

CORRELAÇÃO ENTRE O CAMPO DE VENTO MÉDIO E UM ÍNDICE QUE DEFINE A INTENSIDADE DA RESSURGÊNCIA NA REGIÃO DO CABO FRIO (23°S / 42°W) ATRAVÉS DA ANÁLISE DE DADOS ORBITAIS (QUIKSCAT / AVHRR)

GUSTAVO DE ARAÚJO CARVALHO^{1,2*}
ALEXANDRE PEREIRA CABRAL¹
MARCOS ANTÔNIO DOS SANTOS FERNANDEZ²

¹Oceansat - Tecnologia Espacial para o Monitoramento Ambiental S/C Ltda.
Av. Rio Branco, 26/7º andar - Centro/Rio de Janeiro/Brasil, 21190-010

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Departamento de Oceanografia e Hidrologia
R. São Francisco Xavier, 524/4026E - Maracanã/Rio de Janeiro/Brasil, 20550-013

* ggus@unisys.com.br

Abstract The aim of this study is to analyze the wind influence on the oceanic surface circulation over Cabo Frio (23°S/42°W) adjacent region and the presence of the upwelling phenomena scenery during 2001 austral summer. A simple index (ITR) to classify the upwelling intensity was established through orbital Sea Surface Temperature data from AVHRR sensor, regarding upwelling area and SST it self. This index was correlated (Spearman) to local wind field average intensity and direction (QUIKSCAT), as well as to the wind components (parallel and longitudinal to the coastline). The preliminary results indicate that the upwelling intensity index (ITR) has significant correlation to the wind intensity and parallel wind component, with 12 and 24 hours before each upwelling condition. The wind direction and longitudinal wind component did not show statistical correlation to ITR.

Key words: upwelling intensity, sea surface temperature, AVHRR, wind, QUIKSCAT, Cabo Frio (23°S/42°W).

1 - Introdução

A ressurgência costeira é uma feição dinâmica importante dentre os processos de circulação sobre a plataforma continental. A compreensão dos efeitos geradores deste fenômeno e suas conseqüências sobre o ecossistema tornam-se cada vez mais necessárias face à crescente atividade humana nesta zona e por ter influência sobre atividades sócio-econômicas importantes como a pesca. Embora representem menos de 1% da superfície total dos oceanos, as áreas de ressurgência, contribuem com 50% do estoque pesqueiro mundial (Rodrigues, 1973), pois este fenômeno atua sobre os próprios mecanismos ecológicos de produção e aumentam a produtividade biológica local (Mesquita *et al.*, 1989).

O mecanismo de geração da ressurgência costeira é, principalmente, associado à resposta da circulação oceânica ao padrão de ventos, que afasta a camada superficial e promove um movimento ascendente junto à costa, caracterizando o clássico Bombeamento de Ekman (Cushman-Rosin *et al.*, 1983). É um fenômeno intrinsecamente físico, que apresenta estruturas de transição (frentes) onde ocorrem feições instáveis entre água de fria ressurgida, rica em sais nutrientes e água quente oligotrófica do oceano aberto.

A distribuição espacial de observações convencionais de dados oceanográficos constitui um problema no monitoramento dos oceanos. Uma alternativa a estas limitações são os dados obtidos através do sensoriamento remoto que podem, por exemplo, estabelecer precisamente a extensão geográfica das células de ressurgência.

O objetivo principal deste estudo é investigar a relação do campo de vento com a circulação oceânica superficial da ressurgência que ocorre no litoral do estado do Rio de Janeiro nas adjacências do Cabo Frio (**Figura 1**). Dentro deste escopo, visa testar uma metodologia para normalizar e classificar os cenários de ressurgência quanto à intensidade, estabelecendo um índice simples (**ITR - Índice Térmico de Ressurgência**) para determinar a intensidade da ressurgência. Pretende-se, também, poder caracterizar a ocorrência do fenômeno desde a Ilha do Cabo Frio até oeste da Ilha Grande, visto que na bibliografia são encontrados relatos que registram cenários somente até a Baía de Guanabara.

Preliminarmente será analisado um único evento de ressurgência durante o verão austral de 2001 (**Tabela 1**). A tecnologia do sensoriamento remoto será utilizada como ferramenta na obtenção dos dados, para caracterizar o campo de vento e os padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM).

2 - Caracterização da área de estudo

A área de interesse da presente investigação consiste na região oceânica limitada a leste pela Ilha do Cabo Frio (23°00'S e 42°00'W) e a oeste pela Ilha Grande (23°10'S e 44°20'W), no Estado do Rio de Janeiro - Brasil (**Figura 1**). Nesta região, ventos de quadrante NE forçam a subida de água fria (Água Central do Atlântico Sul - ACAS) esporadicamente à superfície, formando núcleos de ressurgência freqüentes durante a primavera/verão. A TSM do núcleo destes eventos pode ser até 10°C mais fria do que a água adjacente (Rodrigues & Lorenzetti, 2001) e segundo Torres Jr. (1995) estes cenários estendem-se até a Baía de Guanabara.

A largura da plataforma continental na região do Cabo Frio é de aproximadamente 80Km e concomitante à esta fisiografia, as isóbatas de 50m e 100m estão a 5km e 7km da costa, respectivamente (Valentin & Kempf, 1977; Valentin *et al.*, 1987), ressaltando o forte gradiente batimétrico próximo à costa. A Ilha do Cabo Frio representa um ponto crítico de inflexão na linha de costa, onde há uma brusca mudança no sentido predominante, de NE-SO para E-W. Esta mudança na orientação é bastante peculiar, sendo o único trecho da costa brasileira com uma extensão de dezenas de quilômetros voltado para o Sul.

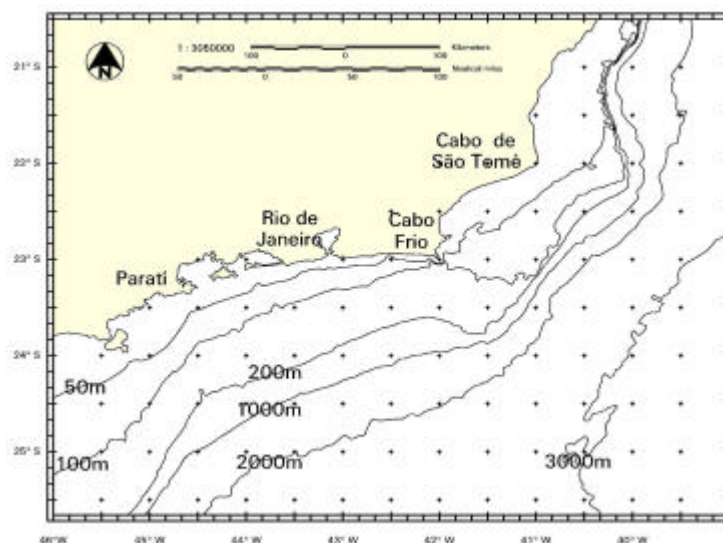


Figura 1 - Batimetria nas proximidades da região do Cabo Frio.

3 - Metodologia

Com a finalidade de normalizar e classificar cada cenário quanto à intensidade de ressurgência, foi estabelecido um índice simples, chamado pelos autores de Índice Térmico de Ressurgência ($ITR=A.DT$). Este índice leva em consideração a área (em km^2) de abrangência do fenômeno e a diferença de temperatura ($\Delta T^{\circ}C$) entre núcleo da ressurgência e região adjacente (**Tabela 1**). A isoterma de $19^{\circ}C$ foi o limite de TSM escolhido para identificar a água ressurgida. Este limite foi baseado na classificação das massas d'água da região da Bacia de Campos utilizado por Tommasi (1994 *apud* Dornelles *et al.*, 1998), que caracteriza a ACAS influenciada pela Água Costeira e Água Tropical entre as temperaturas de $18^{\circ}C$ e $20^{\circ}C$.

Este estudo utilizou imagens orbitais de TSM com resolução de 1,1km, geradas pelo sensor AVHRR a bordo dos satélites NOAA 12 e NOAA 14 (**Figura 2**). Tendo em vista que a nebulosidade constitui um fator limitante na observação da TSM nos intervalos espectrais considerados (infravermelho), foram selecionadas visualmente as 10 melhores imagens sequenciais de janeiro de 2001, sem a presença de nuvens que apresentaram pluma de água fria.

As informações sobre o campo de vento são referentes ao radar escaterômetro QUIKSCAT com resolução temporal de 12 horas. Foram obtidas junto ao Jet Propulsion Laboratory (NASA) dados interpolados com resolução espacial de 50km (**Figura 3**) e junto ao REMSS com resolução espacial de 25km *a long track*. Para cada imagem, foram geradas médias dos valores de intensidade (m/s) e direção do vento da região $22^{\circ}S/45^{\circ}W$ e $25^{\circ}S/41^{\circ}W$, sendo as componentes (u,v) geradas a partir destes vetores médios.

Com a intenção de avaliar a influência qualitativa do vento sobre o ITR, os valores da área, de temperatura da água ($\Delta T^{\circ}C$) e os dados de intensidade e direção médias do campo de vento, bem como as componentes paralelas (u) e longitudinais (v) à linha de costa, foram tabulados a cada 12 horas, em períodos de 0 a 14 dias antes de cada imagem (**Tabela 2**). Aplicou-se, então, o teste de correlação não-paramétrica (Spearman) somente na série de 6 imagens do período da manhã. A exclusão das imagens vespertinas ocorreu devido às temperaturas nestas imagens sofrerem um aquecimento em torno de $1^{\circ}C$ em relação às matutinas, influenciando a determinação dos limites utilizados.

Tabela 1 - Data e hora das imagens com ressurgência, área e diferença de TSM utilizadas para calcular o Índice Térmico de Ressurgência e classificar a intensidade da ressurgência.

INTENSIDADE DA RESSURGÊNCIA				
Data	Hora	ÁREA	$\Delta T^{\circ}C$	ITR
2001	GMT	Km^2	< $19^{\circ}C$	ÁREA x $\Delta T^{\circ}C$
14 jan	7:32	118	1,5	177
15 jan	7:12	311	1,5	467
16 jan	7:00	1239	3,5	4336
16 jan	19:32	772	3,5	2702
17 jan	6:49	2180	3,5	7631
17 jan	19:21	888	1,5	1332
18 jan	7:40	2423	3,5	8482
18 jan	20:06	1139	1,5	1708
19 jan	7:17	2330	2,5	5824
19 jan	19:43	726	1,5	1089

Tabela 2 - Data e hora das imagens matutinas com ressurgência, dados de intensidade e direção médias do campo de vento e componentes paralelas e longitudinais, utilizados na correlação.

VENTO		Tempo Inicial (T_0)				Tempo - 12 horas (T_1)				Tempo - 24 horas (T_2)			
Data	Hora	Intensidade	Direção	Componente		Intensidade	Direção	Componente		Intensidade	Direção	Componente	
2001	zulu	m/seg	graus	v	u	m/seg	graus	v	u	m/seg	graus	v	u
14	jan 7:32	7,41	62,30	-3,24	-6,55	8,14	71,53	-2,51	-7,70	6,68	68,95	-2,76	-5,58
15	jan 7:12	6,98	64,70	-2,89	-6,24	8,04	84,53	-1,08	-7,73	7,41	62,30	-3,24	-6,55
16	jan 7:00	8,34	64,85	-3,84	-7,17	8,13	71,10	-2,85	-7,51	6,98	64,70	-2,89	-6,24
17	jan 6:49	7,82	63,54	-3,45	-6,86	7,34	75,28	-4,06	-5,70	8,34	64,85	-3,84	-7,17
18	jan 7:40	7,64	60,30	-3,84	-6,53	7,31	59,56	-3,79	-6,19	7,82	63,54	-3,45	-6,86
19	jan 7:17	7,63	51,12	-4,84	-5,85	7,49	56,43	-4,18	-6,17	7,64	60,30	-3,84	-6,53

4 - Resultados e Discussão

Pode-se observar através dos resultados da relação estatística, que a intensidade da ressurgência possui correlação significativa ($p \leq 0,05$) com a intensidade do vento e a componente paralela (u), nas 12 e 24 horas que antecedem cada imagem. No caso da direção do vento e da componente longitudinal (v), não foram observadas correlações com significância estatística.

A intensidade da ressurgência determinada pelo ITR será comparada, em todos os outros cenários referentes a 2001, a um segundo índice obtido junto à bibliografia (Kuo *et al.*, 2000). Este outro índice, considera a perda de calor na região de ressurgência através da relação $Q = C_p \cdot S \cdot (D \cdot T \cdot d \cdot A)$, onde: **Q**= total de calor perdido; **C_p**= calor específico da água; **DT**= variação da temperatura do núcleo da ressurgência em relação ao limite externo; **d**= profundidade da camada de Ekman e **A**= área de abrangência do cenário. O intuito desta metodologia é demonstrar a capacidade de obter informações passíveis de normalizar a intensidade da ressurgência através somente de dados orbitais.

5 - Conclusões

As imagens de TSM ilustraram claramente um cenário de ressurgência no litoral do estado do Rio de Janeiro nas adjacências do Cabo Frio, inclusive com núcleos a oeste da Baía de Guanabara. Foi observado a evolução desde o surgimento até o início de seu recuo, talvez causado por um processo de subsidência. A análise das imagens orbitais associada ao tratamento estatístico, demonstraram a existência de uma relação entre o campo de vento e a circulação oceânica superficial desta ressurgência.

Os resultados indicaram que a intensidade do vento associada à componente paralela (u), são os principais fatores a afastar a camada superficial e promover o movimento ascendente de água junto à costa. O Bombeamento de Ekman apresenta então, um importante papel na geração do fenômeno de ressurgência na região adjacente ao Cabo Frio.

Vale ressaltar que este estudo preliminar está em fase final de testes e pesquisa bibliográfica sobre os temas envolvidos. Faz parte do relatório final de Estágio Orientado II apresentado do curso de graduação em Oceanografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, como requisito para obtenção do bacharel em Oceanografia.

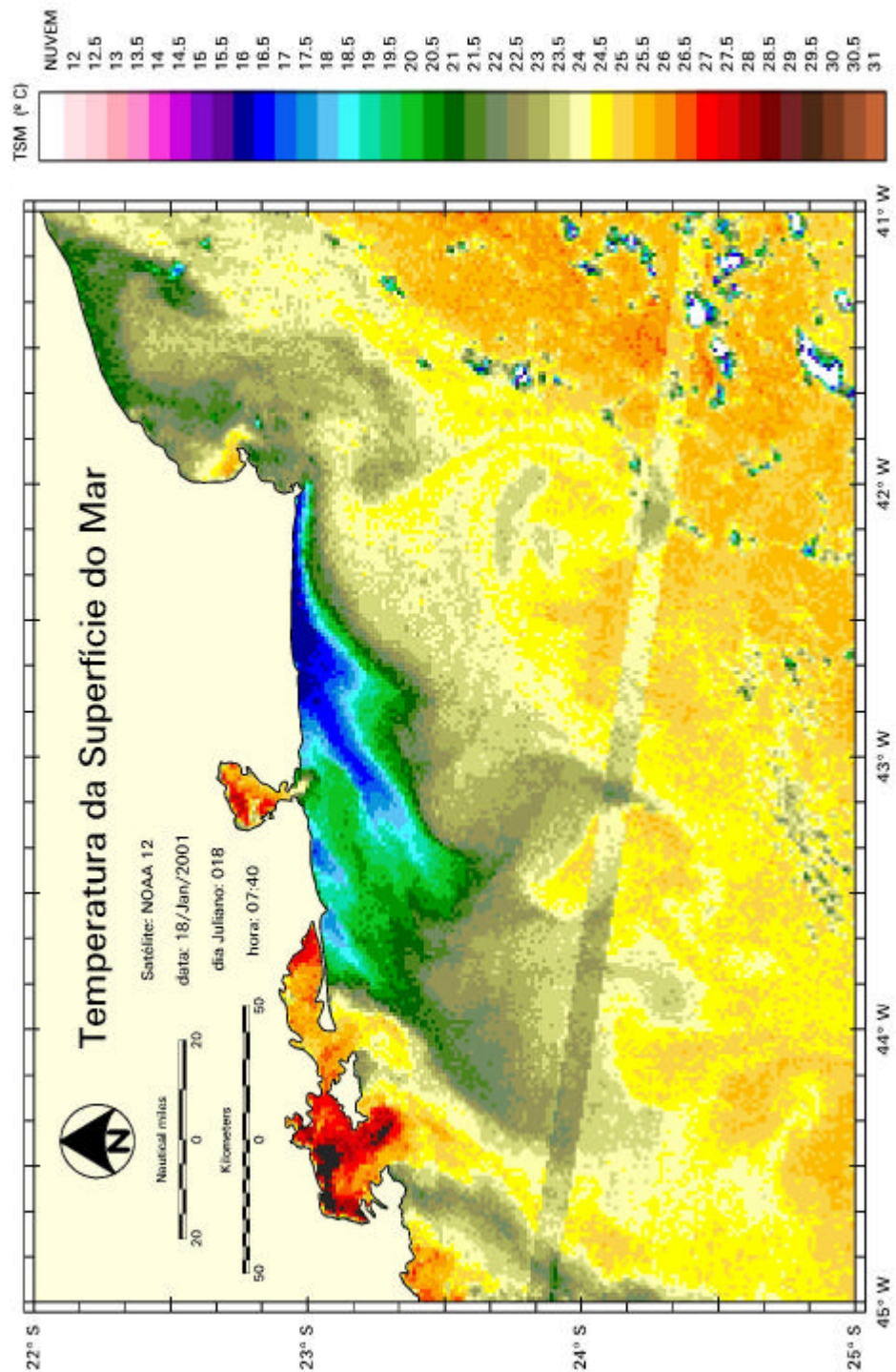


Figura 2 - Carta-imagem de TSM construída a partir de dados AVHRR/NOAA, mostrando um dos cenários matutinos de ressurgência na região de interesse.

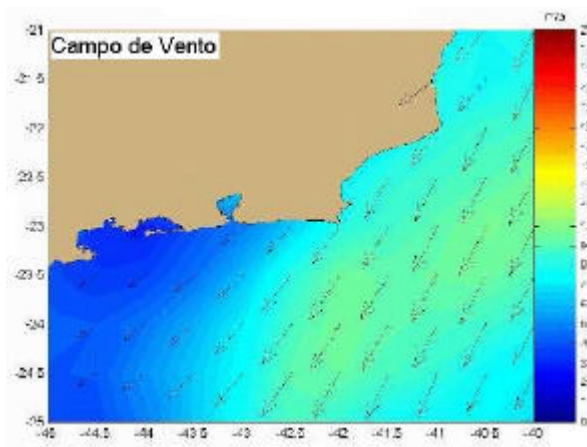


Figura 3 - Imagem QUIKSCAT indicando a intensidade (m/s) e direção do vento.

6 - Agradecimentos

O primeiro autor deixa registrado seus sinceros agradecimentos aos outros autores pela orientação recebida. Agradece também à UERJ pela formação acadêmica e à Oceansat pelo apoio e infra-estrutura utilizada no desenvolvimento deste estudo.

7 - Referências

- Cushman-Rosin, B.; O'Brien J.J. & Smith, R.L.. 1983. Notes and correspondence: On wind and ocean-velocity correlations in a coastal-upwelling system. *Journal of Physical Oceanography*, 13(3): 547-550.
- Dornelles, L.M.A.; Anjos, S.M.C.; Ribeiro, E.O. & Lanzillotta, H.A.A.. 1998. Mineralogy of suspended matter and its Association with the water masses of the continental shelf near Cabo Frio, RJ-Brazil. *Academia Brasileira de Ciências*, 70(2): 303-312.
- Kuo, N-J.; Zheng, Q. & Ho, C-R.. 2002. Satellite observation of upwelling along the western coast of the South China Sea. *Remote Sensing of Environment*, 74: 463-470.
- Mesquita, A.R.; Leite, J.B.A. & Rizo, R.. 1989. Patterns of instability in a region of shelf break upwelling. *Proc.Suiec v2*: 425-436.
- Rodrigues, R.F.. 1973. Upwelling at Cabo Frio (Brazil). Dissertação de Mestrado, Naval Postgraduate School Monterey, California, 89p.
- Rodrigues, R.F.. 1977. Evolução da massa d'água durante a ressurgência de Cabo Frio. *Publicações do Instituto de Pesquisa da Marinha*, 115: 1-31.
- Rodrigues, R.R. & Lorenzetti, J.A. 2001. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the southeast Brazilian coastal upwelling. *Continental Shelf Research*, 21: 371-394.
- Torres Jr., A.R.. 1995. Resposta da ressurgência costeira de Cabo Frio a forçantes locais, Dissertação de Mestrado, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 143p.
- Valentin, J.L. & Kempf, M.. 1977. Some characteristics of the Cabo Frio upwelling (Brazil). *Coastal Upwelling Ecosystem Analysis*, 6(2): 18-21.
- Valentin, J.L.; André, D.L. & Jacob, S.. 1987. Hydrobiology in the Cabo Frio (Brazil) upwelling: two-dimensional structure and variability during a wind cycle. *Continental Shelf Research*, 7(1): 77-88.