

Análise da distribuição da temperatura superficial do mar ao largo do estado do Espírito Santo – BR, durante o inverno de 1997

Gregório Luiz Galvão Teixeira ^{1,1}
Julio Tomas Aquije Chacaltana ^{1,2}
Joel Rojas Acuña ^{2,3}

¹ Universidade Federal do Espírito Santo
LABESUL
Caixa Postal 29075-910 - Vitória - ES, Brasil
gregorioteixeira@email.com^{1,1}
juliotac@gmail.com^{1,2}

² Universidad Nacional Mayor San Marcos
Laboratorio de Teledetección
jrojas@unmsm.edu.pe^{2,1}

Abstract. The temperature of the first layers of the sea can be investigated using remote sensing data. This paper investigates the distribution of sea surface temperature (SST) found in front of Espírito Santo, southeast of Brazil. Data captured in winter 1997 was observed by high-resolution sensor AVHRR sea surface temperature images of the region. For this period some cloud free AVHRR LAC data have been processed and the distribution of sea surface temperature has been extracted from the image. It was used the Pacha Ricaj and ENVI/IDL program was used to computing this temperature using linear and non linear algorithms. The analysis of satellite images of a thermal surface structure revealed the expected complexity of the region that can cause by the complex geomorphology of region, with Vitória Trindade Ridge and Abrolhos Bank.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, geomorphology, sensoriamento remoto, processamento de imagens, geomorfologia.

1. Introdução

Regidos pela radiação infravermelha (RI), o aquecimento e o resfriamento diários da Terra são os processos mais importante que regem a circulação oceânica e atmosférica de larga escala. Essa circulação se apresenta diferente ao longo das latitudes do globo devido ao gradiente térmico latitudinal, uma vez que o resfriamento e o aquecimento predominam nas altas e baixas latitudes respectivamente.

A energia emitida pelos primeiros micrômetros da superfície do mar é denominada Temperatura Superficial Marinha, representada pela sigla TSM. Quando mensurada, esta temperatura é o parâmetro mais importante para estudos de fenômenos de meso-escala em Oceanografia Física. As moléculas de água absorvem em níveis diferentes ondas de frequências distintas, sendo as ondas de maiores comprimentos (infravermelhas) absorvidas nos primeiros centímetros da coluna da água e as ondas de menores comprimentos (faixa do azul) são absorvidas em profundidades maiores.

A Camada de Pele (CP) é a camada inicial, de aproximadamente os 10 micrômetros, onde ocorrem as principais interações de troca de calor, momentum e evaporação de água e a quantificação da energia emitida e/ou refletida pela CP é usada para correlacioná-la com a TSM, como presente em Souza (2005).

As variações da temperatura da CP provocam fenômenos de escala global, como o El Niño e La Niña que ocorrem em regiões específicas, afetando características meteorológico-oceanográficas de outras partes do planeta. Além dessa utilização, em escala global, a distribuição da TSM pode servir para mapear varias espécies de peixes, mapeamentos da distribuição de correntes em oceanos e em lagos, como já apresentado por Anding e Kauth (1970).

Robinson (1985), Souza (2005) e Lessa e Espinoza (2007) ressaltam as vantagens da utilização dos satélites, enfatizando a visão sinótica bidimensional, a alta resolução espaço-temporal e a construção de séries de dados com consistência espacial ao longo do tempo.

Ikeda (1995) aponta, mesmo não sendo possível uma caracterização completa das massas de água da região, a TSM é utilizada como detector de correntes meandranes. Os fluxos ascendentes das camadas subsuperficiais formam as feições presentes nas correntes que servem de traçadores para determinar os campos advectivos.

O NOAA-14, desde o início de operação no ano de 1994, colocado em tabela por Li et al. (2001), portava a bordo o sensor AVHRR, cuja captação se dá em 5 canais de janelas espectrais distintas. Os canais de 3 à 5 registram o infravermelho e no canal 1 e 2 o visível, possibilitando a detecção de nuvens e a discriminação entre terra e água, evitando a análise incorreta da TSM.

Tabela 1. Relação de Canais dos sensores AVHRR-N dos satélites das séries TIROS-N e NOAA-N.

Plataforma	Número do Canal / frequências				
	1	2	3	4	5
TIROS-N	0.55-0.90	0.725-1.10	3.55-3.93	10.5-11.5	
NOAA-6,-8,-10	0.58-0.68	0.725-1.10	3.55-3.93	10.5-11.5	
NOAA-7,-9,-11,-12,-14	0.58-0.68	0.725-1.10	3.55-3.93	10.3-11.3	11.5-12.5

A TSM é calculada pela Lei de Planck, que relaciona a emitância e a temperatura de um corpo negro (um emissor perfeito). E a relação da emitância de um corpo pela emitância de um corpo negro é denominada emissividade espectral do corpo. O corpo negro é, por conseguinte uma superfície lambertiana por ter toda sua energia difundida, emitida independente da direção.

Com a medida da radiância espectral pelo sensor possibilita o cálculo da Temperatura de Brilho (TB). A TB é o valor da temperatura de cada píxel calculado como um emissor perfeito (corpo negro).

Os algoritmos empíricos de estimação da TSM são baseados na diferença das TB de canais dos sensores AVHRR. Segundo Barton (1995), a equação 1 é a forma básica da maioria dos algoritmos:

$$SST = aT_i + \gamma(T_i - T_j) + c \quad (\text{Eq. 1})$$

na qual:

T_i = Temperatura de brilho no canal i ;

T_j = Temperatura de brilho no canal j ;

a & c = Constantes da equação ;

$$\gamma = (1 - t_i) / (t_i - t_j)$$

em que, t_i e t_j representam a transmitância através da atmosfera.

A TSM calculada através de sensores remotos é caracterizada por um gradiente horizontal ao longo da área de estudo imageada. Estudos para destacar estes gradientes de temperatura são feitos com a finalidade, além de delimitar massa de água de diferentes características térmicas, conseguirem observar feições de meso-escala como os meandros, anéis, vórtices e frentes. A discriminação das massas de água é feita a partir das características térmicas de cada massa de água presente na região alvo.

Estudos para destacar e/ou realçar estes gradientes de temperatura são feitos com a finalidade, além de delimitar massa de água de diferentes características térmicas, observar as feições de larga escala, como os giros oceânicos, e de meso-escala, como os meandros, anéis, vórtices e frentes.

O estado do Espírito Santo se localiza na região sudoeste do oceano Atlântico (Figura 2) e sua plataforma continental médio-externa apresentam uma morfologia bastante irregular com destaque da Cadeia Vitória – Trindade e a Cadeia de Abrolhos.

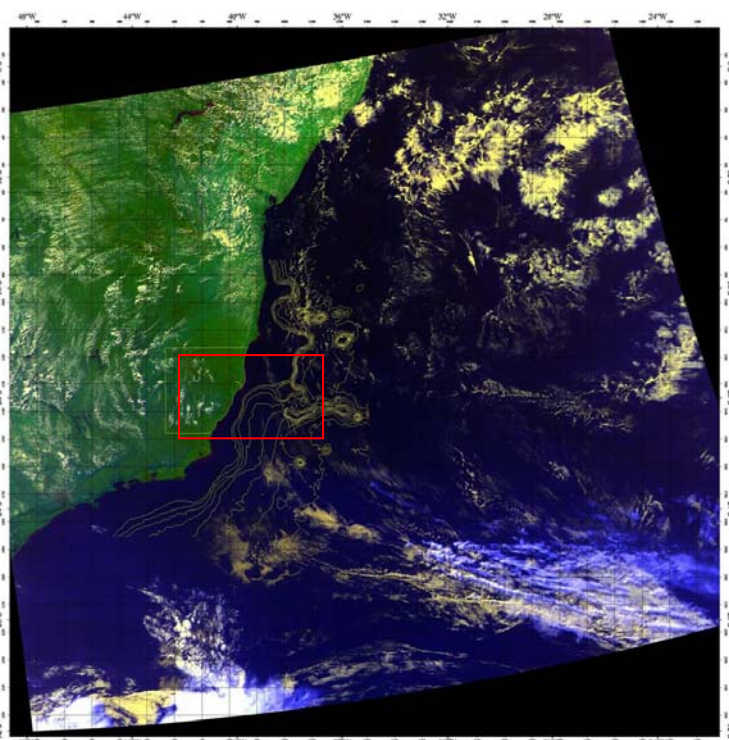


Figura 2. Área de estudo demarcada em retângulo vermelho. Composição 1,3,5 do AVHRR.

Nesta região verificam-se variações na plataforma continental devido a intrusões vulcânicas próximo ao Rio Doce e uma quebra de plataforma ocorrendo entre as isobatimétricas de 60 e 80 metros. A circulação oceânica regida pela Corrente do Brasil, caracterizada por uma Água Tropical de temperaturas $> 20^{\circ}\text{C}$, uma corrente subsuperficial com um limite inferior na picnoclina permanente caracterizada Água Central do Atlântico Sul (ACAS) $6 < T < 20^{\circ}\text{C}$ e sobre a plataforma observa-se uma corrente caracterizada por uma Água Costeira (AC) $4 < T < 21^{\circ}\text{C}$ e.

A Corrente do Brasil tem seus limites de atuação modulados de forma sazonal, uma vez que no verão austral os limites tendem ir mais ao sul (36°S) e no inverno austral fica confinado mais ao norte, como exposto por Lentini e Souza(2005).

A análise de processos de mesoescala da região de estudo verifica-se necessária, devido comportar importantes sistemas ecológicos como o Banco de Abrolhos, a Cadeia Vitória – Trindade, pontos importantes de ressurgência de massas d'água e como foco de atividades petrolíferas off-shore como exploração, exploração e produção. O estudo possibilita a

determinação espacial de padrões de temperatura diferentes, como ressurgência de água, presença de zonas de instabilidade baroclínicas que promovem impactos em sistemas de ancoragem, risers, sistemas submarinos e fadigas em dutos causadas por vibrações induzidas por vórtices.

A partir de desenvolvimento e/ou aplicação de programas de tratamento de dados termais este trabalho objetiva à determinação de feições oceanográficas (meandros, vórtices e ressurgências) a partir de observação de fortes gradientes horizontais presentes na região oceânica adjacente à costa do Espírito Santo no inverno do ano de 1997.

2. Metodologia de Trabalho

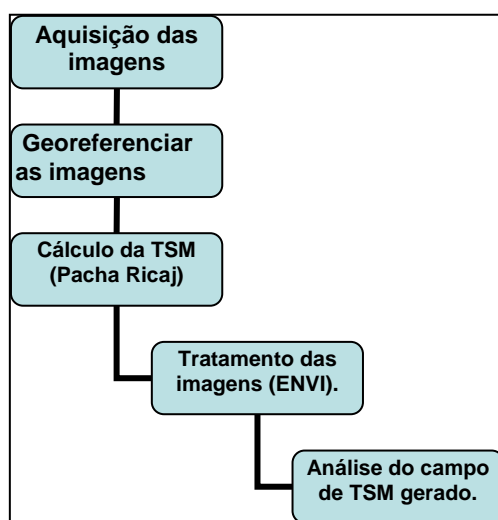


Figura 3. Organograma das etapas para a análise da TSM ao longo do estado do Espírito Santo – BR.

O procedimento aplicado às imagens é mostrado no organograma da figura 3. As imagens LAC, do sensor AHVRR, foram adquiridas gratuitamente através de cadastro e posteriores solicitações de imagens na página do CLASS (*Comprehensive Large array-data Stewardship System*) da NOAA pelo link: <http://www.class.ngdc.noaa.gov>.

As imagens possuem limites espaciais (Spatial) de -10 N, -30 S e -50 W, -30 E e temporais (Temporal) das 00:00:00 até às 23:59:59 (HH:MM:SS) para todo o período de inverno do ano de 1997. Este período foi escolhido por apresentar um extremo inferior da incidência de radiação solar na região de estudo.

Para a análise primária da TSM foi utilizado o programa Pacha Ricaj desenvolvido por Acuña (2004) e obtido em parceria com o Departamento de Física da Universidad Nacional Mayor de San Marcos de Lima - Perú. Através deste, as imagens foram visualizadas e analisadas em tons de cinza e com base no histograma foram efetuados realces a partir de modificações no contraste para melhor destacar os gradientes térmicos presentes no mar. Através da utilização dos canais 1 e 5 foi esclarecida situações de ambigüidade entre o que poderia ser nuvens ou a própria TSM. Seguidamente foi usado o ENVI/IDL para realçar a imagem e inserida a batimetria local.

3. Resultados e Discussão

Nas tabelas abaixo (Tabela 2 e Tabela 3), estão compilados os dados das características do total de imagens adquiridas e o total de dias do período de inverno, e incluindo verão do ano de 1997 para a comparação. Estas características são relativas a eventos que impossibilitam ou possibilitam uma análise da TSM, porcentagem de dias que houve captação

de imagem nos períodos, presença de nuvens nas imagens, imagens com erros internos e passagens do satélite fora da área de estudo.

Tabela 2. Compilação dos dados resultantes da análise das imagens em função do total de dias dos períodos de verão e inverno.

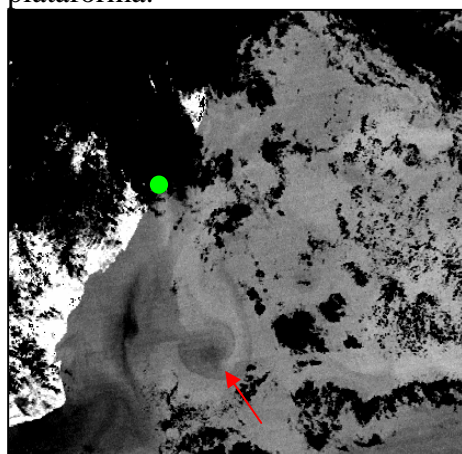
EVENTOS\PERÍODO	VERÃO	INVERNO
TOTAL DE DIAS DO PERÍODO	99	91
DIAS NÃO IMAGEADOS	8	26
DIAS IMAGEADOS	91	65
TOTAL DE IMAGENS	106	102
IMAGENS APROVEITADAS	38	40
PRESENÇA DE NUVENS	41	20
FORA DA ÁREA DE ESTUDO	30	41
ERRO DA IMAGEM	0	1

Tabela 3. Porcentagem de lacunas para a análise das imagens.

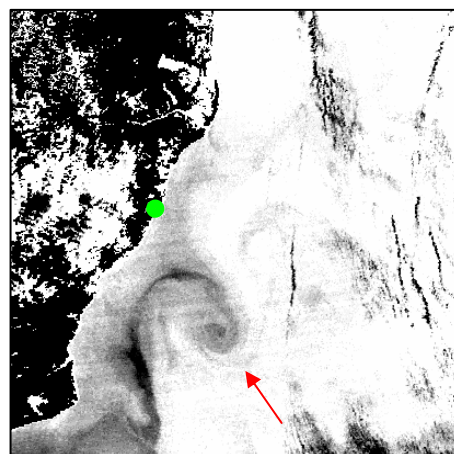
EVENTOS\PERÍODO	VERÃO (%)	INVERNO (%)
DIAS COM NUVENS	41	22
DIAS NÃO IMAGEADOS.	8	29
IMAGENS FORA DA ÁREA DE ESTUDO	28	41

O período coletado é relativo ao solstício de inverno austral. As lacunas existiram por dois motivos: nuvens presentes na região de estudo impedindo a sua análise e ausência de imagem. No inverno, mesmo apresentando 22% de imagens contaminadas com nuvens, a parcela de ausência de imagens da área de estudo chegou aos 41%. Estas lacunas estão relacionadas a erros próprios da imagem e da visada na qual foi dada durante a captação das imagens. No verão, devido a maior atuação dos raios solares na região há uma maior disponibilidade de calor latente, e uma seqüente presença de nuvens na região de estudo, fazendo com que haja uma impossibilidade de análise da TSM. No inverno, foram observados presenças de anéis e vórtices acontecendo em maior frequência, sendo que em ambos os períodos se observam a presença destas feições. Esta maior presença de feições que se detectou no período de inverno foi observada também em Kampel et al. (2001).

A análise das imagens de inverno foi iniciada no dia 21 de junho, com um padrão da TSM com menos ressurgência costeira nas regiões mais ao sul do ES, entretanto apresentando maior quantidade e maiores gradientes de temperatura das feições de mesoescala na plataforma.



(a)



(b)

Figura 4. Imagens do dia 19 e 21 de junho, com o início da formação do vórtice, mostrados pelas setas vermelhas, próximo à região de Vitória (ponto em verde).

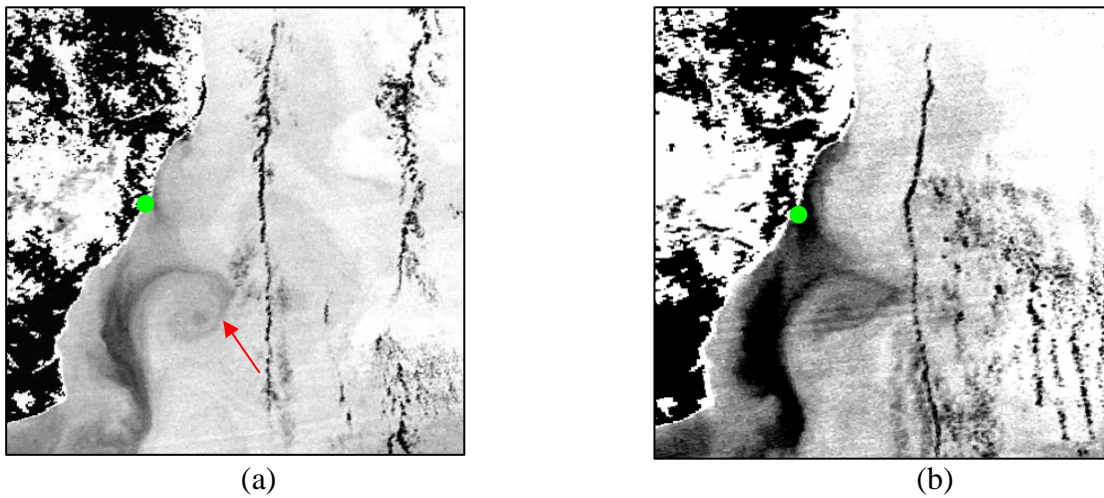


Figura 5. Imagens do dia 22 e 23 de junho mostram a seguida da feição para norte e um início de dissipação da sua estrutura, respectivamente (a) e (b).

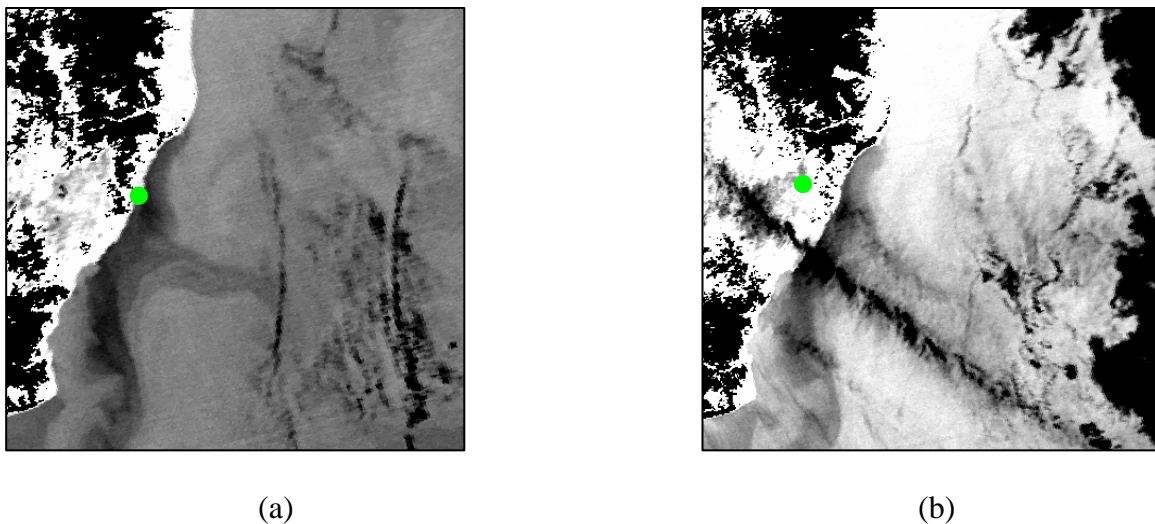


Figura 6. Imagens do dia 25 e 26 de junho, o retorno do vórtice ao fluxo médio da região, com sua total dissipação

No dia 21 (Figura 4 (b)) já estava bem evidente a presença de um vórtice de giro horário com o centro do núcleo localizado nas coordenadas $-39,75$ e $-21,36$. As temperaturas internas do núcleo estava em torno de $22,30^{\circ}\text{C}$, enquanto a parte externa atingia o valor de $23,80^{\circ}\text{C}$.

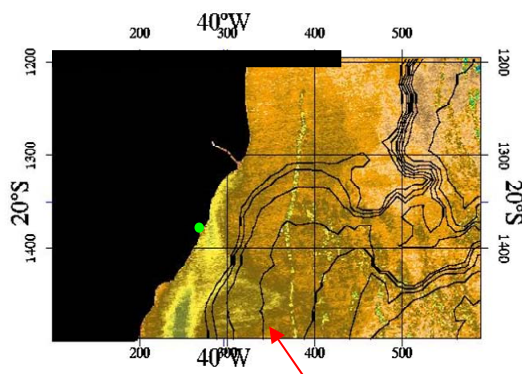


Figura 7. Imagem do dia 23 de junho utilizando uma paleta de cores para realçar as feições. A três isobatimétricas da parte interna para a parte externa da plataforma tem os valores de 60, 80 e 100 metros.

Ao longo de todo período, foi identificada a formação e a total dissipação do vórtice ficando este em situação de trapeamento pela quebra de plataforma (Figura 8), e tendo sua dissipação próximo a mudança da linha da quebra de plataforma, uma vez que esta sai de uma direção SO-NE para mudando para uma direção L-O (Figura 7), mostrada com a seta vermelha.

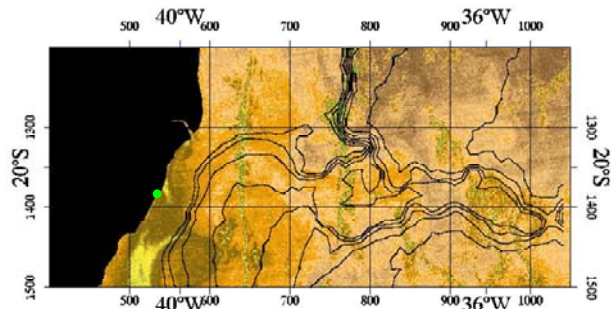


Figura 8. Imagem do dia 21 verifique a presença do vórtice que se apresenta trapeado pela quebra da plataforma continental, com mesmos valores da Figura 7, estando com o seu núcleo entre as isolinhas de 100 e 120 metros.

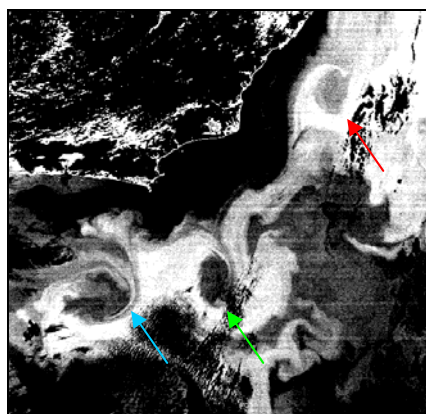


Figura 9. Imagem do dia 2 de agosto, com a presença dos vórtices próximos à Vitória (seta vermelha) mais ao norte, ao centro em São Tomé (seta verde) e logo abaixo o em Cabo Frio (seta azul).

No dia 2 de agosto frente a Vitória (Figura 9) foi verificado um forte retorno destas instabilidades na região como observado em Kampel et al. (2001) no dia 30 de Julho. Vale ressaltar a presença sinótica dos vórtices em Cabo frio e São Tomé, que apresentaram gradientes térmicos mais acentuados.

Um vórtice que se localizava 96 km da costa, à sudeste de Vitória apresentava núcleo de eixos menor e maior respectivamente de 54,12 e 62 km. As temperaturas dentro do núcleo estão próximas de 22,5°C e as externas ao núcleo são próximas de 24°C. As lacunas não permitiram a continuidade das imagens e por tanto do acompanhamento da feição, as características encontradas deste vórtice se assemelha às encontradas por Schimid et al. (1994).

4. Conclusões

Entre os fenômenos de mesoescala que são encontrados em estudos de TSM, os vórtices e anéis foram evidenciados para o período de inverno do ano de 1997. As lacunas observadas

implicaram em uns déficits na análise, estas lacunas, podem ser atenuadas com a utilização conjunta de diferentes plataformas orbitais com resolução de revisitas complementares. A presença de meandros e vórtices durante ambos os períodos deve-se, entre outros motivos, ao fato desta região mesmo estando em região tropical, se apresenta suficientemente longe do Equador, fazendo com que os movimentos geostróficos sejam dominantes sobre movimentos na escala de frequências sub-inerciais (2 a 15 dias) e sazonais (1 ano) como sugerido por Castro (2006). Estudos como estes são importantes para auxílio no entendimento de processos físicos e biológicos uma vez que permitem a disponibilidade de nutrientes para zona eufótica, promovendo um aumento da produtividade primária local, como na imagem da Figura 9. Além da importância biológica, na parte física, a intensificação de correntes por estas feições contribui no aumento da tensão de estruturas fundeadas como as necessárias para a indústria de petróleo podendo promover o aumento desgaste. São necessários estudo in-situ e numérico com mais ênfase na região de abrolhos afim de verificar o caráter trapeador/dissipador destes vórtices frontais quando em direção ao norte.

Referências Bibliográficas

- Anding, D.; Kauth R. Estimation of Sea Surface Temperature from Space. **Remote Sensing of Environment**, v 1, p. 217 – 220, 1970.
- Florenzano, T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.
- Hooker, S. B.; Brown, J. W.; Kirwan A. D. Detecting “Dipole Ring” Separatrices with Zebra Palettes. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v 33, n. 6, p. 1306-1312, 1997.
- Ikeda, M. Ocean Circulation Dynamics – Mesoscale Variability Revealed with Sea Surface Temperature Imaged by AVHRR on NOAA Satellites. In: Ikeda, M.; Dobson, F. W. (org.). **Oceanographic Applications of Remote Sensing**. United States of America: CRC Press, 1995, p.3-15.
- Kampel, M.; Gaeta, S. A. Estimativa da produtividade primária oceânica. In: Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. (Org.). O sensor MODIS e suas aplicações no Brasil. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. cap. 20, p.277-294.
- Kampel et al. Use of Satellite data for Studing and monitoring the southeast coast of brazil. **Selper**, v. 17, n. 1, 2001.
- Lentini, C. A. D.; Souza, R. B. Eddies e Vórtices de Mesoescala no Oceano Atlântico Sudoeste Medidos por Satélites. In: Souza, R. B. **Oceanografia por Satélite**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- Lessa, F. T.; Espinoza, H. F. Análise e caracterização das feições oceanográficas da região sudeste e sul do Brasil observadas nos verões 2001, 2003 e 2005. In: Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar (COLACMAR), 12, 2007, Florianópolis.
- Li, X. et al. Validation of coastal sea and lake surface temperature measurements derived from NOAA/AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 7, p.1285-1303, 2001.
- Robinson, I. S. **Satellite Oceanography – an introduction for oceanographers and remote-sensing scientists**. Chichester: Ellis Horwood Ltd, 1985.
- Souza, R. B. **Oceanografia por Satélite**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- Schmid, C. et. al. The Vitória Eddy and Its Relation to the Brazil Current. **Journal of physical oceanography**, v. 25, p. 2532-2546, 1994.
- Viets, P. NOAA-14 Environmental Satellite to begin operation in april. Disponível em: <<http://www.publicaffairs.noaa.gov/pr95/mar95/noaa14.html>>. Acesso em: 21 de Junho de 2008.