol. 54, pp. 115-122, 1998.