

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS CORRENTES MARINHAS NA PLATAFORMA ENTRE CABO FRIO E CANANÉIA*

AFRÂNIO RUBENS DE MESQUITA; JOÃO BATISTA DE ASSIS LEITE & REYNER RIZZO

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

Synopsis

Current, temperature and salinity data from two sections and 13 days time series are analysed. Additional data from other efforts are summarized with other contributions yielding a tentative winter surface circulation model of the area. From the summary, mechanisms of the upwelling at Cabo Frio are suggested.

Introdução

Aos trabalhos de Emilsson (1959; 1961) sobre a constituição e distribuição das massas d'água na costa sudeste do Brasil, que ressaltaram resultados relativos à descoberta da "ressurgência" na área de Cabo Frio (23°S; 42°W), seguiram-se vários estudos sobre o fenômeno na área e em áreas adjacentes, o que permitiu uma visão mais clara sobre a circulação e suas causas dinâmicas. Muitas questões, entretanto, permanecem ainda sem resposta, o que torna o tema aberto à especulação e à pesquisa.

O objetivo desta nota é o de levantar hipóteses sobre a circulação de superfície durante os meses de inverno nas áreas costeiras entre Cananéia, Santos e Cabo Frio, e também examinar um modelo de circulação que possa, eventualmente, explicar, em parte, a ressurgência na área bastante restrita de Cabo Frio.

Este estudo se baseia nos resultados dos cruzeiros oceanográficos realizados a bordo do N/Oc. "Prof. W. Besnard", do Instituto Oceanográfico da USP, pelo Sub-Projeto Hidrodinâmica Costeira, FINEP, e em resultados e dados de vários pesquisadores que contribuíram ao conhecimento da área.

Os dados

São consideradas medidas de temperatura, salinidade e correntes, sob a forma de séries de tempo obtidas em estação fixa no ponto (23°23'S; 43°17'W) sobre a isóbata de 100 m, durante o período de 17/07/78 a 05/08/78, bem como duas sec-

ções verticais obtidas no início e no fim do cruzeiro. Outros dados são referidos em Resultados e discussão.

As medidas de correntes foram feitas com instrumentos Hidrocean; detalhes destas medidas e outras, redução dos dados e técnicas de amostragem são as mesmas usadas por Mesquita *et al.* (1977).

Na Figura 1 podem ser vistas as posições da estação fixa e das estações correspondentes às seções verticais inicial e final.

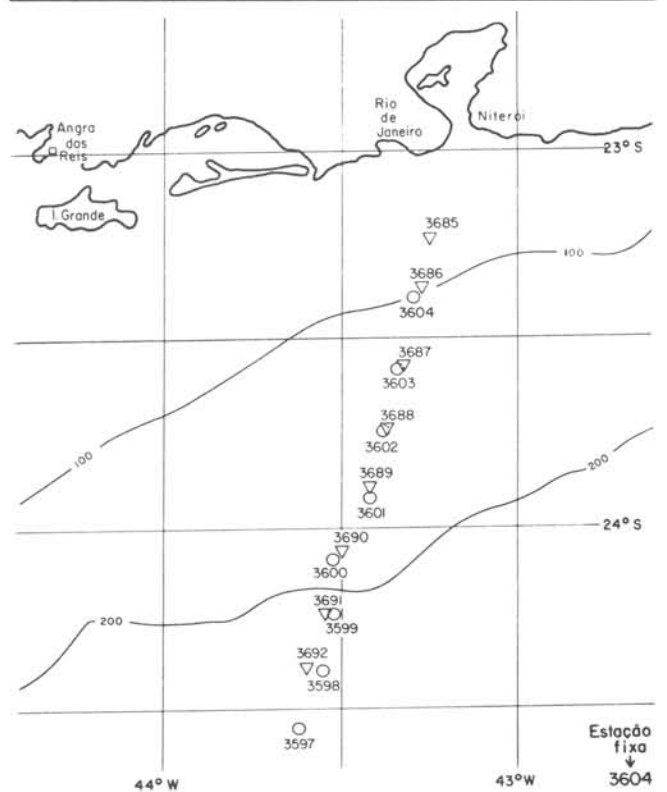


Fig. 1. Posicionamento das estações nas seções verticais.

- = estações da secção vertical inicial
- ▽ = estações da secção vertical final

* Trabalho apresentado no 2º Encontro de Cientistas do Mar. Recife, 11-15 de dezembro de 1978, FINEP.

As Figuras 2 e 3 mostram as distribuições de temperatura e salinidade nas duas secções verticais.

Foram realizadas observações de correntes nas profundidades de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 m. A Figura 4 mostra as componentes N-S da corrente, sob a forma de isopletas para os dias 23 e 24/07/78.

Para o mesmo período são mostradas, na Figura 5, as isopletas de temperatura e, na Figura 6, as de salinidade.

As médias das componentes N-S e E-O das correntes, em 300 horas de observação podem ser vistas na Figura 7. Outros dados são referidos na secção seguinte.

Resultados e discussão

A secção vertical inicial (Fig. 2) mostra que águas da Corrente do Brasil, caracterizadas por um núcleo de $S = 36,90\text{‰}$; $T = 23,5^{\circ}\text{C}$, se encontravam, a princípio, sobre a borda da plataforma continental. Na secção final (Fig. 3),

obtida 13 dias depois, elas apresentavam-se mais afastadas da costa, provavelmente devido à intensificação dos ventos nordeste, registrados nos últimos dias do período de observação em estação fixa, observando-se, então, apenas o resultado de sua influência.

Um aspecto notável da secção inicial, é a aparente "quebra" das águas de fundo ($T \leq 15^{\circ}\text{C}$; $S \leq 35,50\text{‰}$) em dois segmentos; um localizado mais ao largo e ao fundo e o outro que, em consequência da quebra, ficou aparentemente "entancado" entre as águas da Corrente do Brasil e a costa.

Essa situação não se repete na secção final onde, ao invés do "entancamento", observa-se uma infiltração das águas tropicais (da Corrente do Brasil) entre as profundidades de 30 e 70 m. No fundo, a uma profundidade maior que 70 m, localiza-se a massa de águas mais frias e menos salinas ($T \leq 15^{\circ}\text{C}$; $S \leq 35,5\text{‰}$) que, com o afastamento das águas tropicais em relação à costa, voltam a formar um corpo único.

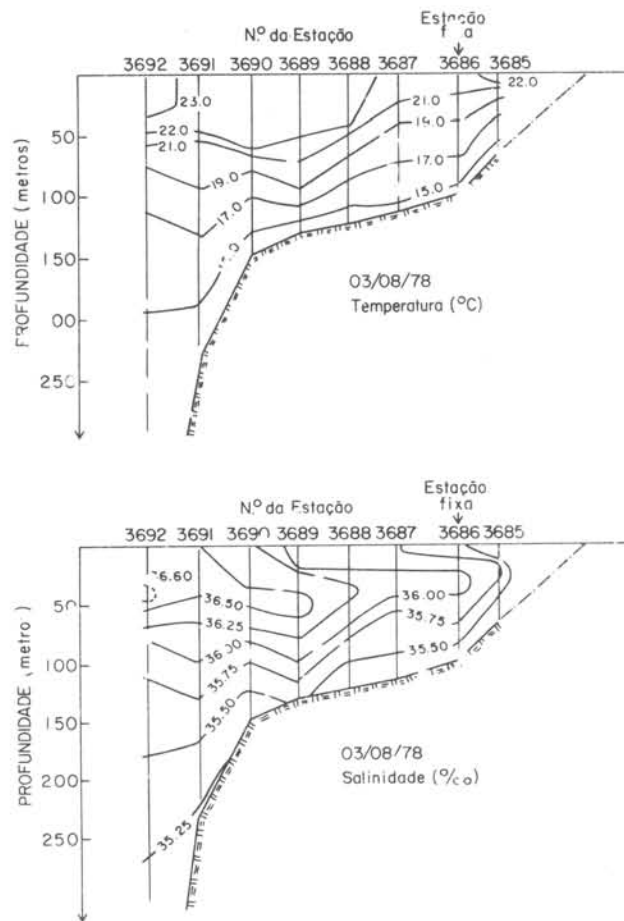
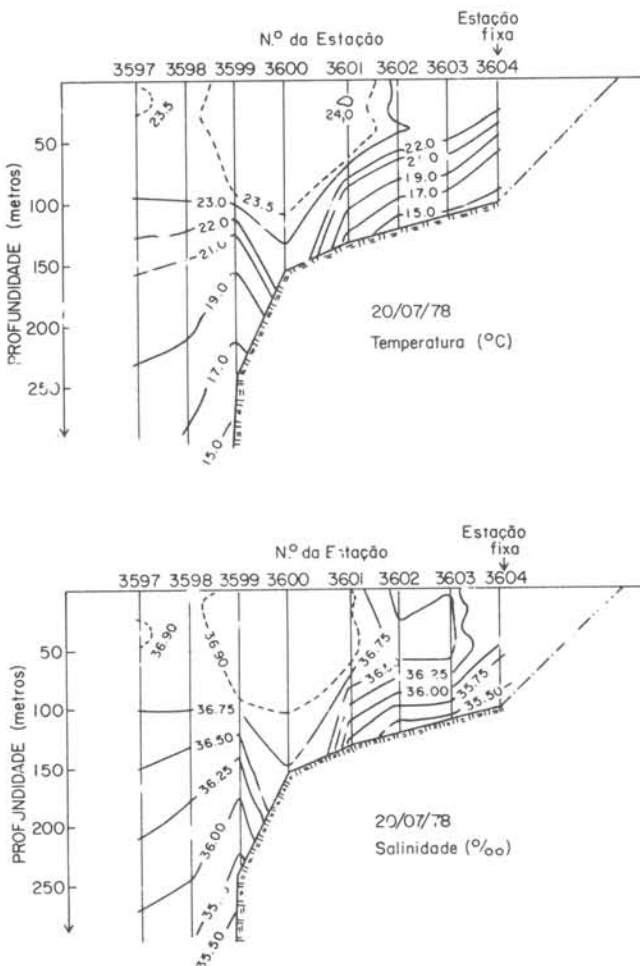


Fig. 2. Isolinhhas de temperatura e salinidade para a secção vertical inicial.

Fig. 3. Isolinhhas de temperatura e salinidade para a secção vertical final.

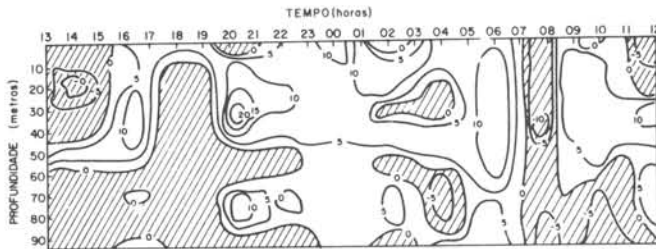


Fig. 4. Isoplethas de correntes - componente norte-sul (em cm/s)
Período de observação - 13 horas de 23/07/78 às 12 horas de 24/07/78.
Hachuras: direção para sul.

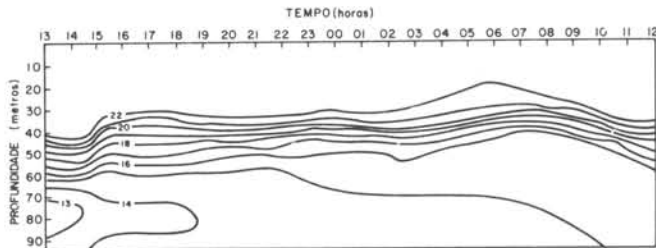


Fig. 5. Isoplethas de temperatura (em °C)
Período de observação - 13 horas de 23/07/78 às 12 horas de 24/07/78.

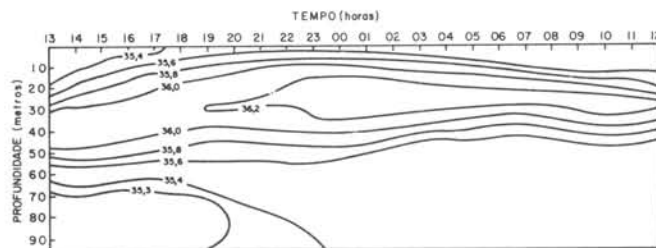


Fig. 6. Isoplethas de salinidade (em ‰)
Período de observação - 13 horas de 23/07/78 às 12 horas de 24/07/78.

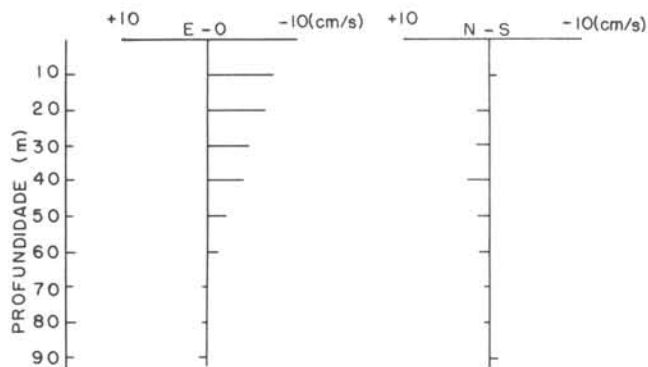


Fig. 7. Médias de 300 horas de medidas de correntes em várias profundidades. Na superfície, as médias para as componentes E-O e N-S são, respectivamente, -11,91 cm/s e 0,05 cm/s. Até 60 metros, há predominância de movimento no sentido oeste.

Uma característica comum às seções, é a variação alternada de regiões em que as isolinhas se encontram próximas umas das outras com regiões em que elas se encontram mais afastadas entre si. Isto pode ser observado ao longo das camadas de 0 a 200 m e de 0 a 100 m de profundidade, próximo à costa, tanto na distribuição de temperatura como na de salinidade.

Essa variabilidade parece estar associada à distribuição irregular das isoplethas de correntes mostradas na Figura 4. A coluna d'água de 0 a 90 m é, aparentemente, dominada por vórtices, cuja direção de propagação é irregular e cujas dimensões são de difícil avaliação com os presentes dados.

Estes aspectos são menos visíveis nas isoplethas de temperatura e salinidade (Figs 5 e 6) que, exceto variações a

longo termo, não mostram um claro movimento ascendente ou descendente dos valores de T e S como consequência dos vórtices.

O caráter rotatório a longo termo do sistema de correntes é, entretanto, caracterizado na Figura 7, onde são apresentadas as médias de 300 horas de observações.

A 100 m de profundidade, a corrente média tem direção levemente sudoeste, passando a noroeste e atingindo um máximo, nessa direção, a 40 m. Entre 20 e 60 m, como pode ser observado nas Figuras 3 e 6, encontra-se uma "língua" d'água proveniente da Corrente do Brasil. De 70 a 90 m, o fluxo médio muda para a direção nordeste e depois sudeste, sendo, no entanto, muito mais fraco que nas camadas mais à superfície. As águas de fundo são menos salinas e mais frias, o

que caracteriza, de acordo com Emilsson (1961), uma massa de Água Sub-Tropical.

Os presentes resultados, aliados a contribuições de outros pesquisadores, permitem levantar hipóteses sobre o sistema de circulação mais provável da área.

A Figura 8 mostra o esquema de circulação mais provável durante os meses de inverno, resultante da análise comparativa dos dados e/ou resultados obtidos por vários pesquisadores.

As setas em linha cheia indicam a direção das correntes predominantes, enquanto que as em linha tracejada indicam a direção das correntes não-predominantes. As setas curvilíneas cheias, com sentido anti-horário, indicam a predominância de correntes rotatórias com origem nas marés.

A área hachurada, entre as isóbatas de 100 e 200 m, indica, aproximadamente, uma região de intensificação das águas da Corrente do Brasil. As setas curvilíneas cheias, com sentido horário, indicam correntes rotatórias, com esse sentido, por causa do cisalhamento lateral entre as águas da Corrente do Brasil

e as águas costeiras localizadas sobre a plataforma continental.

As áreas assinaladas com as letras A, B, C, D, E, F e G são regiões onde a circulação tem aspectos aparentemente bem definidos.

Na região A, de acordo com o que sugerem as medidas realizadas por Johannessen (1968) e por Inostroza *et al.* (1976), predominam as águas da Corrente do Brasil, fluindo na direção sudoeste. Parte dela invade a plataforma continental, em regiões com profundidade inferior a 100 m, enquanto que a parte principal, junto à costa, flui de modo a acompanhar as isóbatas de 100-200 m.

Nessa mesma região, Johannessen (*op.cit.*) registra também a presença de correntes rotatórias de maré com sentido anti-horário.

Na região B, observa-se uma abrupta mudança na direção das isóbatas de 100 e 200 m. De acordo com o que sugerem os dados de Signorini (1978) e Inostroza *et al.* (*op.cit.*) as águas da Corrente do Brasil, por efeito da inércia, mantêm seu fluxo na direção da região C e, nessa

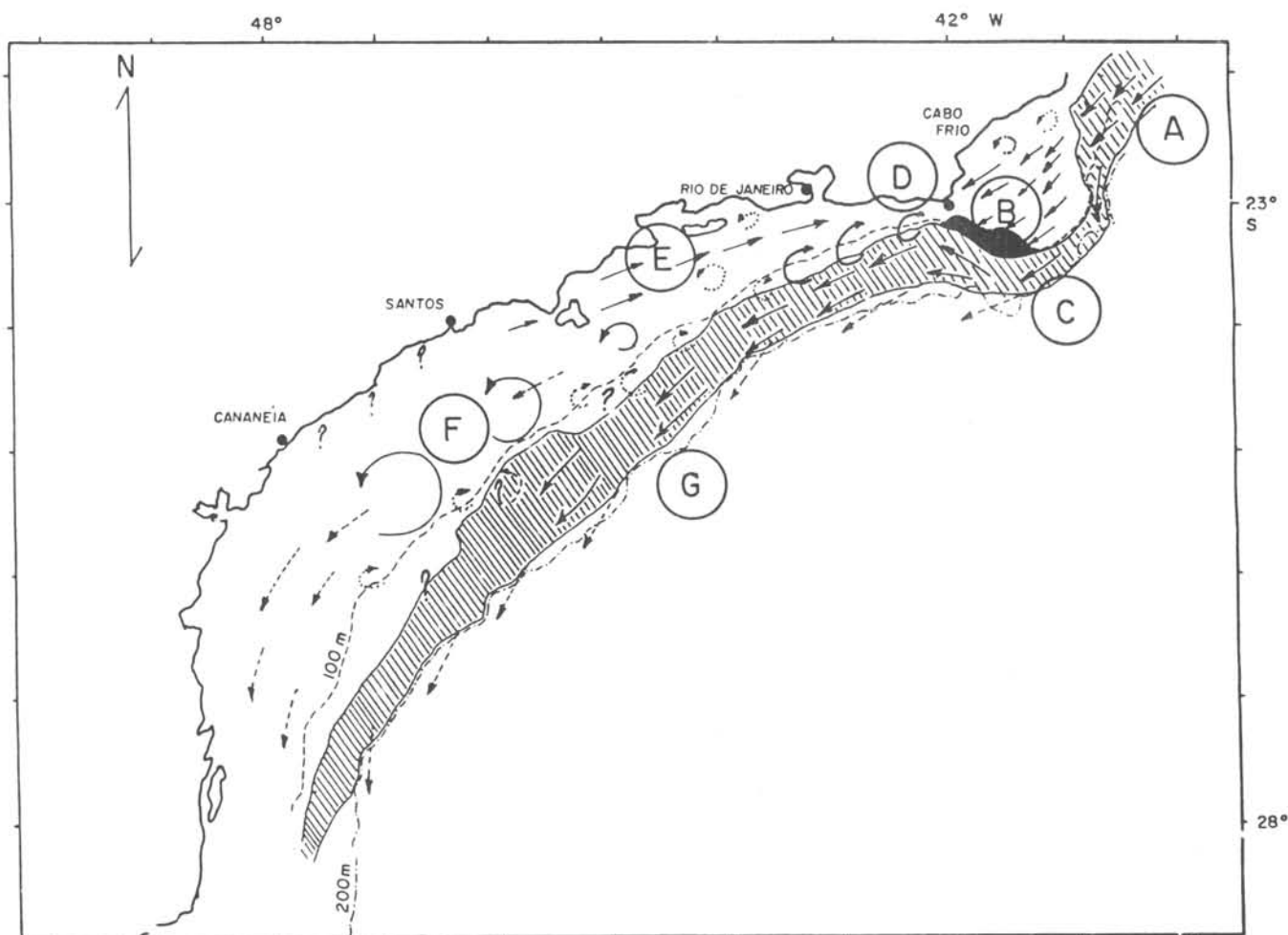


Fig. 8. Provável circulação de inverno.

região, portanto, afastam-se do talude continental. Isto tende a criar, na região B, uma zona de baixa pressão, favorecendo o afloramento da Água Sub-Tropical, a qual, nessa região, flui no sentido nordeste, em profundidades intermediárias, como assinala Emilsson (1959).

Nessas condições, as dimensões dessa zona de baixa pressão são bastante influenciáveis pelas intensificações da Corrente do Brasil, as quais, por sua vez (Silva, 1976), são sensíveis aos ventos predominantes na área.

Devido à tendência de acompanhar as isóbatas de 100-200 m, águas da Corrente do Brasil, após se afastarem delas por inércia, na região C, defletem para oeste, fluindo em direção à região D. Nessa região, encontrando as águas costeiras locais, dão origem a vórtices, com giro no sentido horário, que tendem a intensificar as correntes costeiras, com sentido nordeste, predominantes entre Santos e Rio de Janeiro nos meses de inverno.

A existência de vórtices na região D pode ser inferida com base nos dados de Ikeda *et al.* (1974). A presença de correntes costeiras, com sentido nordeste, na região E, é mostrada por Luedemann (1979) e por Matsuura (1975), empregando corpos-de-deriva. Johannessen (1968) registra, nessa mesma área, a presença de correntes rotatórias de maré com sentido anti-horário.

Na região F, observa-se a predominância de correntes rotatórias de maré com sentido anti-horário, superpostas a uma corrente de menor intensidade fluindo no sentido sudoeste (Mesquita *et al.*, 1977)

Nas regiões assinaladas com pontos de interrogação, a circulação real não é bem conhecida.

Na região G, é provável a existência de deslocamentos das águas para a esquerda, compensando o afluxo das águas costeiras que se incorporam ao sistema de circulação da Corrente do Brasil.

A análise dos diferentes dados e resultados apresentados permite, pois, sugerir dois mecanismos para a circulação na área de Cabo Frio.

De acordo com eles, parece claro que a aproximação das Águas Tropicais, levadas pela Corrente do Brasil no ponto (23°23'S; 42°17'W), pode produzir um efeito de "entancamento" das águas costeiras, seguidas de arrastamento dessas águas pela Corrente do Brasil, através de vórtices com sentido anti-horário. Dadas as características topográficas da área,

onde o talude continental se aproxima cerca de 25 mn da costa, é muito provável que, em consequência, ocorra na área um efeito de "sucção", com máximo em Cabo Frio e que, além de ativar a ressurgência da área, possa ainda ser responsável pela existência de correntes costeiras durante os meses de inverno, no limite até 30 mn da costa, com direção Santos-Cabo Frio.

O outro mecanismo está relacionado com a área B na Figura 8. A existência de Águas Sub-Tropicais com fluxo em direção nordeste, em profundidades baixas como as observadas entre 70 e 90 m no ponto acima mencionado, indica que uma causa dinâmica as mantém próximas à superfície e ainda as impulsiona em direção nordeste. É muito provável, pois, que efeitos inerciais e geostroficos das águas da Corrente do Brasil, já mencionados, devidos à abrupta mudança de direção das isóbatas 100 e 200 m, na latitude de Cabo Frio, sejam causas, entre outras, que possam ser levantadas para a explicação do fenômeno.

Conclusões

- Resultados de medidas de correntes no ponto (23°23'S; 42°17'W) indicam a existência de correntes de pequena intensidade a 90 m de profundidade, que fluem na direção nordeste em oposição ao fluxo da Corrente do Brasil.
- A aproximação das Águas Tropicais, levadas pela Corrente do Brasil em direção SW, no ponto (23°23'S; 42°17'W) pode produzir um efeito de "entancamento" das águas costeiras, seguidas de arrastamento dessas águas pela Corrente do Brasil, através de vórtices no sentido horário. Conseqüente ao arrastamento, um efeito de "sucção" é sugerido, com máximo na área de Cabo Frio e que pode ser responsável pela existência de correntes costeiras, durante os meses de inverno, no limite de até 30 mn fora da costa, com direção de Santos a Cabo Frio.
- A existência de Águas Sub-Tropicais com fluxo em direção nordeste no ponto (23°23'S; 42°17'W) entre 70 e 90 m sugere que efeitos inerciais e/ou geostroficos provocados pelas características topográficas a este de Cabo Frio, com a abrupta mudança de direção do talude continental, ao longo do qual flui a Corrente do Brasil, sejam mecanismos que mantêm tais águas próximas à superfície durante todas as estações do ano.

Agradecimentos

À FINEP, pelo auxílio financeiro concedido.

Ao Diretor do IOUSP, Dr. André Ricciardi Cruz, pelo apoio entusiasta ao programa.

Ao Dr. Argeo Magliocca, pelas críticas e discussões construtivas durante o preparo do manuscrito.

Bibliografia

- EMÍLSSON, I. 1959. Alguns aspectos físicos e químicos das águas marinhas brasileiras. *Ciênc. Cult.*, S Paulo, 11(2):44-54.
- . 1961. The shelf and coastal waters off southern Brazil. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 11(2):101-112.
- IKEDA, Y.; MIRANDA, L. B. de & ROCK, N. J. 1974. Observations on stages of upwelling in the region of Cabo Frio (Brazil) as conducted by continuous surface temperature and salinity measurements. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 23:33-46.
- INOSTROZA, V. H.; ALMEIDA, E. G. & MASCARENHAS Jr., A. da S. 1976. Expedição oceanográfica SEREMAR IV. *Relat. INPE-825-NTE/049*, :1-142.
- JOHANNENSSON, O. M. 1968. Note on some hydrographical and current observations from three positions on the Brazilian shelf in the region of Cabo Frio-Santos 1966. *Contrções Inst. oceanogr. Univ. S Paulo, sér. Ocean. fís.*, (10):1-8.
- LUEDEMANN, E. F. 1979. Contribuição ao estudo das correntes de superfície sobre a plataforma continental do Estado de São Paulo, Brasil (Lat. 24°00'S - 25°10'S até Long. 45°40'W). *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 28(2): 47-53.
- MATSUURA, Y. 1975. A study of surface currents in the spawning area of Brazilian sardine. *Bolm. Inst. oceanogr.*, S Paulo, 24:31-44.
- MESQUITA, A. R. de; SOUZA, J. M.; TUPI-NAMBÁ, P. M.; WEBER, R.; FESTA, M. & LEITE, J. B. A. 1977. Correntes rotatórias e variabilidade do campo de massa na plataforma do Estado de São Paulo (Ponto: 25°S; 46°W). *Relat. Cruzeiros, sér. N/Cc. "Prof. W. Besnard"*, *Inst. oceanogr. Univ. S Paulo*, (3):1-27.
- SIGNCRINI, S. R. 1978. On the circulation and the volume transport of the Brazil Current between the Cape of São Tomé and Guanabara Bay. *Deep-Sea Res.*, 25(5):481-490.
- SILVA, P. de C. M. da & MENDONÇA, C. F. 1976. A ressurgência em Cabo Frio (II); significação física da charneira. *Publções Inst. pesq. Mar.*, (99): 1-68.

(Recebido em 21/dezembro/1978)