

ESTUDO DE CASO DE DUAS CONDIÇÕES HIDROGRÁFICAS EM ARRAIAL DO CABO COM VENTOS PREDOMINANTES DE SUDOESTE E NORDESTE

Case Study of Two Hydrographic Conditions in Arraial do Cabo under
Different Prevailing Winds: Southwesterly and Northeasterly

Sandro Vianna Paixão¹, Belmiro Mendes Castro², Serafim Barbosa de Sousa Júnior³

Resumo: Com a finalidade de estudar as condições hidrográficas nas enseadas de Arraial do Cabo (EAC) em regimes distintos de ventos predominantes, tanto de Sudoeste quanto de Nordeste, foram amostrados dados hidrográficos quase sinóticos com o emprego de *Conductivity, Temperature and Depth* (CTD) nessa localidade, em dois cruzeiros. Dados de vento local também foram utilizados. Para obtenção das distribuições horizontais e verticais de temperatura, salinidade e densidade, foi aplicado o método da Análise Objetiva. Em 24/09/2009, as águas das EAC estavam em processo de homogeneização, sendo constatada a quase homogeneidade das águas situadas na porção sul da enseada, em decorrência do vento Sudoeste. No dia 20/12/2010, as EAC apresentavam-se em processo de estratificação das águas, com o vento predominante soprando de Nordeste a partir de 16/12/2010, corroborando o modelo conceitual para a circulação gerada pelo vento na Plataforma Continental Sudeste do Brasil (PCSE), de Castro (1996).

Palavras-chave: Cabo Frio. Análise Objetiva. Estratificação. Ventos.

Abstract: In order to study the hydrographic conditions in the Arraial do Cabo bays (ACB), under two different wind regimes, Southwesterly and Northeasterly, nearly synoptic hydrographic data with the use of Conductivity, Temperature and Depth (CTD) were obtained during two cruises. Local wind data were also used in the analysis. Horizontal and vertical distributions of temperature, salinity and density were obtained using the objective analysis method. On September 24th, 2009, the ACB waters were in the process of homogenization, being the waters almost homogeneous in the southern portion of the bay, due to the Southwesterly wind. On December 20th, 2010, the ACB were in the process of water stratification due to Northeasterly winds that blew from December 16th, 2010, confirming the conceptual model for the wind forced circulation in the South Brazil Bight (SBB) suggested by Castro (1996).

Keywords: Cabo Frio. Objective Analysis. Stratification. Winds.

1. Mestre em Oceanografia Física pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - São Paulo, SP - Brasil. Capitão-de-Fragata, Militar pesquisador do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira - Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: sandro@ieapm.mar.mil.br

2. Doutor em Oceanografia Física e Meteorologia pela Universidade de Miami - Miami, FL - Estados Unidos da América. Professor Titular do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - São Paulo, SP - Brasil. E-mail: bmcastro@usp.br

3. Mestre em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - São José dos Campos, SP - Brasil. Primeiro Tenente (RM2-T), Militar pesquisador do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira - Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: serafim@ieapm.mar.mil.br

1. INTRODUÇÃO

O município de Arraial do Cabo é um importante polo turístico e pesqueiro do Estado do Rio de Janeiro. Entre a cidade de Arraial do Cabo e a ilha do Cabo Frio, estão situadas as enseadas de Arraial do Cabo (EAC), compreendidas entre as latitudes 22° 57,7'S e 23° 00,19'S e longitudes 041° 58,7'W e 042° 01,2'W, localizadas na extremidade leste da Plataforma Continental Sudeste do Brasil (PCSE). A batimetria das EAC apresenta como principais características regiões rasas, com ligeiro aumento da profundidade nas proximidades do Boqueirão, na porção centro-sul. Entre a ilha dos Porcos e a ilha do Cabo Frio, são observadas as maiores profundidades, que chegam a alcançar 48 m. As EAC não possuem aporte natural de água doce significativo e apresentam características físicas singulares, com a passagem natural e restrita das correntes da plataforma continental adjacente entre as porções nordeste e sudoeste.

De acordo com Castro (1996), que cita os estudos efetuados por Emílsson (1961), Miranda (1982; 1985), e Miranda e Katsuragawa (1991), as massas de água que ocupam a PCSE, em geral, são resultantes da mistura entre a Água Tropical (AT), a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e a Água Costeira (AC).

Conforme Branco (2000), que realizou experimento entre os dias 8 de julho e 9 de setembro de 1999, na Enseada dos Anjos, em Arraial do Cabo, com fundeio de um *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) na posição geográfica de latitude 22° 59,861'S e longitude 042° 00,664'W, a uma profundidade de 23 m no Boqueirão, na porção mais ao sul das EAC, as correntes no Boqueirão apresentam, basicamente, duas direções, NE e SW, que são alternadas de acordo com o período de maré semidiurna, ou seja, a água entra ou sai pelo canal de acordo com a maré local. De acordo com o autor, esse sistema é alterado pela passagem de frentes frias e pela intensificação do anticiclone do Atlântico Sul.

O objetivo geral deste trabalho é comparar as condições hidrográficas nas EAC na época de realização de dois cruzeiros oceanográficos, com ocorrência de ventos predominantes de Sudoeste e de Nordeste.

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

Os trabalhos de campo englobaram dois cruzeiros oceanográficos realizados no período compreendido entre 13h00

e 16h00 do dia 24/09/2009 e entre 13h54 e 16h50 do dia 20/12/2010, ambos com emprego da Lancha de Emprego Geral (LEG) do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). No cruzeiro de 24/09/2009, foi utilizado um CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*) para perfilagem vertical dos campos de temperatura e de salinidade em 23 estações oceanográficas, enquanto que, no dia 20/12/2010, foi empregado o mesmo equipamento em 21 estações. A disposição das estações e a batimetria das EAC podem ser observadas na Figura 1. Para o gradeamento vertical dos campos termohalinos, foram criadas grades retangulares em quatro radiais e foi aplicado o método da Análise Objetiva (AO) *a priori*. O gradeamento horizontal dos campos termohalinos utilizou uma grade curvilínea delimitada pelos extremos norte e sul da enseada e pela costa, com resolução de 50x50 pontos. O método da AO *a priori* foi novamente utilizado na interpolação dos campos. Dados de chuva e de vento local para os dois períodos foram obtidos por meio da Estação Meteorológica de Superfície Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situada em Arraial do Cabo, na latitude 22° 58,56'S e longitude 042° 01,27'W. Também foram calculadas as tensões de cisalhamento da componente do vento quase paralelo à costa (NE-SW) e os impulsos do vento quase paralelo à costa (NE-SW) para determinados períodos que antecederam as respectivas campanhas, conforme sugerido por Csanady (1982). Neste estudo, foi empregada a mesma metodologia utilizada por Paixão (2008).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o cruzeiro de 24/09/2009, realizado durante a ocorrência de ventos de sudoeste, observa-se que a temperatura medida aos 2 m apresentou os maiores valores, da ordem de 20°C, na porção centro-sul das enseadas, enquanto que, no dia 20/12/2010, com ventos de nordeste, a temperatura medida aos 2 m apresentou os maiores valores, da ordem de 27,5°C, nas proximidades da praia dos Anjos; nas demais regiões das EAC, observa-se o caráter quase homotérmico das águas nesse mesmo nível, com os valores da temperatura na ordem de 25,5°C. As distribuições horizontais de temperatura aos 2 m nos dias 24/09/2009 e 20/12/2010 podem ser observadas na Figura 2.

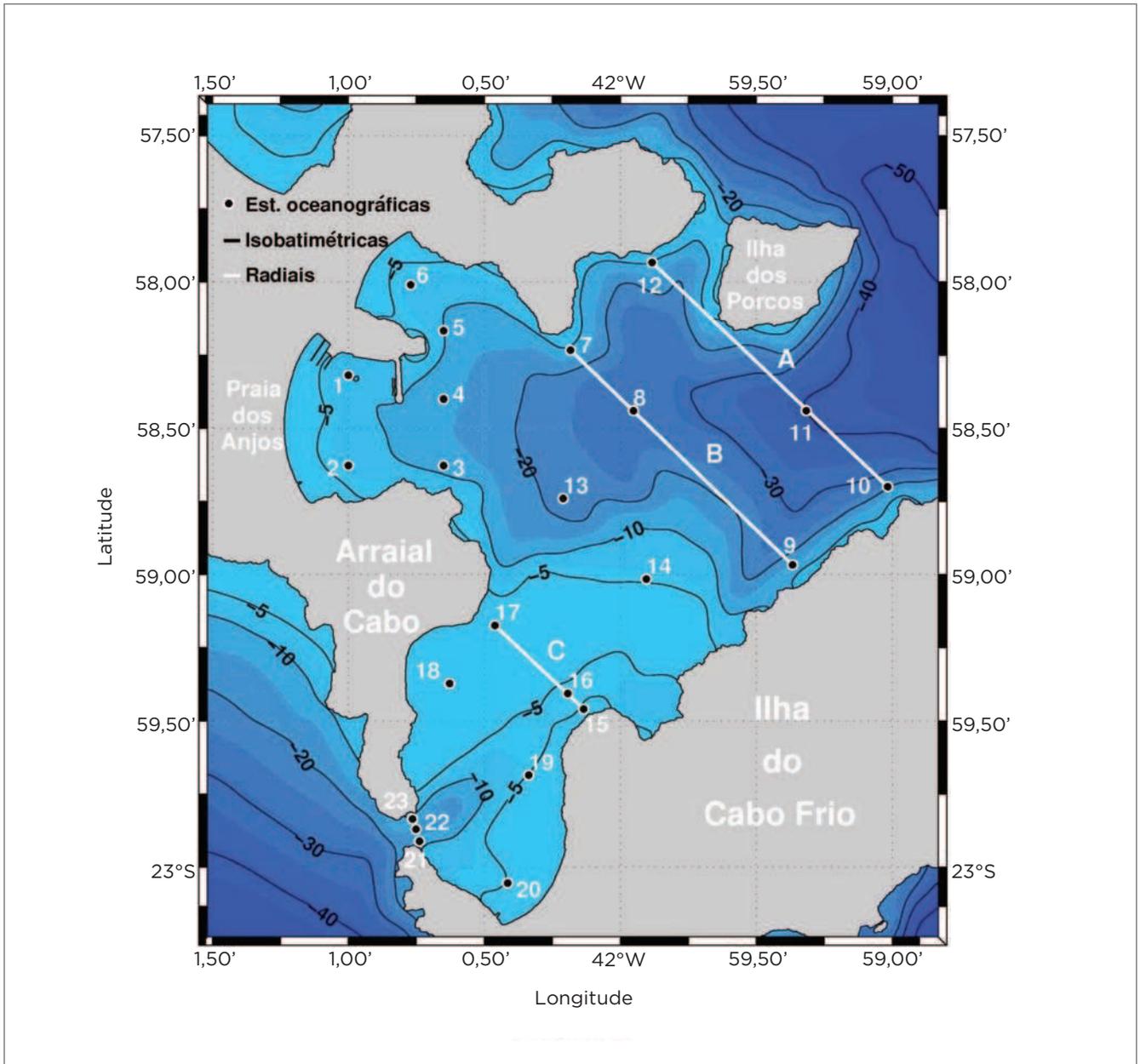


Figura 1. Grade amostral e batimetria (m) nas enseadas de Arraial do Cabo. Para o cruzeiro de 20/12/2010, as estações oceanográficas de nº 21 e 23 não foram realizadas.

Na distribuição horizontal de salinidade aos 2 m, em 24/09/2009, constata-se pequena variação dos valores, entre 35,2 e 35,8, enquanto que, no dia 20/12/2010, constata-se variação entre 34,4 e 35,5, com os menores valores observados nas proximidades da praia dos Anjos. As distribuições horizontais de salinidade aos 2 m nos

dias 24/09/2009 e 20/12/2010 podem ser observadas na Figura 3.

Para os cruzeiros de 24/09/2009 e 20/12/2010, as distribuições horizontais de densidade σ_t aos 2 m apresentaram configurações semelhantes às respectivas distribuições de salinidade. No cruzeiro de 24/09/2009, os menores

valores de σ_t , da ordem de $25,2 \text{ kg/m}^3$, foram observados na porção central das EAC, enquanto que, no dia 20/12/2010, os menores valores, da ordem de $22,2 \text{ kg/m}^3$, foram obtidos nas proximidades da praia dos Anjos. As distribuições horizontais de σ_t aos 2 m nos dias 24/09/2009 e 20/12/2010 podem ser observadas na Figura 4.

O mapa de erro de interpolação das distribuições horizontais e verticais das propriedades físicas da água do mar nas EAC, que é função da distribuição das estações relativas à grade e ao erro amostral considerado e representa uma eficiente ferramenta para avaliação da confiabilidade dos mapas gerados, conforme Calado (2006), foi obtido para os dois cruzeiros, sendo o maior valor, de 3,2%, calculado para a região situada entre as estações 11 e 12, nas distribuições verticais dos campos termohalinos na Radial A, situada na porção norte das enseadas.

Para as distribuições verticais de temperatura na Radial A, observa-se que, nos dias 24/09/2009 e 20/12/2010, a temperatura apresentou-se estratificada, com valores entre $13,7$ e $19,6^\circ\text{C}$ e $17,4$ e $25,5^\circ\text{C}$, respectivamente, como pode ser observado na Figura 5.

Nos dias 24/09/2009 e 20/12/2010, para as distribuições verticais de salinidade na Radial A, observa-se na Figura 6 que as mesmas não apresentaram um padrão bem definido.

Na Radial A, para os dois cruzeiros, a principal característica da distribuição vertical de σ_t é a semelhança com as respectivas distribuições de temperatura, como pode ser visualizado na Figura 7.

Para o vento local obtido por meio da Estação Meteorológica de Superfície Automática do INMET, situada em Arraial do Cabo, constata-se que, a partir das 19h00 do dia 20/09/2009, o vento soprou de SE e, a partir das 08h00 do dia 22/09 até as 20h00 do dia 23/09, soprou de NE, com intensidade entre 2,7 e 6,4 m/s. Posteriormente, o vento foi predominantemente de SW até o término da coleta de dados oceanográficos, com magnitude que variou entre 2,9 e 5,6 m/s, como pode ser observado na Figura 8. Ressalta-se que a estação do INMET não coletou dados no período noturno entre os dias 20 e 24/09/2009. No período entre 08h00 e 12h00 do dia 24/09/2009, a chuva acumulada foi de 1,8 mm. Para o período de 6 horas de vento de

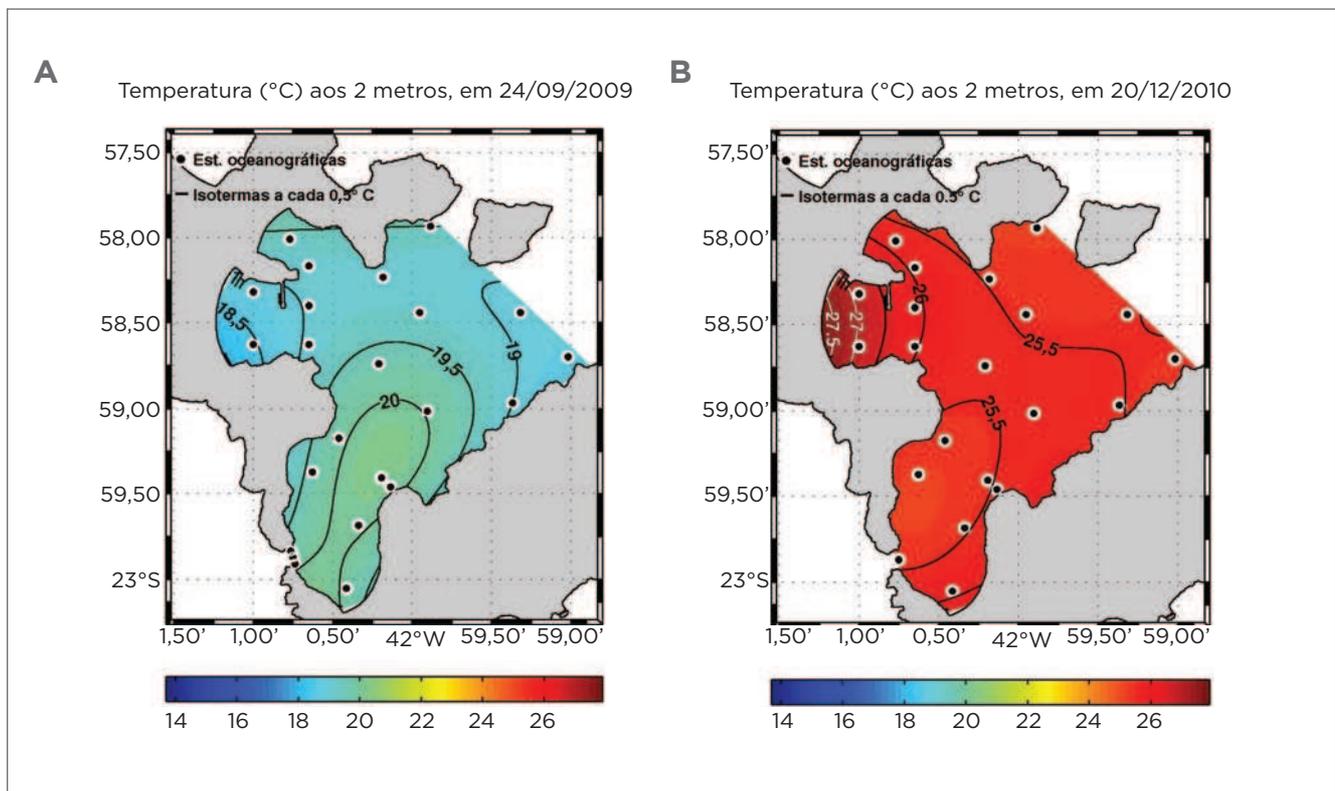


Figura 2. Distribuição horizontal de temperatura ($^\circ\text{C}$) aos 2 m nas enseadas de Arraial do Cabo, em 24/09/2009 (A) e em 20/12/2010 (B).

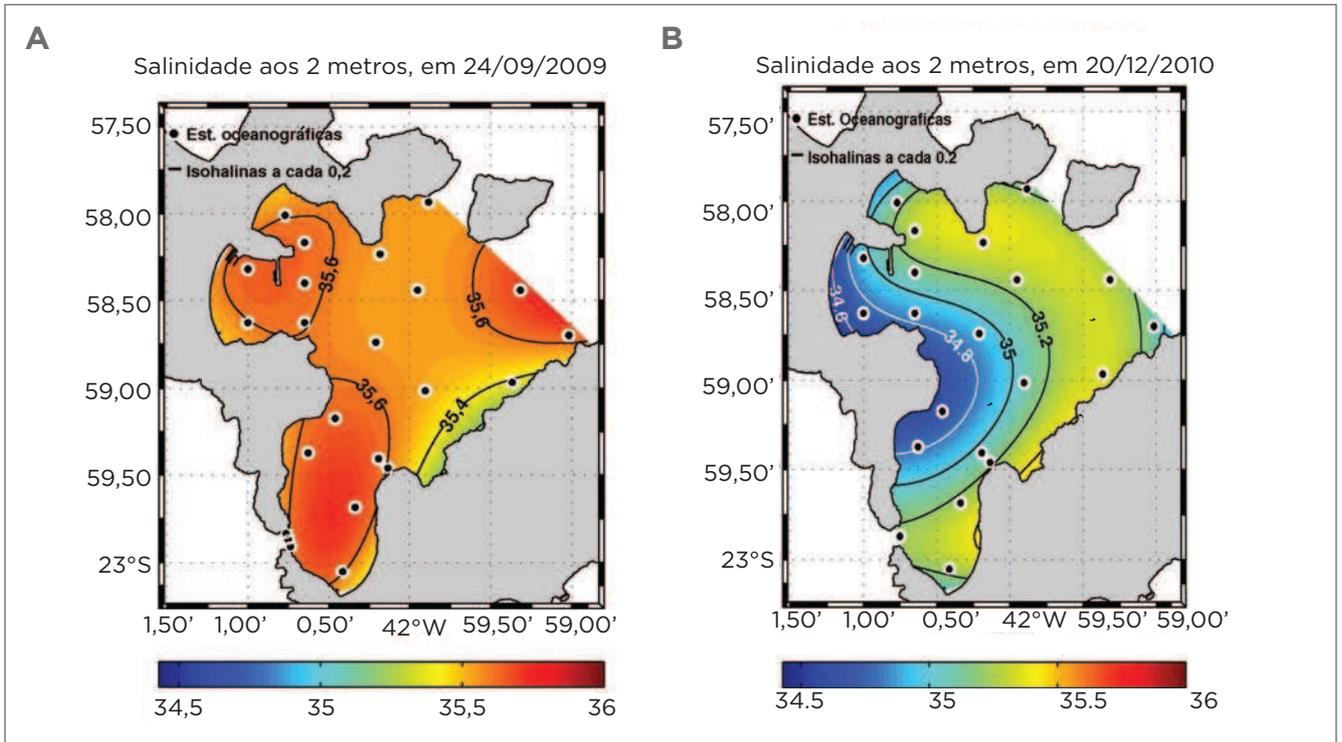


Figura 3. Distribuição horizontal de salinidade aos 2 m nas enseadas de Arraial do Cabo, em 24/09/2009 (A) e em 20/12/2010 (B).

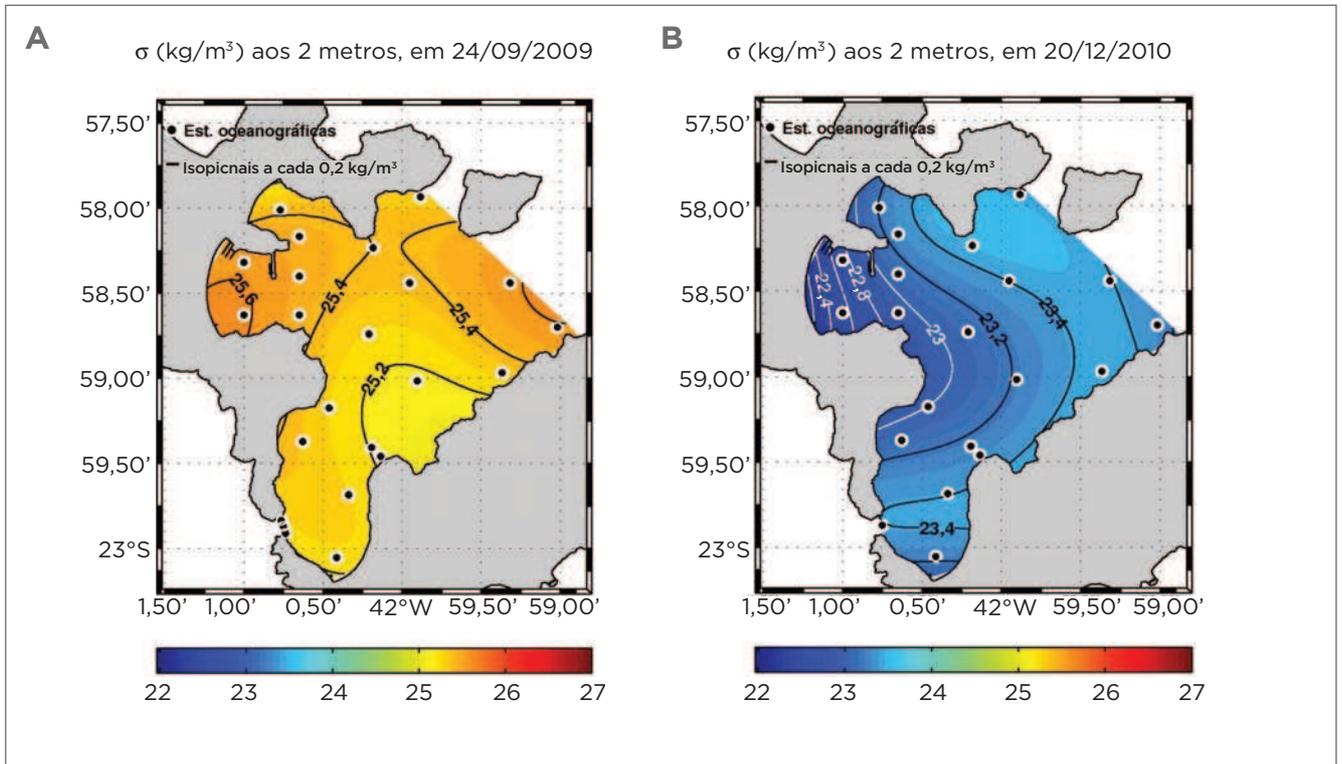


Figura 4. Distribuição horizontal de σ_t (kg/m^3) aos 2 m nas enseadas de Arraial do Cabo, em 24/09/2009 (A) e 20/12/2010 (B).

SW que imediatamente antecederam a campanha, o impulso do vento foi de 16,26 kg/ms.

Para o cruzeiro de 20/12/2010, a análise do vento local mostrou que o mesmo foi predominantemente de NE entre os dias 16 e 20/12/2010, com intensidade média de 6,2 m/s,

sendo que, durante a coleta de dados, o vento foi de NE, com intensidade média de 5,2 m/s. As medições do vento local para esse cruzeiro podem ser visualizadas na Figura 9.

Para o período de 120 horas que imediatamente antecederam a campanha, o impulso do vento foi de 699,61 kg/ms para NE.

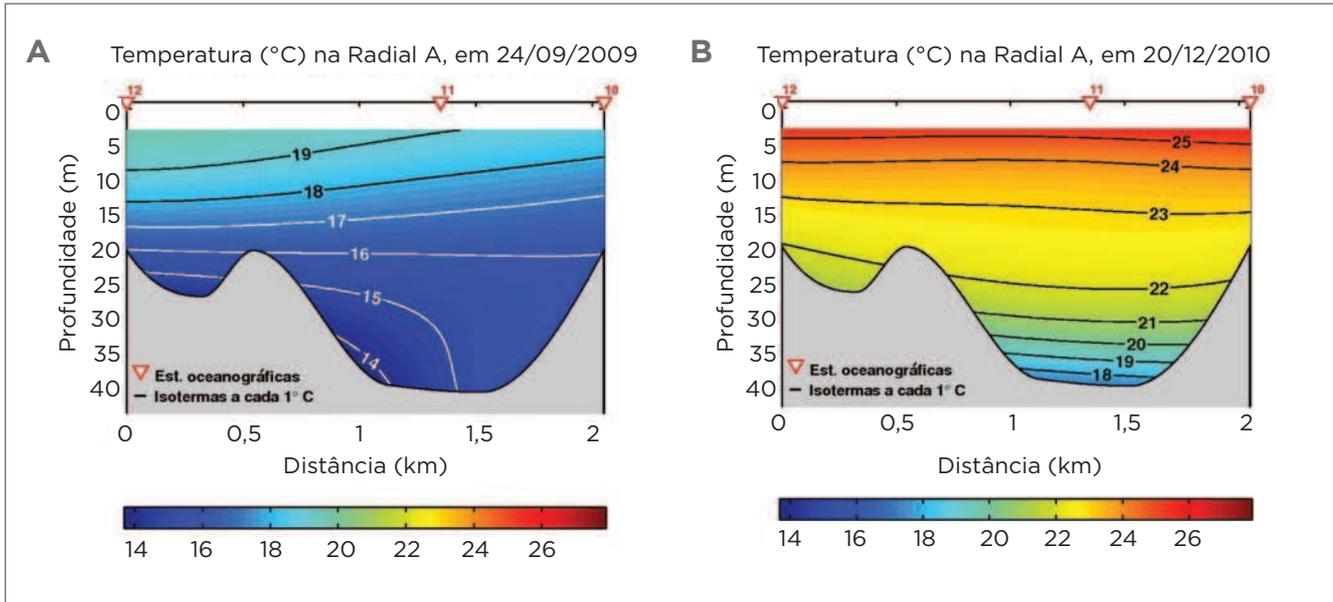


Figura 5. Distribuição vertical de temperatura (°C) na Radial A (situada na porção norte das enseadas de Arraial do Cabo), com vista de sul, em 24/09/2009 (A) e em 20/12/2010 (B).

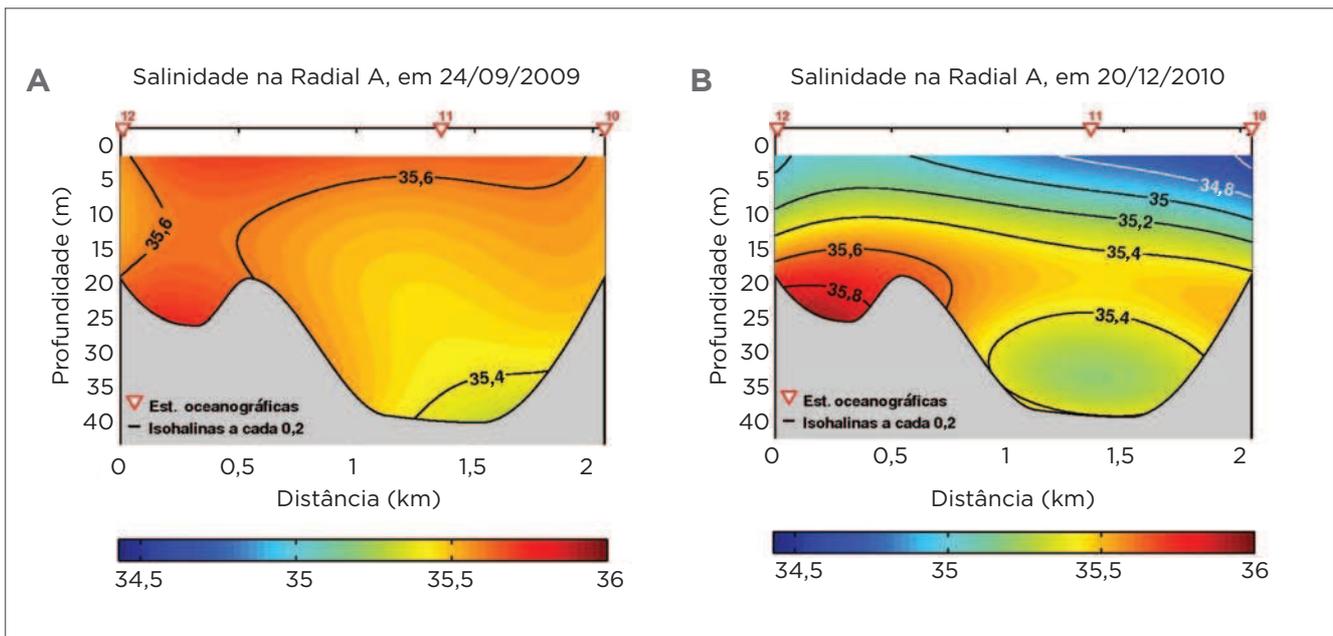


Figura 6. Distribuição vertical de salinidade na Radial A (situada na porção norte das enseadas de Arraial do Cabo), com vista de sul, em 24/09/2009 (A) e em 20/12/2010 (B).

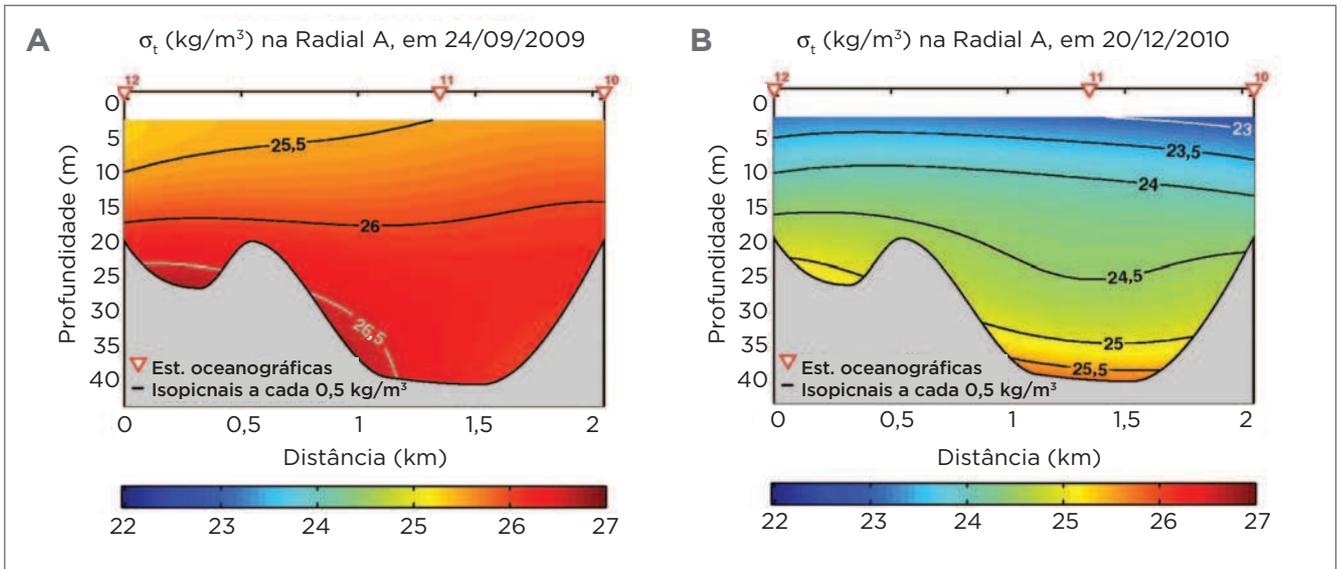


Figura 7. Distribuição vertical de σ_t (kg/m³) na Radial A (situada na porção norte das enseadas de Arraijal do Cabo), com vista de sul, em 24/09/2009 (A) e em 20/12/2010 (B).

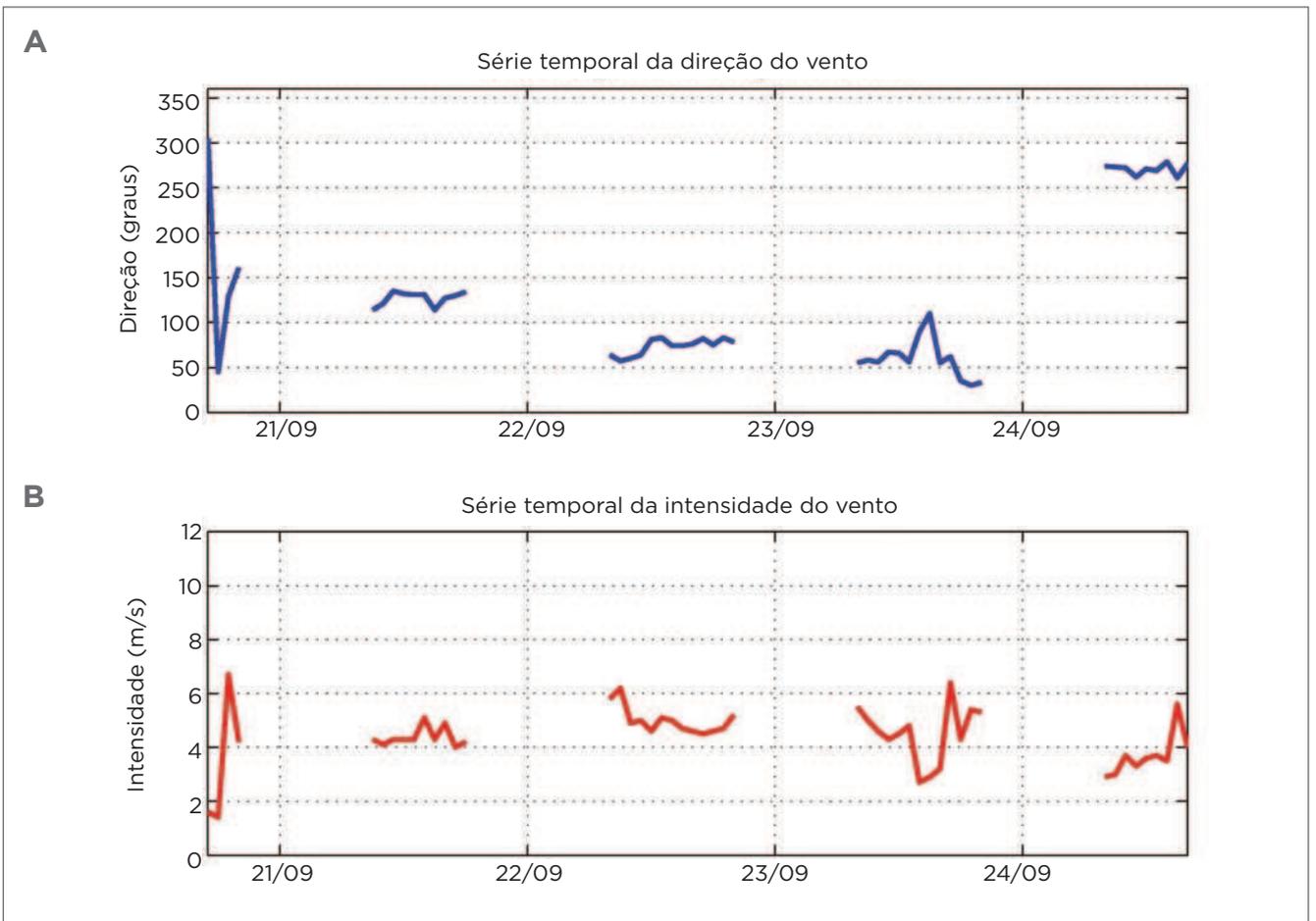


Figura 8. Série temporal da direção (°) (A) e intensidade (m/s) (B) do vento local obtido pela estação do Instituto Nacional de Meteorologia, no período entre as 19h00 do dia 20/09 e as 16h00 do dia 24/09/2009.

No dia 20/12/2010, foi observado lançamento de esgoto *in natura* na praia dos Anjos, por ocasião da coleta de dados oceanográficos. As condições hidrográficas das EAC obtidas para esse cruzeiro apontam para esse lançamento de esgoto como o responsável pelas observações, no nível de 2 m, de maiores temperaturas, menores salinidades e menores densidades da água do mar nas adjacências da praia dos Anjos em relação às demais regiões das EAC.

No intuito de realizar investigação mais detalhada sobre essa ocorrência, constata-se que o lançamento de esgoto *in natura* na praia dos Anjos ocorre esporadicamente com o transbordamento do canal de esgoto e dreno pluvial da cidade, devido, principalmente, ao aumento da ocupação litorânea em feriados ou férias ou devido às fortes chuvas, conforme Savi (2003).

A estação do INMET não registrou chuva no dia da coleta. No entanto, o acumulado de chuva entre as 20h00 do dia 13/12 e as 05h00 de 14/12/2010 foi de 35,4 mm e a chuva acumulada entre as 21h00 e 24h00 do dia 14/12/2010 foi de 42,4 mm. Nesses dois períodos, o vento predominante foi de SW, com intensidade de até 4,0 m/s. O impulso do vento quase paralelo à costa entre as 20h00 de 13/12 e as 16h00 de 15/12/2010 foi de 18,76 kg/ms para SW e de 5,24 kg/ms para NE, resultando em 13,52 kg/ms para SW para o período considerado.

A divulgação por meio de boletins da qualidade das águas das praias de Arraial do Cabo para balneabilidade, realizada pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), nos dias 15 de dezembro de 2010 e 5 de janeiro de 2011, indicou que a praia dos Anjos não foi recomendada ao banho de mar nesse último dia.

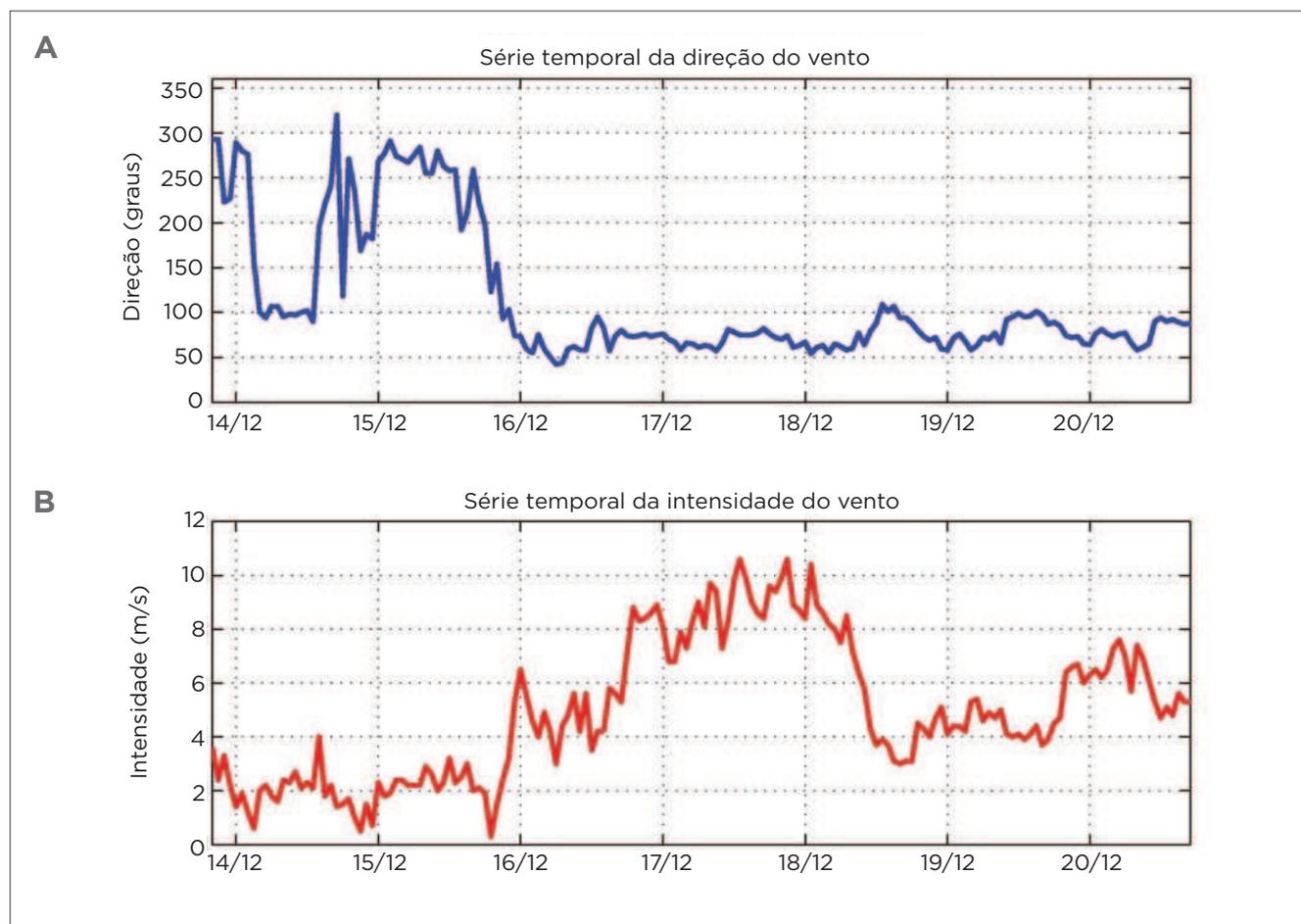


Figura 9. Série temporal da direção (°) (A) e intensidade (m/s) (B) do vento local obtido pela estação do Instituto Nacional de Meteorologia, no período entre as 20h00 do dia 13/12 e as 17h00 do dia 20/12/2010.

Reportagem do jornal Extra, publicada em 05/01/2011, sobre a “língua negra” da praia dos Anjos, informa que a administração municipal desviou o esgoto para essa praia durante 20 dias em função da queima de bombas que levariam os dejetos para estações de tratamento.

4. CONCLUSÕES

Constata-se que, no cruzeiro de 24/09/2009, com ventos de SW, as enseadas de Arraial do Cabo apresentavam-se em processo de homogeneização das águas a partir da porção sul, no Boqueirão, enquanto que, no cruzeiro de 20/12/2010, com ventos predominantes de NE, essa localidade estava em processo de estratificação das águas, corroborando os resultados do modelo conceitual para a circulação gerada pelo vento na PCSE, de Castro (1996), haja vista que os ventos de SW sopraram com intensidade média de 3,7 m/s, com rajadas de até 14,3 m/s, no dia 24/09/2009, e os ventos de NE sopraram com magnitude média de 6,2 m/s, com rajadas de até 16,5 m/s, desde 16/12/2010.

Para o cruzeiro de 24/09/2009, a estratificação observada nas águas relativamente mais frias da porção norte da enseada pode ser consequência da predominância dos ventos oriundos entre N-NE e SE, que sopraram no período de 20 a 23/09/2009 nessa localidade e proporcionaram a intrusão da ACAS nas EAC, enquanto que a estratificação observada nessa mesma porção das enseadas em 20/12/2010 poderia ter ocorrido em função de o vento ter soprado de NE a partir de 16/12/2010.

A chuva, com acúmulo de 77,8 mm entre os dias 13 e 14/12/2010, está associada à presença de um sistema

de baixa pressão situado na costa do Rio de Janeiro nesse período, com os ventos predominantes de SW. Essa chuva e a queima de bombas de esgoto do município que levariam os dejetos para estações de tratamento contribuíram para a elevação do nível do canal de esgoto e dreno pluvial da cidade, e houve a abertura desse canal para a praia dos Anjos, o que pode justificar a observação de águas mais quentes, menos salinas e menos densas nas proximidades dessa praia quando comparadas com as demais regiões das EAC por ocasião da coleta dos dados oceanográficos. A precipitação que ocorreu em 24/09/2009, com o acúmulo de 1,8 mm entre 08h00 e 12h00 não foi suficiente para apresentar alterações significativas nas configurações dos campos termohalinos para o cruzeiro realizado nesse dia.

Constata-se, também, que o impulso do vento quase paralelo à costa para o período de 120 horas que imediatamente antecederam a campanha de 20/12/2010 foi de 699,61 kg/ms para NE, sendo suficiente para estratificar as águas das EAC, enquanto que, no cruzeiro de 24/09/2009, o impulso do vento de SW para o período de 6 horas que imediatamente antecederam essa campanha, de 16,26 kg/ms, contribuiu para o curso do processo de homogeneização das águas a partir da porção sul das EAC.

5. AGRADECIMENTOS

Ao IEAPM, pela oportunidade de realizar as medições nas EAC no âmbito do Projeto-Piloto CirculAC, e a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BRANCO, F.V. *Análise de dados de circulação (enseada dos Anjos – Arraial do Cabo – RJ) com base nos dados de perfilador acústico doppler de correntes (ADCP)*. 50p. Monografia (Bacharelado em Oceanografia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

CALADO, L. *Dinâmica da interação da atividade de meso-escala da Corrente do Brasil com o fenômeno de ressurgência*

costeira ao largo de Cabo Frio e Cabo de São Tomé, RJ. 159p. Tese (Doutorado em Oceanografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CASTRO, B.M. *Correntes e massas de água da plataforma continental norte de São Paulo*. 248p. Tese (Livre-Docência em Oceanografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CSANADY, G.T. On the structure of transient upwelling events. *Journal of Physical Oceanography*, v. 12, p. 84-96, 1982.

EMÍLSSON, I. The shelf and coastal waters off Southern Brazil. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, v. 11, n. 2, p. 101-112, 1961.

MIRANDA, L.B. *Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: de Cabo de São Tomé (RJ) à Ilha de São Sebastião (SP)*. 194p. Tese (Livre-Docência em Oceanografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

MIRANDA, L.B. Forma da correlação T-S de massas de água das regiões costeira e oceânica entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP). *Boletim do Instituto Oceanográfico*, v. 33, n. 2, p. 105-119, 1985.

MIRANDA, L.B.; KATSURAGAWA, M. Estrutura térmica na região sudeste do Brasil (outubro/novembro de 1988). *Publicação Especial do Instituto Oceanográfico*, v. 8, p. 1-14, 1991.

PAIXÃO, S.V. *Transporte de volume e condições hidrográficas no Canal de São Sebastião*. 188p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SAVI, D.C. *Efeito da construção de um quebra-mar sobre os processos morfodinâmicos e sedimentares na Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ*. 107p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.