

## Corrente do Brasil: estrutura térmica entre 19° e 25°S e circulação geostrófica

Sérgio Romano SIGNORINI<sup>1</sup>; Luiz Bruner de MIRANDA<sup>2</sup>; David L. EVANS<sup>3</sup>;  
Merritt R. STEVENSON<sup>4</sup> & H. M. INOSTROZA V.<sup>4</sup>

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo  
(Caixa Postal 9075, 01051 São Paulo, SP)

● **Abstract:** In April 1982, an oceanographic investigation was conducted off the Brazilian coast in order to obtain the spatial characteristics of the thermal structure and to locate the Brazil Current flow both north and south of the seamount chain at 20°30'S. During the survey, remote sensing satellite data were also obtained on several occasions to assist in the delineation of the surface thermal structure. A 23°C thermostad was observed along most sections. Along sections with stronger baroclinic signatures, such as the one in Cabo Frio, the thermostad seems to be pinched off somewhat similar to the pinching off the 18°C water in the Gulf Stream North wall. The current structure and volume transports, relative to the 500 dbar isobaric surface, were calculated using both hydrographic station data and the closely spaced XBT measurements. A comparison of these results, for the data observed along the section of Cabo Frio, indicates that some details of the geostrophic currents are lost when the hydrographic data are used; the corresponding volume transports agree within 17% (3.3 Sv using hydrographic data against 2.8 Sv using XBT data). A volume transport budget, obtained through the transport computation along all sections between 19° and 22°S, indicates that the Brazil Current appears to flow through the passage between the most inshore banks and not to the east. The net volume transport (2.9 Sv) is in close agreement with the Cabo Frio section volume transport, where the total flow of the Brazil Current was supposedly bracketed by the station sampling.

- **Descriptors:** Water circulation, Brazil Current, Thermal structure, T/S diagrams, Geostrophic currents, Cabo Frio: RJ, Bancos de Abrolhos: BA.
- **Descritores:** Circulação da água, Corrente do Brasil, Estrutura térmica, Diagramas T/S, Correntes geostróficas, Cabo Frio: RJ, Bancos de Abrolhos: BA.

### Introdução

A comparação do conhecimento da circulação das regiões norte e sul do Oceano Atlântico, mostra claramente que o Atlântico Norte apresenta um grau de conhecimento muito mais detalhado do que a sua contrapartida do hemisfério sul. Até recentemente, em grande escala, o conjunto de dados obtidos durante as expedições do "Meteor" (Wüst, 1935; Defant, 1941) e aquela realizada ao Atlântico Sul durante o Ano Geofísico Internacional (Fuglister, 1960), constituíram as principais fontes de dados hidrográficos desse oceano como um todo: esses dados foram utilizados por Fu (1981) para investigar algumas características da circulação usando o Método Inverso. Wright (1970) e Buscaglia

(1971), apresentam resultados sobre o espalhamento das Massas de Água Antártica de Fundo e Intermediária Antártica, respectivamente, e Reid, Nowlin e Patzert (1977), incluíram dados da Expedição CATO em seus estudos do Atlântico Sul. Entretanto, os dados oriundos das expedições acima mencionadas não foram obtidos tão próximo da costa brasileira, para permitir uma análise adequada da extensão e da estrutura da Corrente do Brasil.

Sob o aspecto regional, alguns resultados da circulação relativa e do transporte de volume da Corrente do Brasil, são examinados por Signorini (1976; 1978) e Miranda & Castro (1979; 1982), utilizando a aproximação geostrófica para pares de estações hidrográficas separadas por distâncias variáveis entre 37 e 55 km (~ 20 e 30 mn). Recentemente, foram publicados os resultados de medidas direta dessa corrente, numa seção à leste de Cabo Frio, realizados com o perfilador de corrente PEGASUS (Evans & Signorini, 1985). Esses trabalhos mostram a menor intensidade da Corrente do Brasil quando comparada à Corrente do Golfo e evidenciam aspectos da

(1) Greenhome & O'Mara Inc. - Greenbelt, Maryland, 20770, U.S.A.

(2) Instituto Oceanográfico da USP (Bolsista do CNPq)

(3) Office of Naval Research, Arlington, Virginia, U.S.A.

(4) Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

complexidade dessa corrente em trechos da costa brasileira, tais como a ocorrência de meandros, vórtices e contracorrentes.

Stommel (1980), compilou dados de diferentes fontes e discutiu resultados de cálculos do fluxo de calor para todos os oceanos. Os resultados são, na maior parte dos casos, conflitantes até mesmo na direção da componente meridional do fluxo de calor, particularmente no Atlântico Sul. Esse resultado, combinado com a necessidade de um melhor conhecimento da circulação desse oceano, renovou o interesse pelo estudo de sua circulação.

Os resultados que serão discutidos, e que complementam os obtidos por Evans *et al.* (1983), fornecem uma amostragem inédita de alguns detalhes da estrutura térmica de superfície da Corrente do Brasil e da

velocidade geostrófica, na costa leste do Brasil entre 19 e 25°S (Fig. 1), que somente foi possível obter com o emprego de amostradores de temperatura descartáveis do tipo XBT.

Durante o trabalho de campo, informações da posição aproximada da Corrente do Brasil foram obtidas em tempo real com a Unidade Analisadora e Armazenadora de Imagens (UAI-1) do Instituto de Pesquisas Espaciais - São José dos Campos (INPE-SJC). Essas informações foram combinadas com aquelas extraídas das fotografias de passagens prévias do satélite NOAA-7 e retransmitidas via rádio para o N/Oc. "Prof. W. Besnard", a bordo do qual foi realizado este primeiro cruzeiro oceanográfico do Projeto Transporte da Corrente do Brasil (TRANSCOBRA), realizado em convênio com a Universidade de Rhode Island (USA).

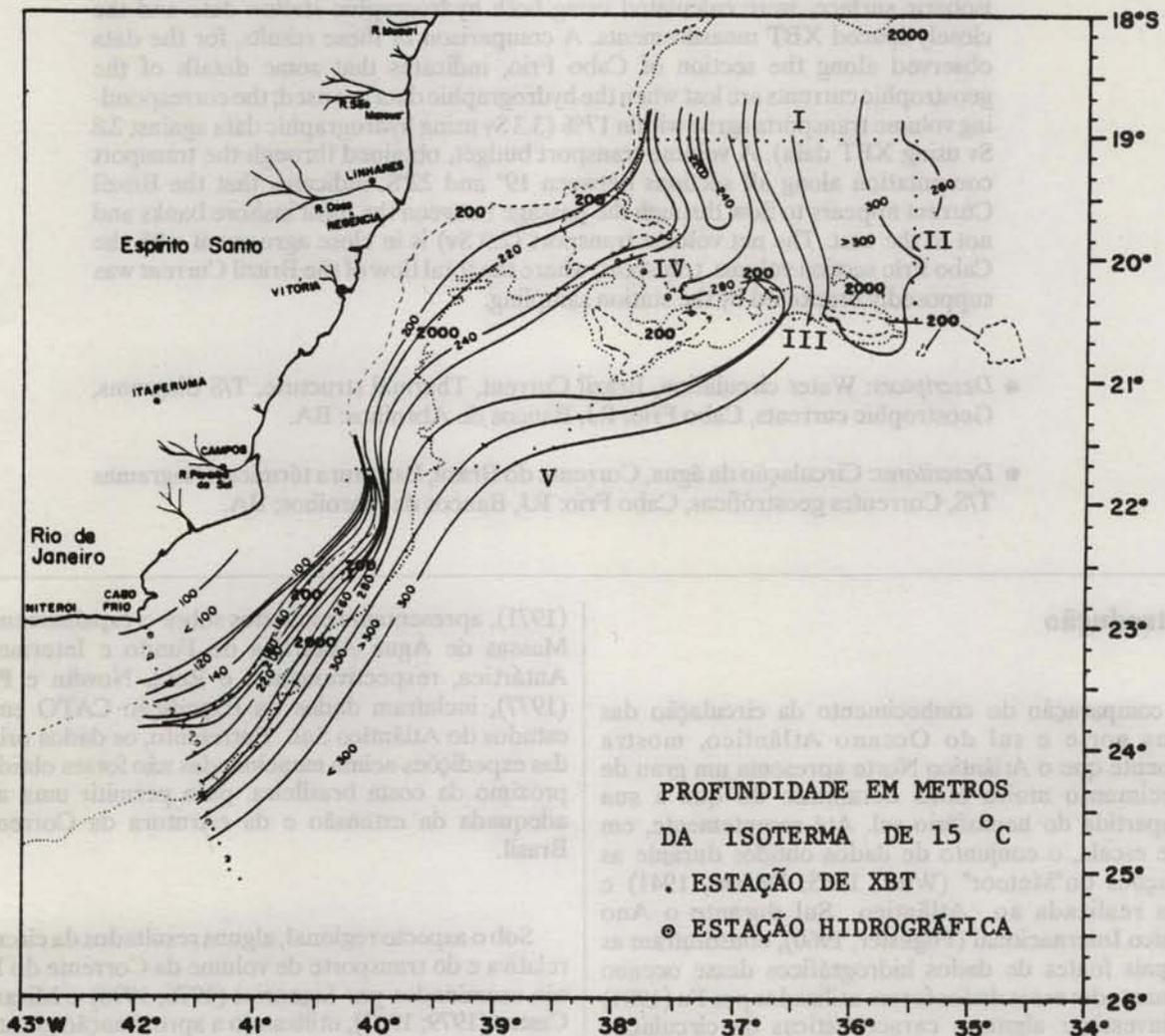


Fig. 1. Profundidade da superfície isotérmica de 15°C. Estão também indicadas as posições das estações hidrográficas, de XBT's e das secções verticais. (De acordo com Evans *et al.*, 1983).

## Metodologia

### Os dados hidrográficos e de XBT

Nas estações hidrográficas a coluna de água foi amostrada com garrafas-de-Nansen convencionais. A temperatura (T) foi medida com termômetros de reversão, graduados em graus centígrados. As leituras desses instrumentos foram corrigidas, de acordo com a prática usual, do erro de índice e dos efeitos da dilatação ou contração do sistema termométrico. Para essa última correção foi usada a fórmula de W. Hansen, deduzida em 1934 que, analisada em comparação com outras equações por Keyte (1965), provou ser mais aceitável.

A salinidade (S) foi determinada por meio de medidas da razão de condutividade elétrica ( $R_t$ ) com um salinômetro indutivo marca Plessey, freqüentemente padronizado com água normal. Para o cálculo da salinidade em função de  $R_t$  foi utilizada a nova definição da chamada "salinidade prática", cuja escala e equações de conversão foram publicadas em decorrência dos resultados do Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards - JPOTS (Unesco, 1981a,b).

A profundidade (z) de amostragem simultânea da temperatura e da salinidade foi obtida corrigindo-se, sempre que necessário, o comprimento do cabo lançado. Dentre os métodos utilizados para essa correção, optou-se, para profundidades superiores a 200 m, pelo descrito por (LaFond, 1951). Para a sua aplicação é necessário o conhecimento da profundidade termométrica ( $z_T$ ), determinada com termômetros de reversão desprotegido; as leituras desses instrumentos foram também corrigidas de forma semelhante à descrita para os termômetros protegidos. A profundidade termométrica foi estimada pela tradicional equação deduzida por G. Wüst em 1936.

Após as correções e reduções necessárias, as variáveis independentes (S,T,z) foram armazenadas em cartões IBM de acordo com o formato indicado pelo National Oceanographic Data Center (1964) e o processamento para o cálculo das variáveis dependentes, da velocidade geostrofica e dos transportes de volume associados, foram realizados com o Programa OCCOMP, adaptado ao Computador IBM/360 do Setor de Matemática Aplicada (SEMA) do Instituto de Física da USP por Signorini (1976).

O campo de temperatura também foi amostrado, de forma espacialmente mais densa, pelos amostradores descartáveis de XBT (Expendable Bathythermograph) que possuem a grande vantagem de produzir um perfil vertical contínuo da temperatura em cada local (estação) de lançamento, e de poderem ser lançados com o navio em marcha total, aumentando assim a fidelidade sinótica das observações.

Os perfis verticais contínuos de temperatura obtidos com o equipamento de XBT, digitados a intervalos de temperatura de 1°C, foram convertidos em salinidade por meio de ajustes polinomiais das curvas T-S obtidas com os dados das estações hidrográficas. Este método indireto, utilizado para cálculo da salinidade, permitiu a determinação das variáveis dependentes da água do mar e o cálculo da corrente geostrofica e do transporte de volume correspondente. Esses cálculos foram feitos para pares de estações de XBT separados a intervalos médios de apenas 15 km (~ 8 mn) e interpretados

comparativamente aos resultados obtidos com as estações hidrográficas.

## Discussão

### A estrutura térmica horizontal

Um melhor entendimento da escala horizontal da estrutura térmica da Corrente do Brasil é obtido através de uma avaliação de suas características superficiais e subsuperficiais. Assim, foi possível mapear a localização dessa corrente entre os paralelos de 19 e 25°S, utilizando como indicador a estrutura térmica. A Figura 1 mostra as isolinhas da profundidade da isoterma de 15°C, notando-se duas regiões de destaque: a primeira, entre as latitudes de 19 e 22°S onde, pela distribuição das isolinhas, a corrente não é bem organizada, fluindo por entre os canais dos Bancos de Abrolhos. Na outra região, entre 22 e 25°S, a corrente se organiza melhor mostrando sinais mais baroclínicos e a inclinação da topografia da isoterma de 15° indica uma intensificação do cisalhamento da velocidade geostrofica. A configuração da topografia dessa isoterma guarda uma estreita relação com a que foi amostrada em abril de 1983, cujo resultado foi apresentado por Evans & Signorini (1985).

A Figura 2 mostra as mesmas características do campo de temperatura discutido no parágrafo anterior, sendo, desta vez, apresentada a topografia da isoterma de 20°C. Os resultados desses mapas, à exemplo do que é feito na Corrente do Golfo no Atlântico Norte, sugere que se quizermos encontrar a posição do eixo da Corrente do Brasil, utilizando XBT's, deve-se procurar uma posição no oceano na qual o gradiente da topografia isotérmica de 15 ou de 20°C, seja máximo. De acordo com os resultados obtidos (Figs 1 e 2), isso ocorre nas proximidades do talude continental, onde a profundidade dessas isotermas varia entre 160 e 260 m, e 100(120) e 160 m, respectivamente.

### A estrutura térmica vertical

A estrutura térmica vertical, ao longo das secções amostradas com XBT's e cujas localizações estão indicadas na Figura 1, é discutida a seguir.

A secção I (Fig. 3) foi feita ao longo de 19°S, partindo do talude continental até uma distância de aproximadamente 270 km da isóbata de 200 m. A estrutura térmica é pouco baroclínica, possuindo uma ligeira inclinação das isotermas até 200 km de distância do talude e favorecendo um fluxo para o sul, mudando de sentido a partir dessa distância, a julgar pela mudança da inclinação das isotermas. A camada superficial, variando de 40 a 70 m de espessura, é totalmente homogênea indicando a presença de uma camada de mistura gerada pela ação de ventos e ondas. Logo abaixo da camada de mistura, separado pelas termoclinas permanente e sazonal, existe um "thermostad" (camada de gradiente vertical mínimo de temperatura) de 23°C, estendendo-se ao longo de toda secção.

O "thermostad" foi detectado graças ao emprego do equipamento de XBT. O mecanismo de sua geração, apesar dos dados serem insuficientes para uma avaliação definitiva, pode estar relacionado à formação da termoclina sazonal, devido ao aquecimento no decorrer do verão, gerando uma camada mais estável sobrejacente a uma camada de mistura mais fria e profunda de inverno;

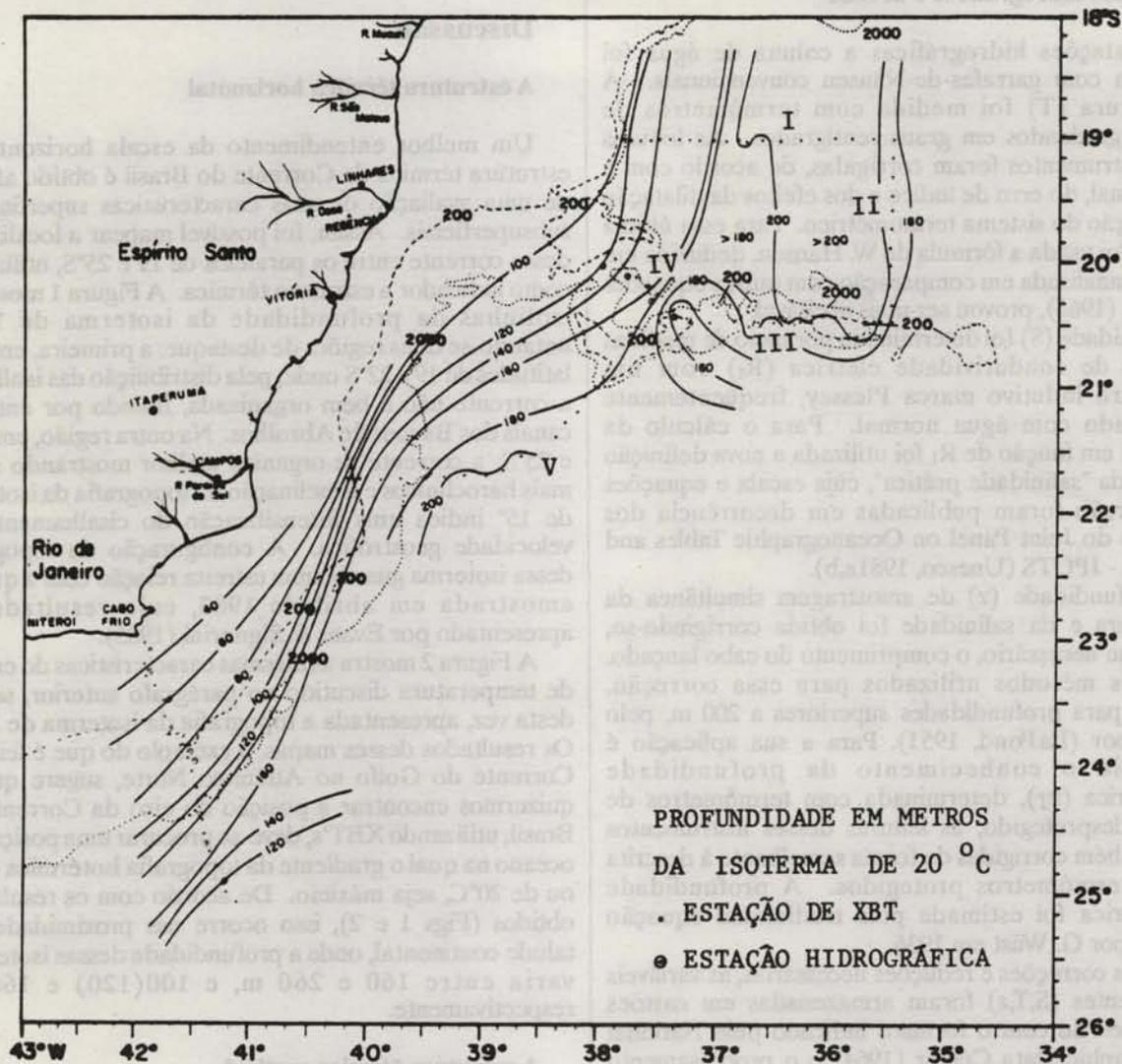


Fig. 2. Topografia da superfície isotérmica de 20°C. (De acordo com Evans *et al.*, 1983)

assim, esse "thermostat" pode corresponder a uma parte residual dessa camada de mistura.

A secção II (Fig. 4) foi feita na direção norte-sul a partir do extremo em mar aberto da secção I, tendo aproximadamente 175 km de extensão. Sua estrutura térmica é bastante barotrópica e contém as mesmas características de camada de mistura e "thermostat" observadas na secção anterior.

As secções III (Fig. 5) e IV (Fig. 6) foram feitas ao longo dos canais dos Bancos de Abrolhos, sendo que a secção IV, cruzando o canal mais próximo do talude, apresenta um sinal muito mais baroclínico, acreditando-se ser este o canal por onde flui a maior parte da Corrente do Brasil.

A secção V (Fig. 7) foi iniciada em Abrolhos e segue na direção sudoeste até a latitude do Cabo de São Tomé no talude continental. A estrutura térmica nessa secção é altamente baroclínica nas proximidades do talude e bem mais barotrópica em mar aberto, indicando que a maior parte do transporte baroclínico da corrente concentra-se numa área estreita do talude, com indícios da existência de um contrafluxo para nordeste próximo a Abrolhos.

Uma outra particularidade nesta secção é o fato de que o "thermostat" de 23° diminui de espessura a medida em que se aproxima do talude, desaparecendo completamente na região baroclínica sobre o talude.

Finalmente, a secção realizada ao largo de Cabo Frio (Fig. 8), orientada na direção SE e estendendo-se por uma distância de aproximadamente 250 km da costa, mostra a condição mais baroclínica da corrente, com as isothermas apresentando uma declividade descendente a partir da plataforma continental. Essa declividade se mantém até as proximidades da estação XBT nº 94, localizada a 180 km da isóbata de 100 m. A estrutura térmica apresentada nessa figura indica que foi abrangida toda extensão transversal da Corrente do Brasil, aparecendo também sinais de um contra-fluxo no extremo oceânico da secção, o qual é indicado pela mudança da inclinação das isothermas. Detalhes da estrutura da corrente geostrofica através desta secção são apresentados posteriormente.

A fim de ilustrar melhor as características do "thermostat" na secção V, onde existe uma compressão dessa camada de gradiente mínimo junto ao talude,

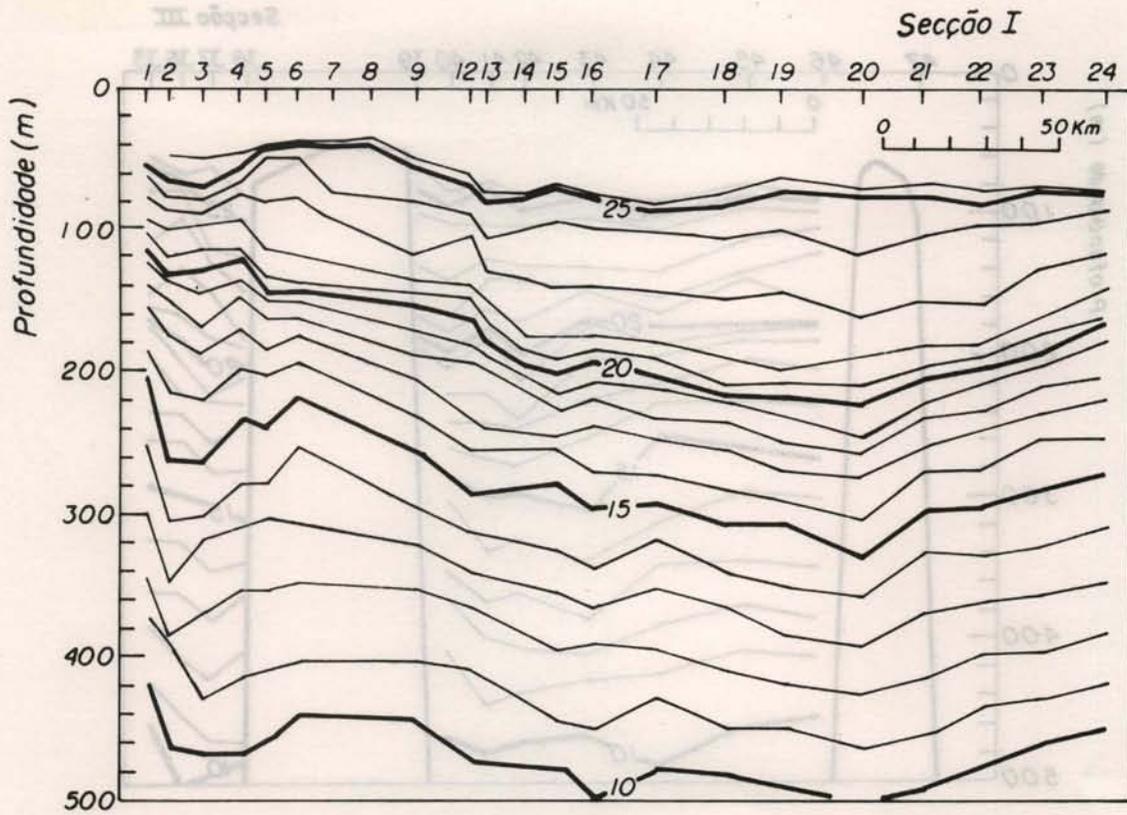


Fig. 3. Estrutura térmica vertical (em °C) ao longo da latitude 19°S. (Secção I), em 26/04/82. (De acordo com Evans *et al.*, 1983).

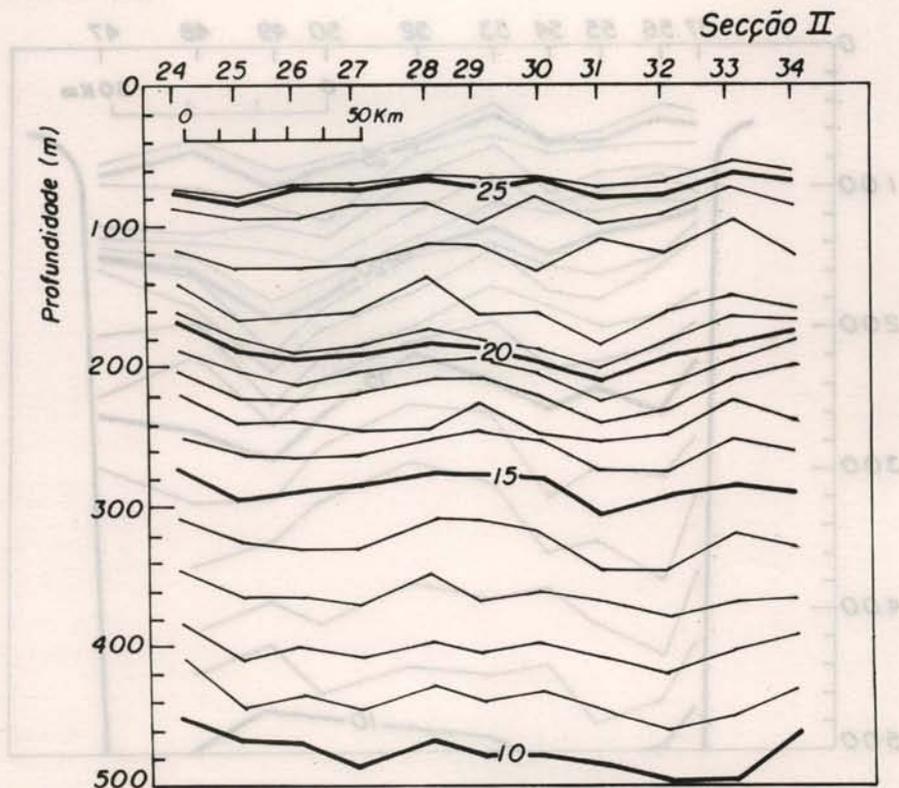


Fig. 4. Estrutura térmica vertical (em °C) ao longo da longitude 036°30'W (Secção II), em 27/04/82.

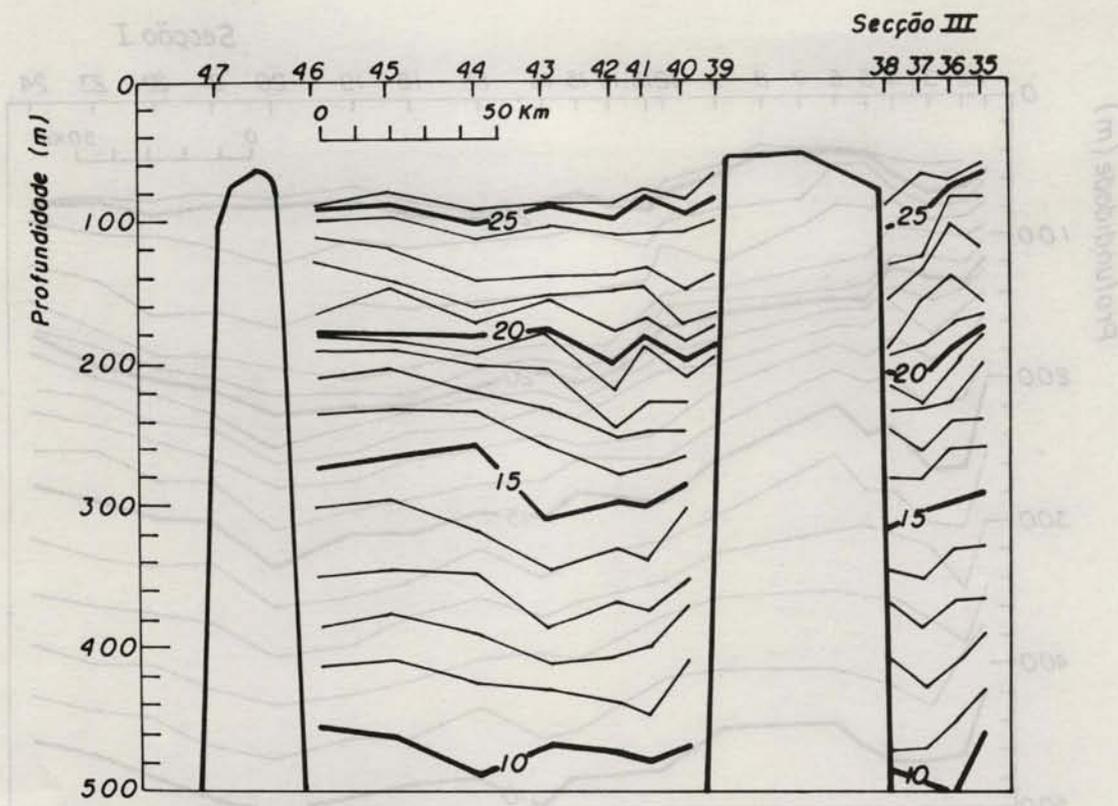


Fig. 5. Estrutura térmica vertical (em °C) ao longo da latitude 20°30'S (Secção III), em 27/04/82.

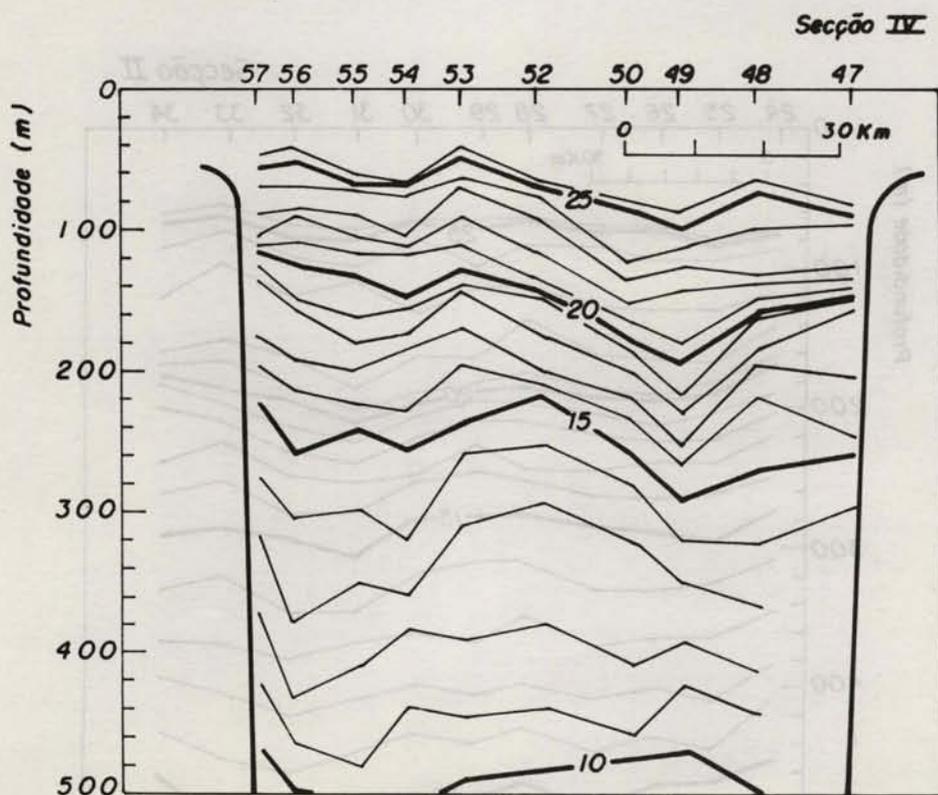


Fig. 6. Estrutura térmica vertical (em °C) entre o banco mais próximo da costa e a plataforma continental ao largo de Vitória (Secção IV), em 27/04/82. (De acordo com Evans *et al.*, 1983)

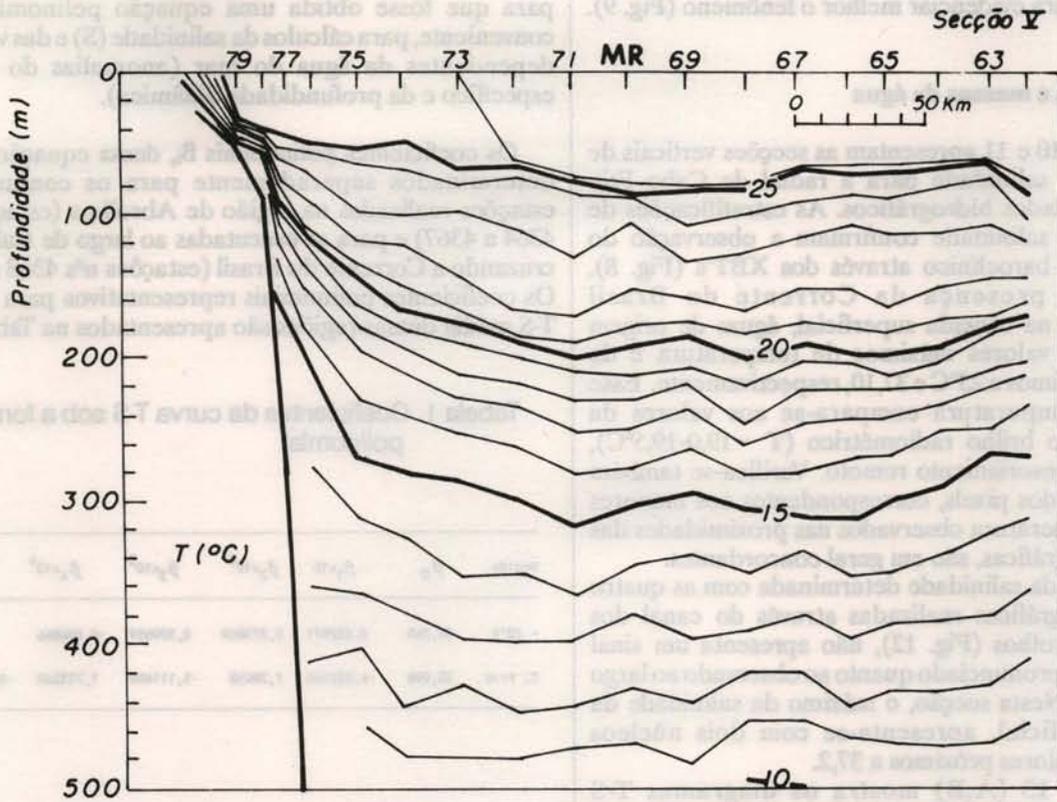


Fig. 7. Estrutura térmica vertical (em °C) ao longo da secção localizada à sudeste de Vitória, entre as latitudes de 21 e 22°S. (Secção V). MR indica mudança de rumo. (Adaptada de Evans *et al.*, 1983).

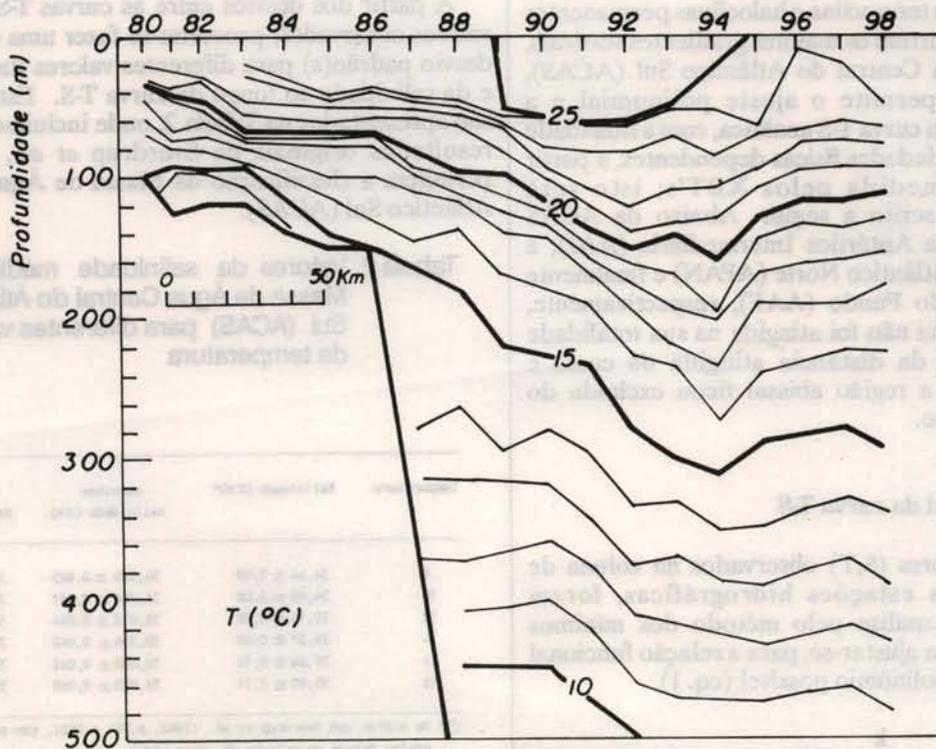


Fig. 8. Estrutura térmica vertical ao longo da secção Cabo Frio.

combinaram-se todos perfis verticais de XBT da secção V (n<sup>os</sup> 62 a 79) para evidenciar melhor o fenômeno (Fig. 9).

### Hidrografia e massas de água

As Figuras 10 e 11 apresentam as secções verticais de temperatura e salinidade para a radial de Cabo Frio baseadas nos dados hidrográficos. As estratificações de temperatura e salinidade confirmam a observação do mesmo campo baroclínico através dos XBT's (Fig. 8), indicando a presença da Corrente do Brasil transportando, na camada superficial, águas de origem Tropical, com valores máximos de temperatura e de salinidade próximos a 25°C e 37,10, respectivamente. Esse máximo de temperatura compara-se aos valores da temperatura do brilho radiométrico ( $T = 19,0-19,5^{\circ}\text{C}$ ), obtidos pelo sensoriamento remoto. Verifica-se também que os valores dos pixels, correspondentes aos menores valores de temperatura observados nas proximidades das estações hidrográficas, são em geral concordantes.

A estrutura da salinidade determinada com as quatro estações hidrográficas realizadas através do canal dos Bancos de Abrolhos (Fig. 12), não apresenta um sinal baroclínico tão pronunciado quanto ao observado ao largo de Cabo Frio. Nesta secção, o máximo de salinidade da camada superficial, apresenta-se com dois núcleos isolados com valores próximos a 37,2.

A Figura 13 (A,B) mostra os diagramas T-S identificando as massas de água das secções de hidrografia. A curva T-S contínua, representa a curva média calculada por ajuste polinomial. As massas de água presentes acompanham as características clássicas discutidas exaustivamente na literatura e, portanto, vamos nos limitar apenas a descrevê-las sucintamente. A camada superior de 0 a 150 m é ocupada pela Água Tropical (AT), a mais salina e mais quente de todas. Entre a base dessa camada sobrejacente e as profundidades de 500-600 m, espaço ocupado pela termoclina e haloclina permanentes e, portanto, onde ocorrem os maiores gradientes verticais, identifica-se a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), cuja estabilidade permite o ajuste polinomial e a determinação de uma curva T-S analítica, com a finalidade do cálculo das propriedades físicas dependentes, à partir da temperatura medida pelos XBT's; isto será detalhadamente descrito a seguir. Abaixo da ACAS encontramos a Água Antártica Intermediária (AAI), a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e finalmente a Água Antártica do Fundo (AAF), respectivamente, sendo que esta última não foi atingida na sua totalidade devido à limitação da distância atingida da costa e conseqüentemente, a região abissal ficou excluída do escopo deste trabalho.

### Forma polinomial da curva T-S

Os pares de valores (S,T) observados na coluna de água, em todas as estações hidrográficas, foram submetidos a uma análise pelo método dos mínimos quadrados de forma a ajustar-se, para a relação funcional  $S = S(T)$ , o melhor polinômio possível (eq. 1).

$$S(T) = \sum_{i=0}^k \beta_i T^i \quad (1)$$

A variável T (em °C) foi escolhida como independente, para que fosse obtida uma equação polinomial mais conveniente, para cálculos da salinidade (S) e das variáveis dependentes da água do mar (anomalias do volume específico e da profundidade dinâmica).

Os coeficientes polinomiais  $\beta_i$ , dessa equação, foram determinados separadamente para os conjuntos de estações realizadas na região de Abrolhos (estações n<sup>os</sup> 4364 a 4367) e para as executadas ao largo de Cabo Frio, cruzando a Corrente do Brasil (estações n<sup>os</sup> 4368 a 4376). Os coeficientes polinomiais representativos para a curva T-S média dessas regiões são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes da curva T-S sob a forma polinomial

Região	$\beta_0$	$\beta_1 \times 10$	$\beta_2 \times 10^2$	$\beta_3 \times 10^3$	$\beta_4 \times 10^4$	$\beta_5 \times 10^5$
- 20°S	34,245	0,032971	0,273049	0,309659	-0,096846	
C. Frio	35,096	-4,022140	7,39458	-5,111490	1,733360	-0,223220

As curvas T-S médias para as regiões mencionadas no parágrafo anterior, obtidas à partir dos coeficientes polinomiais da Tabela 1, são apresentadas na Figura 13 A,B. O conjunto de pontos discretos de cada uma dessas figuras representa no plano T-S a totalidade dos dados hidrográficos obtidos em cada uma das regiões.

À partir dos desvios entre as curvas T-S médias e os valores observados, procurou-se fazer uma estimativa do desvio padrão(s) para diferentes valores da temperatura e da salinidade ao longo da curva T-S. Estes resultados são apresentados na Tabela 2, onde incluímos também os resultados originais de Sverdrup *et al.*, (1942), que permitem a classificação da Massa de Água Central do Atlântico Sul (ACAS).

Tabela 2. Valores da salinidade média da Massa de Água Central do Atlântico Sul (ACAS) para diferentes valores da temperatura

Temperatura	Salinidade ( $\pm d$ ) <sup>*</sup>	Abrolhos Salinidade ( $\pm s$ )	Cabo Frio Salinidade ( $\pm s$ )
8	34,64 $\pm$ 0,08	34,565 $\pm$ 0,025	34,631 $\pm$ 0,026
10	34,86 $\pm$ 0,08	34,764 $\pm$ 0,041	34,867 $\pm$ 0,020
12	35,11 $\pm$ 0,08	35,012 $\pm$ 0,044	35,124 $\pm$ 0,015
14	35,37 $\pm$ 0,09	35,304 $\pm$ 0,040	35,391 $\pm$ 0,016
16	35,64 $\pm$ 0,10	35,630 $\pm$ 0,045	35,674 $\pm$ 0,017
18	35,90 $\pm$ 0,11	35,978 $\pm$ 0,060	35,983 $\pm$ 0,026

(\*) De acordo com Sverdrup *et al.* (1942, p.741 e 743), com d indicando o máximo desvio no entorno do valor médio.

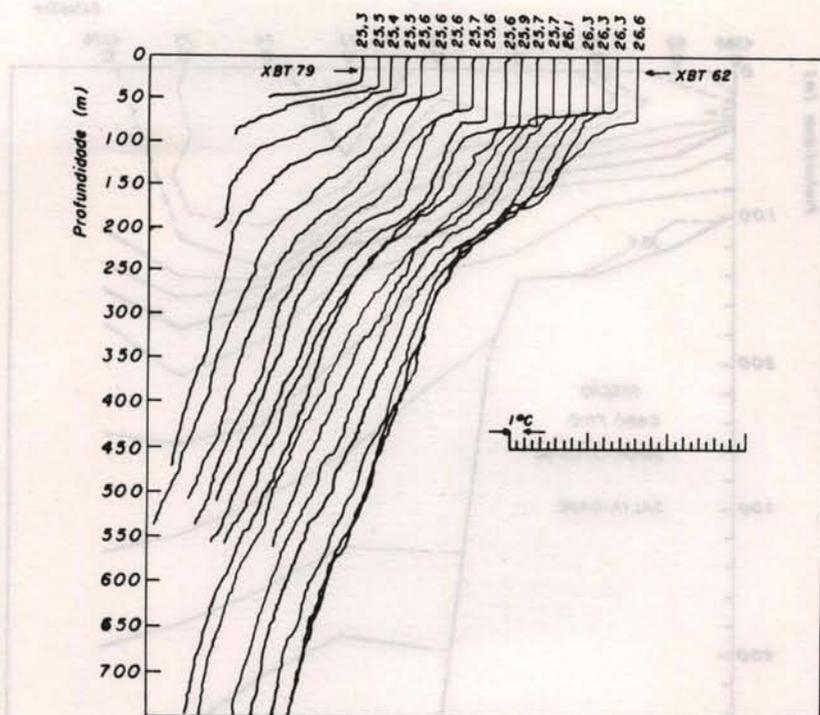


Fig. 9. Detalhes da estrutura térmica vertical amostrada ao longo da Secção V, indicando a presença do "thermostat". Os perfis verticais da temperatura são cópias do registro analógico do XBT.

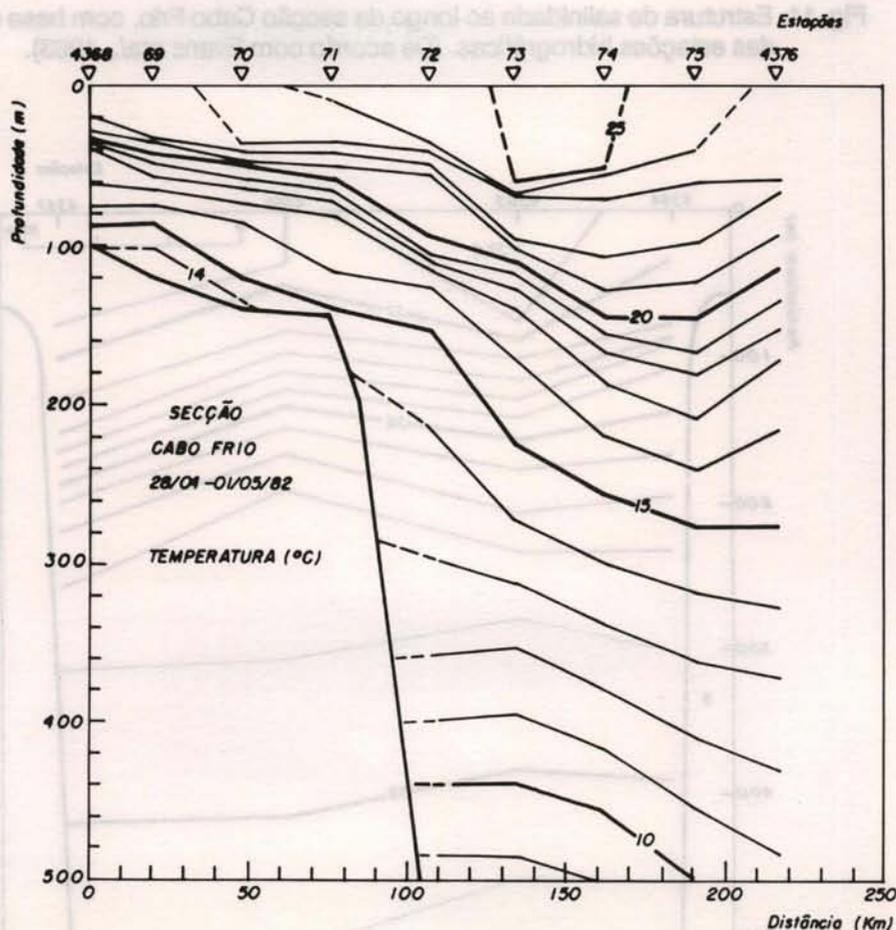


Fig. 10. Estrutura térmica vertical ao longo da secção Cabo Frio, com base nas estações hidrográficas. (De acordo com Evans *et al.*, 1983).

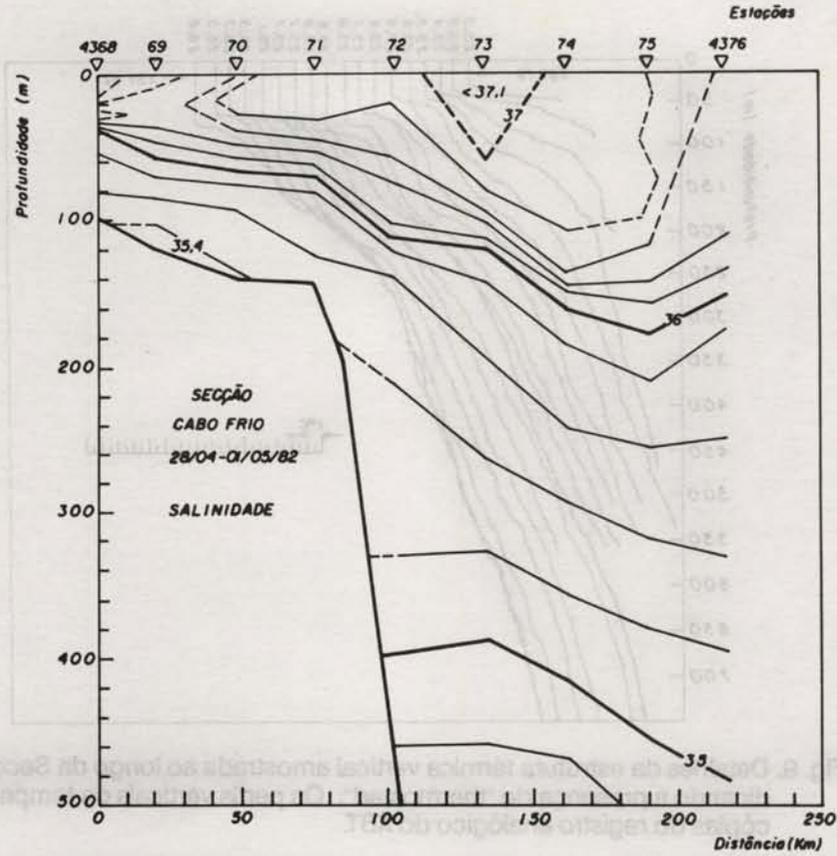


Fig. 11. Estrutura de salinidade ao longo da secção Cabo Frio, com base nos dados das estações hidrográficas. (De acordo com Evans *et al.*, 1983).

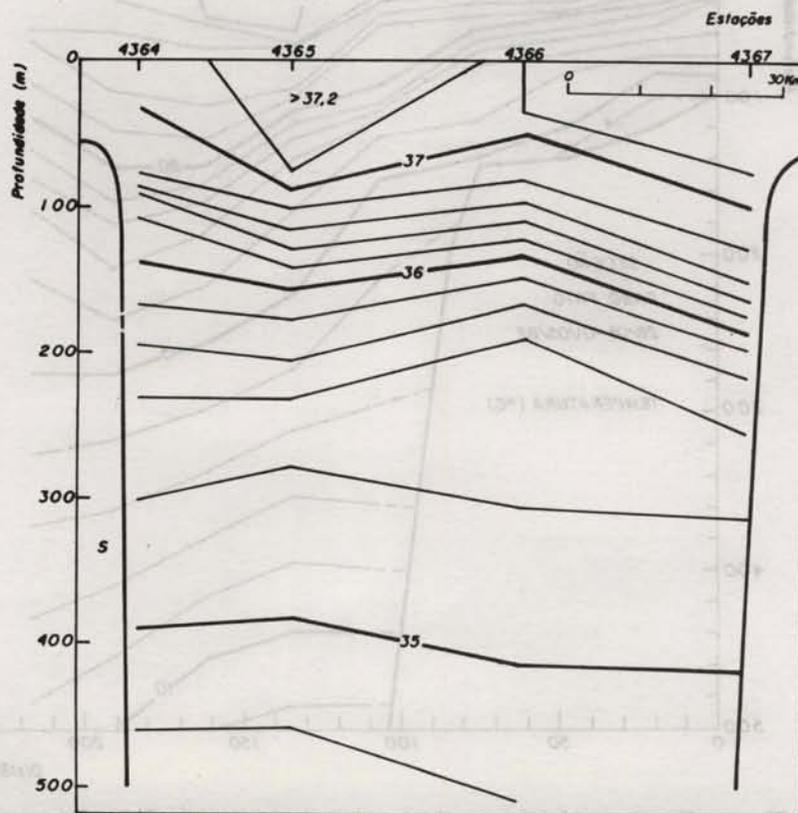


Fig. 12. Estrutura vertical de salinidade entre os bancos ao largo de Abrolhos (Secção IV), em 28/04/82.

A Massa de Água Tropical (AT) sobrejacente a ACAS e portanto em contato direto com a atmosfera, caracteriza-se por apresentar valores de temperatura e de salinidade superiores a 20,0°C e 36,0, respectivamente, de acordo com os critérios de classificação de Deacon (1933), Emilsson (1961) e Thomsen (1962). Esta Massa de Água, em decorrência da atuação dos processos de interação ar-mar, não apresenta uma correlação bem definida sobre o plano T-S (Fig. 13 A,B), razão pela qual o desvio padrão(s) da salinidade, quando calculada pelo ajuste polinomial a partir de valores da temperatura, apresenta valores maiores e aproximadamente iguais a 0,060 e 0,075 para as regiões de Abrolhos e de Cabo Frio, respectivamente.

As curvas T-S médias representadas analiticamente por polinômios de 4 e 5 graus, cujos coeficientes são representados na Tabela 1, foram utilizados para a determinação da estrutura da salinidade a partir dos dados de temperatura registrados em cerca de uma centena de estações de XBT. A utilização deste método que permite também o cálculo de todas as variáveis dependentes da água do mar, que são funções de S, T e p, a partir do conhecimento apenas de estrutura térmica, foi sugerido e discutido por vários pesquisadores, dentre os quais podemos citar Stommel (1947), Yasui (1955) e Emery (1975).

No âmbito da oceanografia regional brasileira a utilização de curvas T-S, para o controle de qualidade de dados hidrográficos, foi sugerida por Bernardi Jr. (1969) e Silva (1973), com base na correlação T-S média do Atlântico Sul, e Miranda (1982; 1985), determinou expressões polinomiais de curvas T-S das águas da plataforma continental e oceânicas, localizadas entre o Cabo de São Tomé e a Ilha de São Sebastião.

#### Salinidade e corrente geostrófica a partir da temperatura (XBT)

As curvas T-S polinomiais obtidas na secção anterior para as regiões de Abrolhos e Cabo Frio, foram utilizadas na obtenção da salinidade a partir do campo de temperatura amostrado detalhadamente com os XBT's.

As Figuras 14 e 15 mostram as secções verticais de salinidade para a radial de Cabo Frio e para a secção do Canal de Abrolhos, respectivamente. Comparando os resultados com as Figuras 11 e 12, verificamos uma boa concordância entre as secções verticais de salinidade obtidas pelo método indireto (curvas polinomiais) e as obtidas a partir da amostragem direta da salinidade pela hidrografia, sendo que o método oriundo dos dados de XBT contém mais detalhes devido à amostragem mais densa.

Com a finalidade de comprovar que o método indireto de determinação da salinidade em função da temperatura, à partir do ajuste polinomial,  $S = S(T)$ , pode reproduzir resultados satisfatórios quando da aplicação do método geostrófico, calculou-se a estrutura de corrente geostrófica em relação à superfície isobárica de 500 decibares. Esses cálculos foram feitos para os conjuntos

de dados hidrográficos e de XBT's, obtidos na secção realizada ao largo de Cabo Frio, e os resultados são apresentados nas Figuras 16 e 17, respectivamente. A superfície isobárica de referência (500 db), está localizada a uma profundidade um pouco maior que a profundidade de movimento nulo obtida por Evans & Signorini (1985), à partir de medidas "in situ" do perfil vertical da velocidade da Corrente do Brasil ao largo de Cabo Frio.

O exame comparativo dessas figuras (16 e 17), mostram uma boa concordância na região próxima ao talude, onde flui a Corrente do Brasil com velocidades máximas na superfície próximas a 30-40  $\text{cm.s}^{-1}$ ; esses valores extremos são muito próximos aos obtidos por medidas direta de corrente em abril de 1983 (Evans & Signorini, *op. cit.*). No restante da secção observa-se uma certa discordância, mas isto provavelmente prende-se ao fato de que a amostragem pelos XBT's é muito mais rica em detalhes do que a hidrografia, devido à maior densidade de medidas ao longo da secção. No extremo sul da secção observa-se a ocorrência de correntes fluindo no sentido oposto à Corrente do Brasil (Fig. 17), resultado este também observado anteriormente nesta região (Miranda & Castro Filho, 1979).

O resultado apresentado no parágrafo anterior, indica claramente que a secção ao largo de Cabo Frio cruzou transversalmente a Corrente do Brasil. A localização do núcleo de máxima velocidade, na parte sudoeste da região investigada, é bastante concordante com a configuração geral e orientação dos pixels de altas temperaturas encontrados na mesma área.

Finalmente, a Figura 18 apresenta os transportes de volume resultante obtidos para todas secções de XBT amostradas, indicando, em cada secção o valor obtido em Sverdrups ( $1\text{Sv} = 10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ), em relação ao nível de referência de 500 dbar. Através das secções que delimitam os volumes de controle selecionados, entre as latitudes de 19 e 22°S, obtém-se um balanço quase perfeito para essa quantidade física. O transporte de volume resultante para a Corrente do Brasil ( $\sim 3,3 \text{ Sv}$ ) é inferior em 0,5 Sv ao obtido por Evans *et al.* (1983), utilizando o mesmo conjunto de dados oceanográficos; essa diferença decorre da exclusão, nesse trabalho, das parcelas atribuídas a fluxos contrários a essa corrente.

#### Conclusões

A posição superficial e subsuperficial da Corrente do Brasil, entre as latitudes de 19 e 25°S, foi mapeada com o emprego dos dados de temperatura de amostradores descartáveis, do tipo XBT. As distribuições espaciais da topografia das isotermas de 15 e 20°C, indicam um escoamento organizado dessa corrente ao longo do talude continental. O núcleo de máxima velocidade (30-40  $\text{cm.s}^{-1}$ ), pode ser identificado como a região na qual as isotermas de 15 e 20°C ocupam as profundidades de 160 a 260 m, e 120 a 160 m, respectivamente. A largura do núcleo da Corrente do Brasil, estimada com os dados do satélite é de aproximadamente 25-30 km e seu limite oeste é mantido a cerca de 100 km da costa até a latitude de 24°S, resultados estes muito próximos aos obtidos com as medições "in situ".

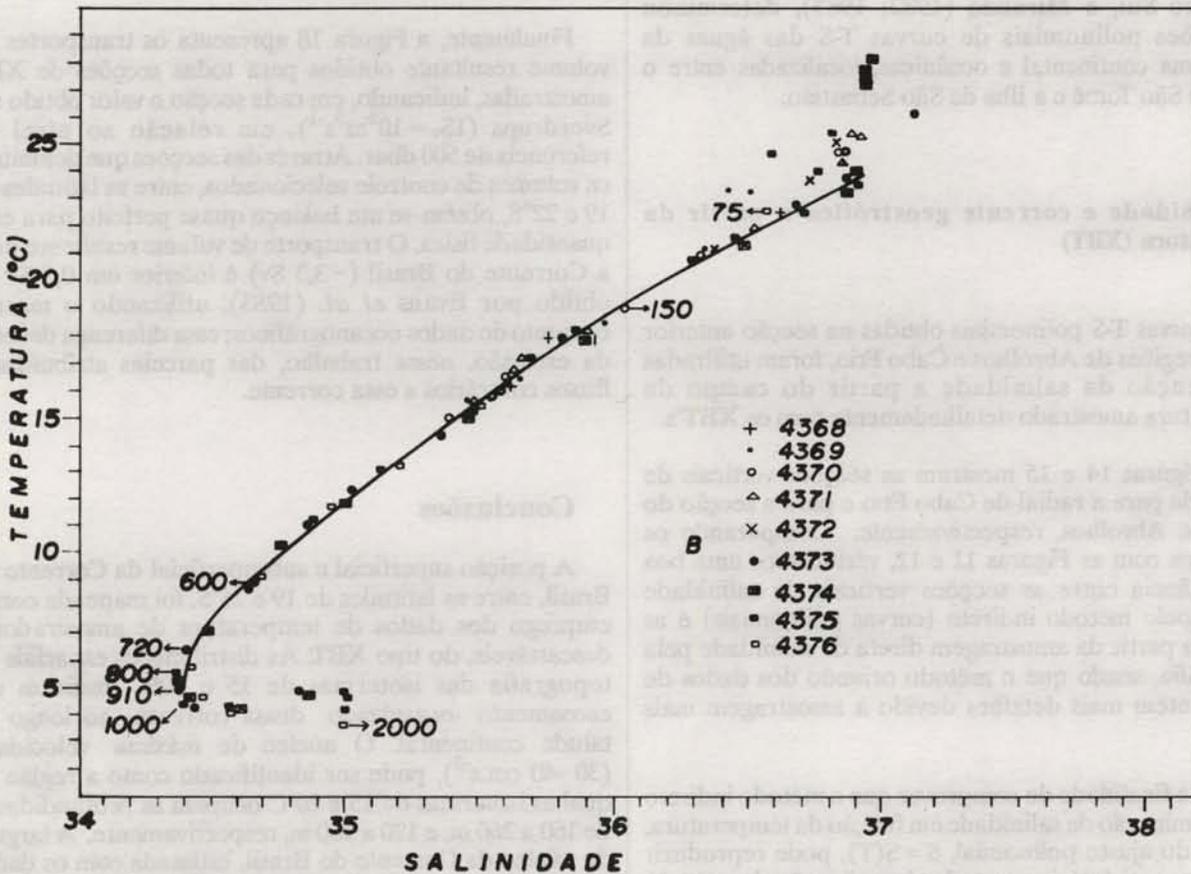
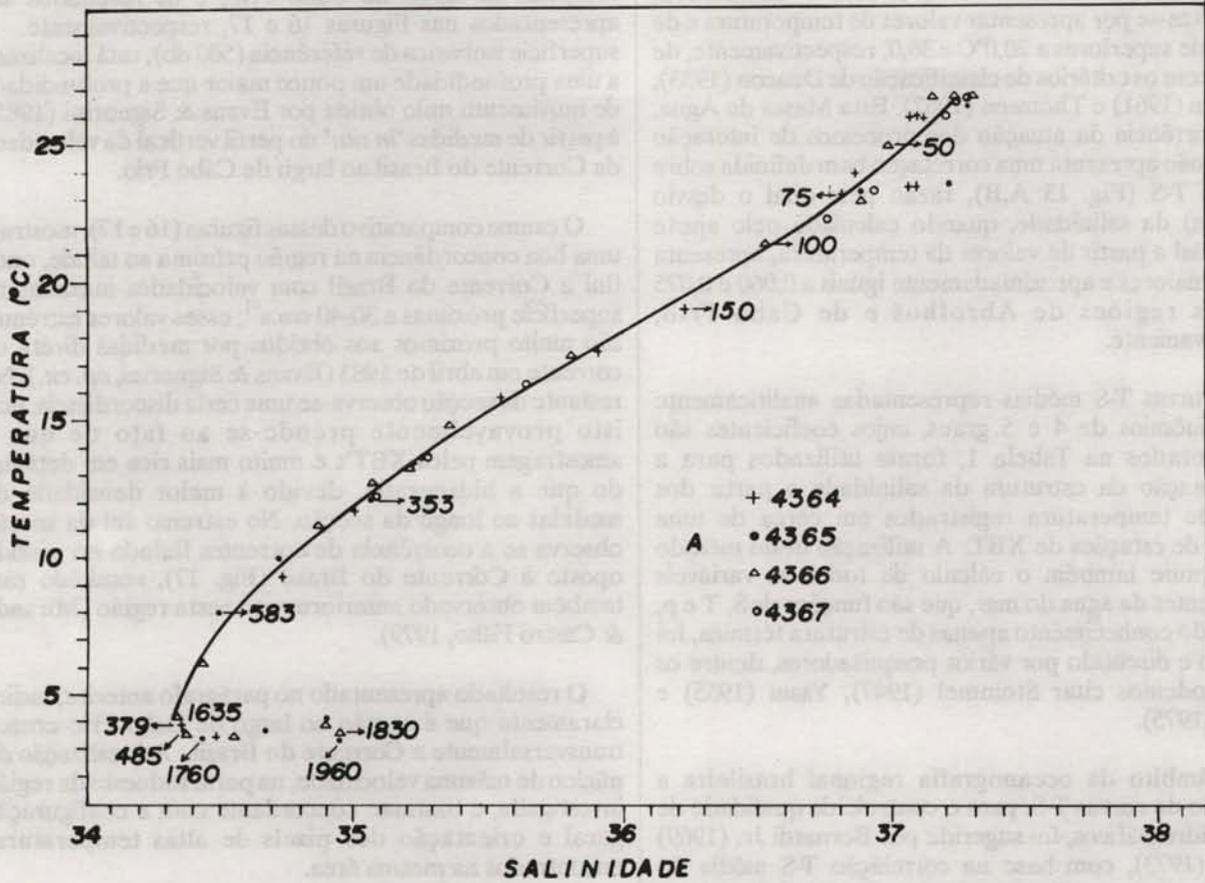


Fig. 13. Diagrama T-S espalhado para as regiões de Abrolhos (A) e de Cabo Frio (B). As curvas T-S indicadas por traços contínuos representam graficamente os resultados do ajuste polinomial.

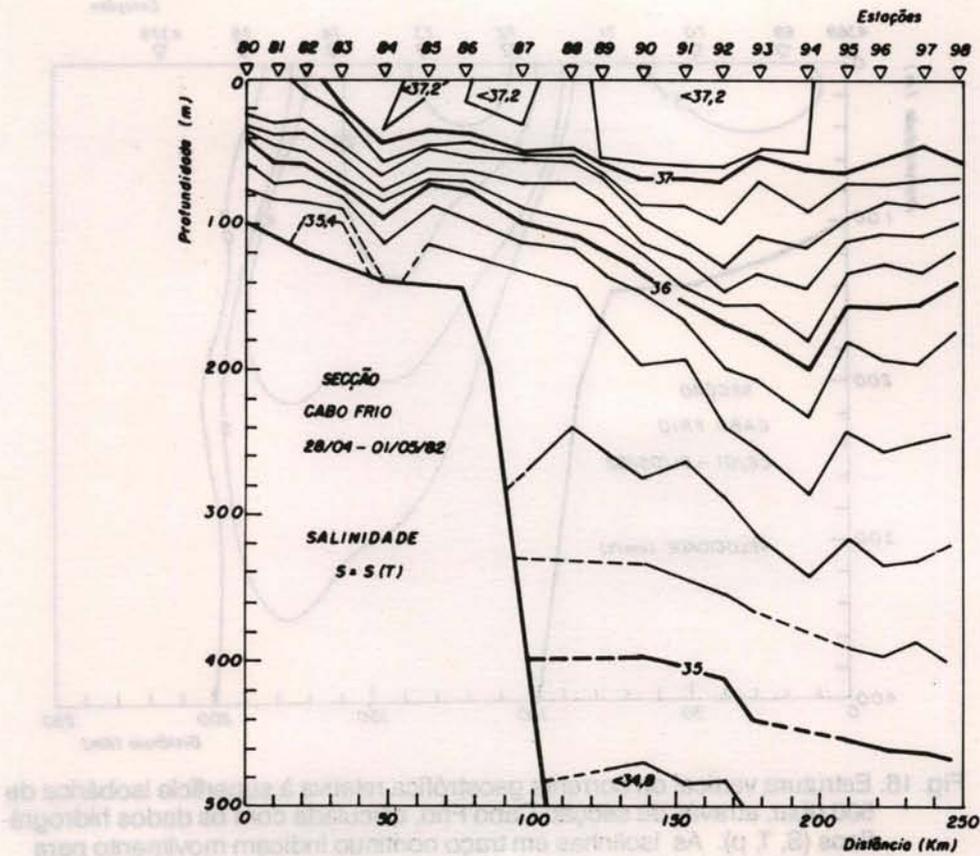


Fig. 14. Estrutura vertical de salinidade, ao longo da secção Cabo Frio, calculada indiretamente à partir dos perfis verticais de temperatura medidos com XBT.

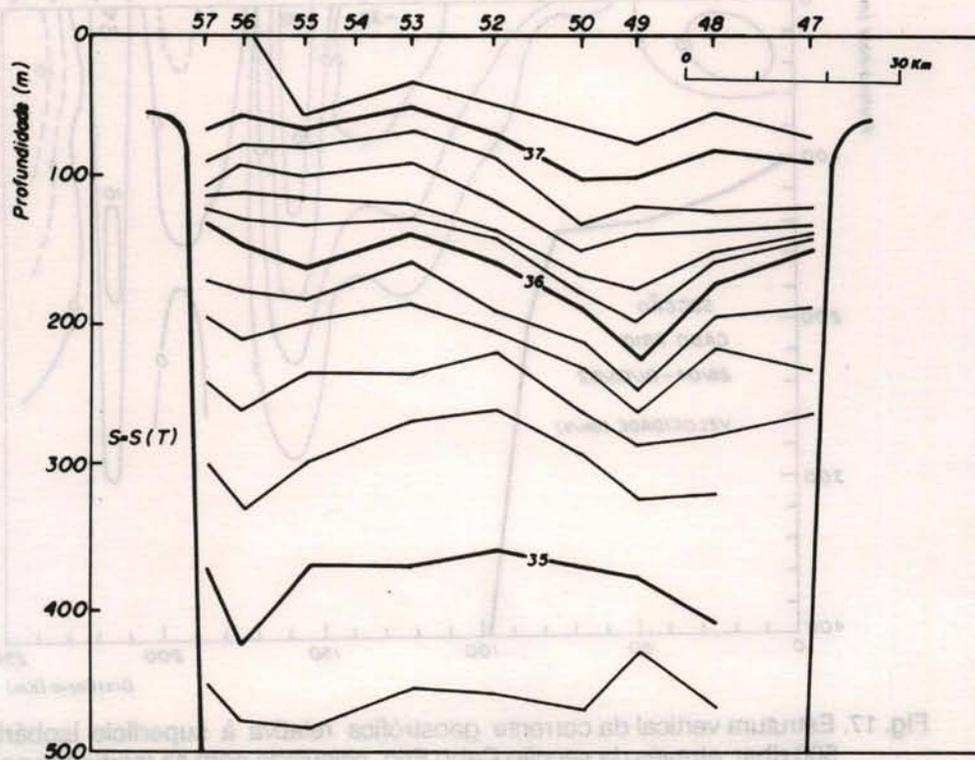


Fig. 15. Estrutura vertical de salinidade, ao longo da secção entre os Bancos de Abrolhos (Secção IV), calculada indiretamente à partir dos perfis verticais de temperatura medidos com XBT.

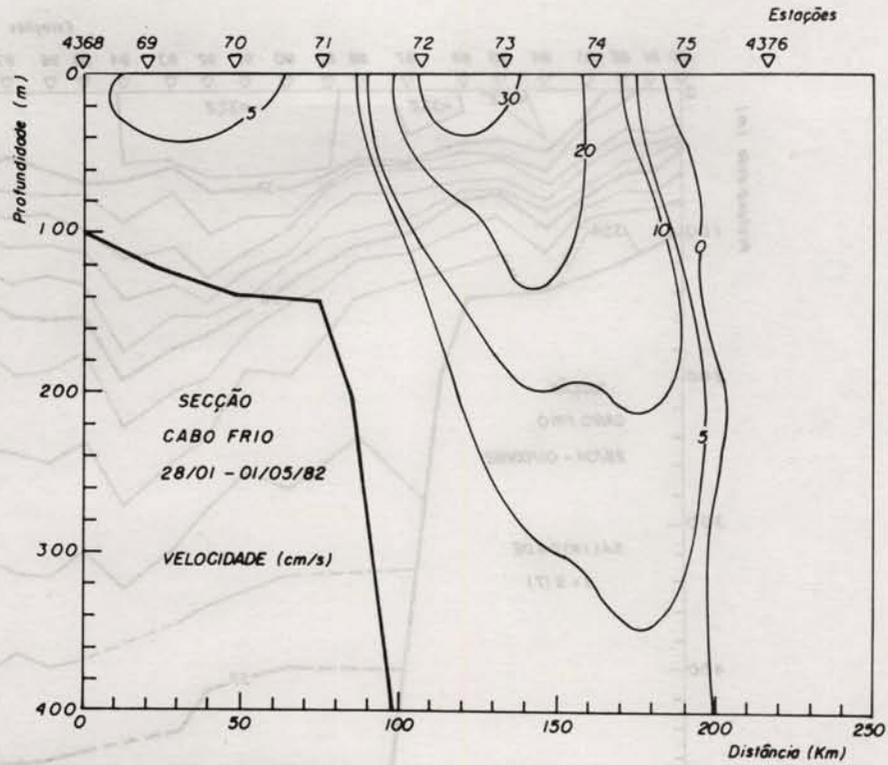


Fig. 16. Estrutura vertical da corrente geostrófica relativa à superfície isobárica de 500 dbar, através da secção Cabo Frio, calculada com os dados hidrográficos (S, T, p). As isolinhas em traço contínuo indicam movimento para SW e as tracejadas para NE.

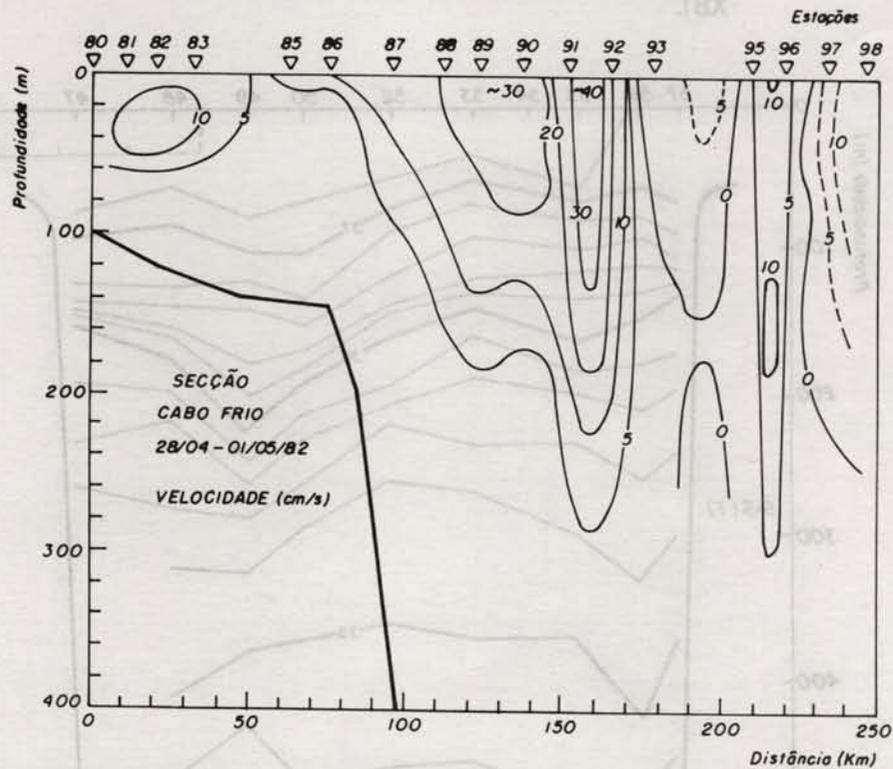


Fig. 17. Estrutura vertical da corrente geostrófica relativa à superfície isobárica de 500 dbar, através da secção Cabo Frio, calculada com as medições com XBT [S(T), T, p]. As isolinhas em traço contínuo indicam movimento para SW e as tracejadas para NE.

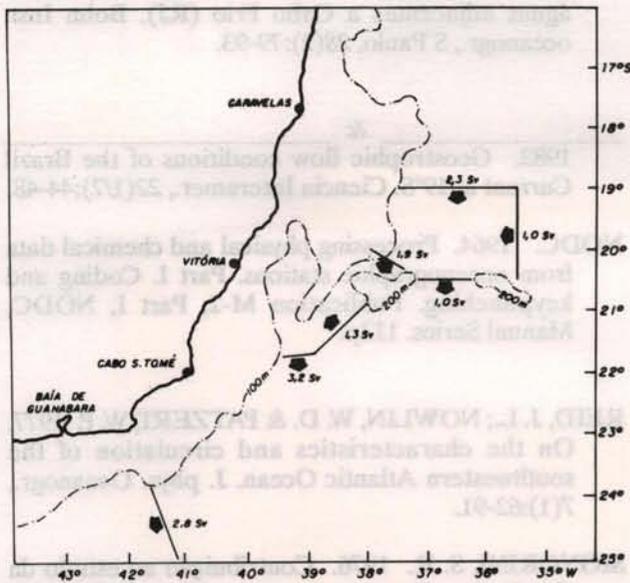


Fig. 18. Balanço do transporte de volume resultante através das secções I a V e Cabo Frio, calculado com as medições com XBT [S(T), T, p].  
 $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

O canal dos Bancos de Abrolhos mais próximos do talude (lat. =  $20^{\circ}10'S$  e long. =  $037^{\circ}40'W$ ), foi apontado como sendo a passagem mais provável da maioria do fluxo da Corrente do Brasil. Os valores do transporte da corrente, referidos à superfície isobárica de 500 dbar, variou entre 1,0 e 3,3 Sv, sendo este valor apenas relativo desde que não foi possível medir velocidades absolutas nesta fase da pesquisa. A imagem do sensoriamento remoto do dia 2 de maio, mostra uma estreita conexão zonal entre a água da Corrente do Brasil nas proximidades da posição Lat.  $19^{\circ}S$  e Long.  $036^{\circ}W$ , e uma extensão do seu núcleo nas proximidades da costa. Após atingir os Bancos de Abrolhos, o núcleo da corrente continua sobre a plataforma continental e, após atingir a profundidade de 200 m, orienta-se para o sul fluindo aproximadamente ao longo dessa isóbata até as proximidades de Cabo Frio.

O método pioneiro de Stommel (1947) para o cálculo das anomalias da altura dinâmica a partir de medidas da temperatura, e com salinidades derivadas de curvas T-S médias, obtidas por ajustes polinomiais, foi empregado com sucesso para o cálculo dos transportes através de todas secções de XBT amostradas.

Um dos resultados importantes desse estudo foi a identificação de uma camada quase-homogênea de temperatura em torno de  $23^{\circ}C$ , centrada a uma profundidade de 120 m, a qual denominamos de "thermostat" de  $23^{\circ}C$ . A sua origem, ainda que não totalmente entendida, pode estar relacionada à formação da termoclina sazonal durante o verão, cuja estabilidade vertical pode ocasionar a permanência em profundidade de uma parte residual da camada de mistura, gerada durante o inverno pelos processos convectivos e de mistura vertical. Esta particularidade da estrutura térmica só pode ser identificada pela amostragem contínua dos XBT. Outro resultado é a aparente importância dos

Bancos de Abrolhos em defletir, em direção à costa, a água oceânica de superfície e subsuperfície da Corrente do Brasil. Depois de alcançar a plataforma continental ela subsequentemente flui ao longo da isóbata de 200 m até as proximidades de Cabo Frio.

## Resumo

Para obter informações sobre a variação espacial da estrutura térmica e localizar a Corrente do Brasil, ao norte e ao sul dos bancos submarinos localizados a  $20^{\circ}30'S$  realizou-se, em abril de 1982, um levantamento oceanográfico nessa região. Dados de sensoriamento remoto foram também obtidos durante os trabalhos experimentais para um delineamento sinótico da estrutura térmica de superfície.

Observou-se, ao longo da maioria das secções, um "thermostat" de  $23^{\circ}C$  na termoclina principal. Ao longo das secções com intenso sinal baroclínico, tal como na secção ao largo de Cabo Frio, o "thermostat" atenua-se e finalmente desaparece nas proximidades da costa, de forma semelhante ao desaparecimento da água de  $18^{\circ}C$  na parede norte da Corrente do Golfo.

A estrutura da corrente e o transporte de volume, relativos à superfície isobárica de 500 dbar, foram obtidos usando-se os dados hidrográficos e também as medidas com XBT, as quais foram realizadas com espaçamentos muito menores do que o das estações hidrográficas. A comparação desses resultados, para o conjunto de observações conduzidas ao largo de Cabo Frio, indica que detalhes da corrente geostrofica não são delineados quando da utilização dos dados hidrográficos; os correspondentes valores do transporte de volume diferem em aproximadamente 17% (3,3 e 2,8 Sv, calculados com dados hidrográficos e de XBT, respectivamente).

O balanço do transporte de volume, através de todas as secções entre  $19^{\circ}$  e  $22^{\circ}S$ , indica que a Corrente do Brasil flui através da passagem entre os bancos localizados mais próximos da costa. O transporte de volume resultante (2,9 Sv) é muito próximo do valor obtido através da secção ao largo de Cabo Frio, onde supõe-se que a extensão transversal da Corrente do Brasil foi delimitada pelo conjunto de observações.

## Agradecimentos

Os autores desejam agradecer às seguintes instituições que, em conjunto, completaram a contrapartida brasileira para a realização dos trabalhos experimentais do Projeto TRANSCOBRA: Instituto Oceanográfico da USP, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE/CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Ao Dr. Henry Stommel, do Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), pelo incentivo recebido e empréstimo do Sistema Explendable Bathythermograph (XBT). Desejamos também agradecer a valiosa colaboração de José Carlos Moreira do INPE/CNPq, pelo desenvolvimento do programa para a composição digital das imagens pelo Sistema General Electric Image-100.

Finalmente, agradecemos aos Centros de Computação da Escola Politécnica (CCE) e do Instituto de Física (SEMA), pela utilização de seus respectivos computadores.

## Referências bibliográficas

- BERNARDI Jr., H. 1969. Estudo preliminar sobre um método estatístico para controle de dados oceanográficos. *Anais hidrogr.*, Rio de Janeiro, 26(DH 3-26):165-174.
- BUSCAGLIA, J. L. 1971. On the circulation of the Intermediate Water in the southwestern Atlantic Ocean. *J. mar. Res.*, 29:245-255.
- DEACON, G. E. R. 1933. A general account of the hydrology of the South Atlantic Ocean. 'Discovery' Repts, 7:171-238.
- DEFANT, A. 1941. Die absolute Topographie des physikalischen Meeresniveaus und der Druckflächen, sowie die Wasserbewegungen im Raum des Atlantischen Ozean. *Wiss. Ergebn. dt. atlant. Exped. 'Meteor'*, 6(2, Lief. 5):191-260.
- EMERY, W. J. 1975. Dynamic height from temperature profiles. *J. phys. Oceanogr.*, 5(2):369-375.
- EMILSSON, I. 1961. The shelf and coastal waters off southern Brazil. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 11(2):101-112.
- EVANS, D. L. & SIGNORINI, S. R. 1985. Vertical structure of South Atlantic currents. *Nature, Lond.*, 315(6014):48-50.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_ & MIRANDA, L. B. de. 1983. A note on the transport of Brazil Current. *J. phys. Oceanogr.*, 13(9):1732-1738.
- FU, L. L. 1981. The general circulation and meridional heat transport of the Subtropical South Atlantic determined by inverse methods. *J. phys. Oceanogr.*, 11(9):1171-1193.
- FUGLISTER, F. C. 1960. Atlantic Ocean atlas of temperature and salinity profiles and data for the International Geophysical Year of 1957-1958. Woods Hole oceanogr. Instn Atlas Ser., (1).
- KEYTE, F. K. 1965. On the formulas for correcting reversing thermometers. *Deep-Sea Res.*, 12:163-172.
- LaFOND, E. C. 1951. Processing oceanographic data. *Publs U.S. hydrogr. Off.*, (614):1-114.
- MIRANDA, L. B. de. 1982. Análise de massa de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) a Ilha de São Sebastião (SP). Tese de livre-docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 123p. + figs.
- \_\_\_\_\_. 1985. Forma da correlação T-S de massas de água das regiões costeiras e oceânica entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 33(2):105-119.
- MIRANDA, L. B. de & CASTRO FILHO, B. M. de. 1979. Condições do movimento geostrofico das águas adjacentes a Cabo Frio (RJ). *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 28(2):79-93.
- \_\_\_\_\_. & \_\_\_\_\_ 1982. Geostrophic flow conditions of the Brazil Current at 19°S. *Ciencia Interamer.*, 22(1/2):44-48.
- NODC. 1964. Processing physical and chemical data from oceanographic stations. Part I. Coding and keypunching. Publication M-2, Part I, NODC, Manual Series. 113p.
- REID, J. L.; NOWLIN, W. D. & PATZERT, W. P. 1977. On the characteristics and circulation of the southwestern Atlantic Ocean. *J. phys. Oceanogr.*, 7(1):62-91.
- SIGNORINI, S. R. 1976. Contribuição ao estudo da circulação e do transporte de volume da Corrente do Brasil entre o Cabo de São Tomé e a Baía de Guanabara. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 25:157-220.
- \_\_\_\_\_. 1978. On the circulation and the volume transport of the Brazil Current between the Cape of São Tomé and Guanabara Bay. *Deep-Sea Res.*, 25:481-490.
- SILVA, P. de C. M. da. 1973. A ressurgência em Cabo Frio (I). *Publções Inst. Pesq. Marinha*, (78):1-55.
- STOMMEL, H. S. 1947. Note on use of the T-S correlation for dynamic height anomaly computations. *J. mar. Res.*, 6(2):85-92.
- \_\_\_\_\_. 1980. Asymmetry of interoceanic fresh-water and heat fluxes (ocean heat budget/climate/water balance). *Proc. natn Acad. Sci. U.S.A.*, 77(5):2377-2381.
- SVERDRUP, H. U.; JOHNSON, M. W. & FLEMING, R. H. 1942. The ocean; their physics, chemistry, and general biology. Englewood Cliffs, Prentice-Hall. 1087p.
- THOMSEN, H. 1962. Masas de aguas características del Oceano Atlántico parte sudoeste. *Publico Serv. hidrogr. nav.*, B. Aires, (H-632):1-27.
- UNESCO. 1981a. Tenth report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards. UNESCO tech. Pap. mar. Sci., (36):1-25.
- \_\_\_\_\_. 1981b. International oceanographic tables. UNESCO tech. Pap. mar. Sci., (39):1-111.
- WRIGHT, W. R. 1970. Northward transport of Antarctic Bottom Water on the Western Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 17:367-371.

- WÜST, G. 1935. Die Stratosphäre. Wiss. Ergbn. dt. atlant. Exped. 'Meteor', 6(1):109-288.
- YASUI, M. 1955. On the rapid determination of the dynamic depth anomaly in the Kuroshio area. Rec. oceanogr. Wks Japan, 2(2):90-95.

*(Recebido em 22-03-85;  
aceito em 20-10-89)*