

Relatório do Projeto “Oceanografia da Plataforma Interna de São Sebastião” (OPISS) Subprograma Oceanografia Física

(Technical Report “Oceanography in the inner shelf of São Sebastião” (OPISS)
Physical Oceanography Subprogram)

Lourval dos Santos Silva; Luiz Bruner de Miranda & Belmiro Mendes de Castro

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
(Caixa Postal 66149, CEP 05315-970 São Paulo, SP, Brasil)

-
- **Abstract:** Hydrographic and current data from the São Sebastião Channel, sampled from February 1994 to March 1995 during six nearly synoptic experiments, and the hydrographic survey in the adjacent coastal region from February 1994, were analyzed. High spatial variation in the thermal and haline fields were observed in the inner shelf around the São Sebastião Island, as well as local indications of upward motions eastward of the island in the summer. Simultaneous current and hydrographic profiles within the channel indicated that summer northward subsurface currents are associated with South Atlantic Central Water intrusions through the southern channel entrance, generating near-bottom thermoclines and haloclines; on the other hand, quasi-homogeneous hydrographic conditions were observed in the winter. In the summer sampling periods of 1994 and 1995 the two-layer flow was not so conspicuous as in previous studies. The highest intensities of the along-channel current occurred in the narrowest cross section of the channel, with intensities of 0.90 m s^{-1} (northward) and -0.65 m s^{-1} (southward) in January 1995 and March 1994, respectively. The estimated along-channel volume transport was almost continuous across the southern and intermediate cross sections, with maximum of $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, in January 1995, and $-1.9 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in March 1994. The smaller water renewal, comprising the southern region and the insular side of channel in the northern, was estimated in 1.6 days. Evidences of anticyclonic gyres were also observed near the channel southern entrance.
 - **Resumo:** Dados hidrográficos e correntométricos quase-sinóticos, amostrados no Canal de São Sebastião, no período de fevereiro de 1994 a março de 1995, e na região costeira adjacente, em fevereiro de 1994, foram analisados. Na plataforma interna, ao redor da Ilha de São Sebastião, foi observada acentuada variação espacial nas estruturas térmica e halina e, também, indicações da ocorrência de movimentos ascendentes na região a leste da ilha no verão. Perfis simultâneos de propriedades hidrográficas e de corrente no Canal de São Sebastião indicaram que correntes sub-superficiais fluindo para NE através da entrada sul, estão associadas a intrusões de massas de água com propriedades que indicam influências da Água Central do Atlântico Sul. Essa influência advectiva ocasiona a formação de termoclinas e haloclinas nas camadas mais profundas do canal, que contrastam com as condições hidrográficas quase homogêneas observadas no inverno. Nos períodos de verão, amostrados em 1994 e 1995, a circulação não exibiu movimentos bidirecionais em duas camadas tão pronunciados como em estudos anteriores. Os valores mais intensos da componente longitudinal da corrente ocorreram na seção transversal mais estreita do canal, com intensidades de $0,90 \text{ m s}^{-1}$ (para o norte) e $-0,65 \text{ m s}^{-1}$ (para o sul) em janeiro de 1995 e março de 1994, respectivamente. O transporte de volume apresentou condições de quase continuidade através das seções transversais intermediárias e os maiores valores para o norte e para o sul foram $2,0 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, em janeiro de 1995, e $-1,9 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em março de 1994. O menor intervalo de tempo de renovação do volume de água compreendendo a parte sul e ao norte, somente o lado insular do canal, foi estimado em 1,6 dias. Evidências de giros anticiclônicos também foram observadas na entrada sul do canal.
 - **Descriptors:** Thermohaline structure, Current, Volume transport, Water renewal.
 - **Descritores:** Estrutura termohalina, Corrente, Transporte de volume, Renovação de água.

Introdução

O Canal de São Sebastião (CSS) e a região costeira adjacente estão localizados na parte central da Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSE) (Fig. 1). Ao largo dessa região encontra-se a Corrente do Brasil que transporta, ao longo do talude continental, massas de água de origens distintas: Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS). O CSS está, em geral, situado na plataforma interna, sendo preenchido principalmente pela Água Costeira (AC). As características hidrográficas dessa última massa de água apresentam grandes variações sazonais, sendo influenciadas pela descarga fluvial e tendendo a ser verticalmente homogêneas devido aos processos de mistura causados pelo vento e pelo cisalhamento das correntes. Massas de água da Plataforma Interna (AC) e Média (ACAS) são separadas por uma Frente Térmica Profunda (FTP) (Castro, 1996). A posição dessa frente varia sazonalmente, estando mais próxima da costa (10-20 km) durante o verão e à distância maior no inverno (40-50 km). A FTP é mais pronunciada no verão quando, através dela, há uma variação de temperatura de aproximadamente 10°C (Castro & Miranda, 1998a).

As águas da Plataforma Média têm uma estrutura em duas camadas, principalmente no verão, quando se desenvolve uma termoclina sazonal relativamente rasa, relacionada com a FTP. Nessa situação, as camadas mais profundas são predominantemente ocupadas pela ACAS. Essa massa de água de origem subtropical contribui com um volume superior a 50% da água da plataforma continental, para a formação das massas de água que ocupam a região leste da Ilha de São Sebastião (Miranda, 1982; Castro, 1996).

A análise de perfis de corrente, registros na forma de séries temporais e dados de recuperação de corpos de deriva evidenciaram que a circulação no CSS caracteriza-se por movimentos de baixa frequência para o norte e para o sul, muito pouco influenciados pelas oscilações da maré (Emilsson, 1962; Kvinge, 1967; Castro, 1990; Fontes, 1995; Miranda & Castro, 1995; Souza & Castro, 1996*) e com movimentos residuais predominantemente para o norte (Furtado, 1978; Furtado *et al.*, 1987; Castro, 1985 e Castro & Miranda, 1998b). A circulação

na plataforma do litoral norte do Estado de São Paulo, que condiciona a circulação do CSS, foi estudada por Castro (1996) e por Moreira (1998) com base em séries temporais de dados correntográficos registrados em fundeios localizados nas proximidades das entradas norte e sul do CSS. As correntes, predominantemente subinerciais, apresentam alta variabilidade temporal, sendo difícil definir valores médios sazonais. Moreira (1998), entretanto, observou que a corrente média dos fundeios localizados ao norte e ao sul do CSS tinham sentidos opostos para SW e NE, respectivamente.

Com o objetivo de investigar as características da forçante atmosférica e a resposta subinercial das águas do CSS, Castro (1990) analisou e comparou dados simultâneos de vento, corrente e nível do mar no canal, e de pressão atmosférica e nível do mar na PCSE, observados durante o inverno de 1979. Um dos resultados desse trabalho foi que a maior parte da variância nas séries de tempo (alisadas com um filtro passa-baixa com corte em 40 h) das correntes no interior do canal está concentrada em duas faixas de frequência: 3-4 e 11-16 dias.

Um conjunto de dados correntográficos coletados no CSS, durante os anos de 1992 e 1993, foi analisado por Fontes (1995), evidenciando um padrão sazonal de circulação, com velocidades médias entre 0,40 e 0,60 m s⁻¹. A circulação mostrou-se essencialmente barotrópica e com movimento unidirecional predominantemente para NE durante o outono, inverno e primavera. No verão, ocorreram movimentos com natureza baroclínica em duas camadas: predominantemente para SW e para NE nas camadas superficial e profunda, respectivamente, observados também nos resultados experimentais inéditos de Miranda & Castro (1995). Ainda, segundo o autor, os fluxos baroclínicos estariam associados à tensão de cisalhamento do vento na plataforma adjacente e à penetração da ACAS pela extremidade sul do canal. Por sua vez, o estudo das correntes geradas pela maré, realizado com medidas de corrente em séries temporais nas entradas norte e sul do CSS, na superfície e próximo ao fundo, demonstrou quantitativamente que a amplitude máxima da componente semi-diurna foi ao redor de 0,03 m s⁻¹.

Os objetivos deste trabalho são: analisar a variação espacial das propriedades hidrográficas na plataforma interna adjacente à Ilha de São Sebastião (ISS) no verão e a variação anual das características hidrográficas, da circulação e do transporte advectivo de volume ao longo do CSS.

(*) Souza, M. C. A. & Castro, B. M. 1996. Comparação dos métodos lagrangeano e euleriano no estudo das correntes do Canal de São Sebastião. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. 4. Ribeirão Preto, SP. 1996. Resumos. São Paulo, USP. 2:220p.

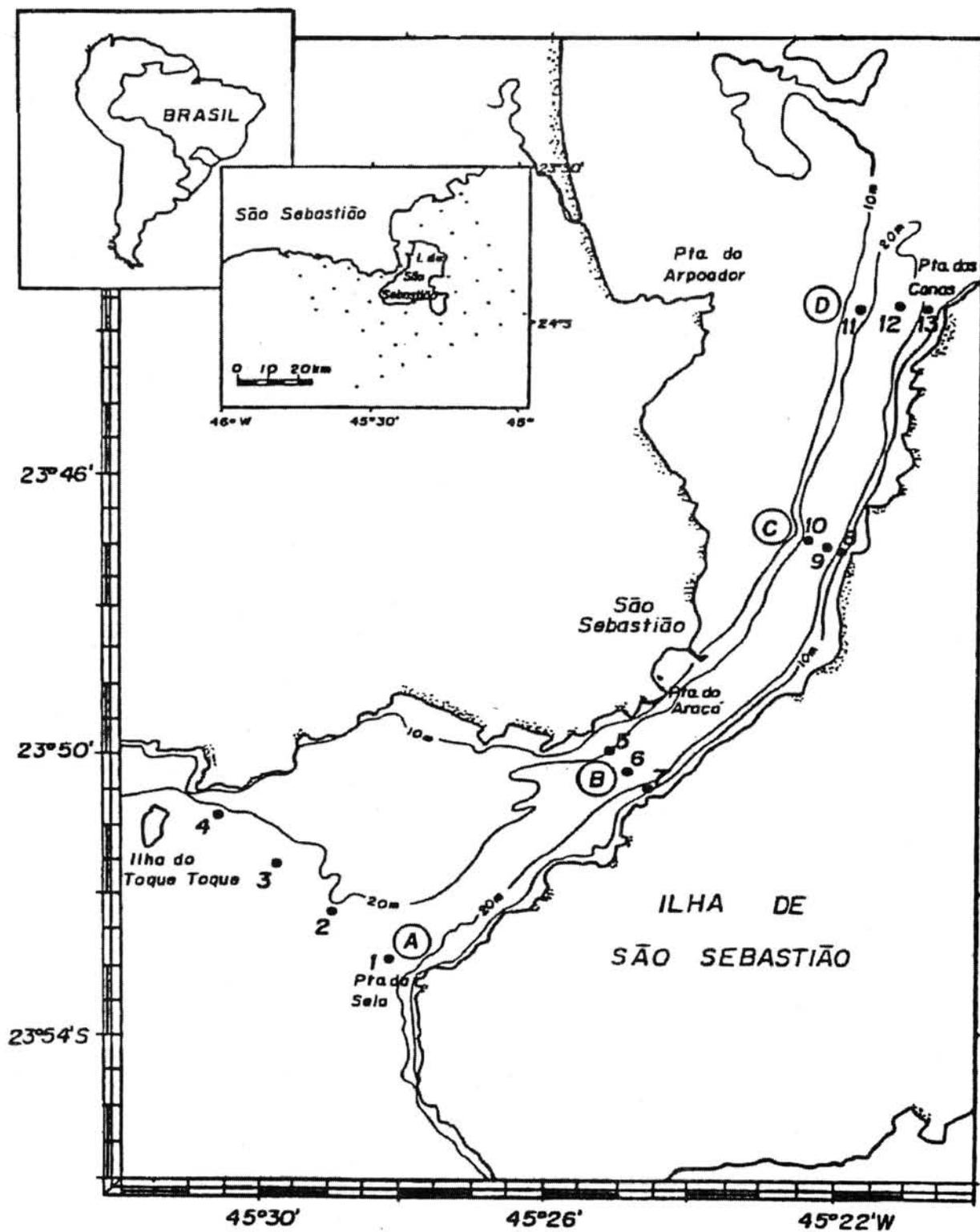


Fig. 1. A plataforma continental interna adjacente à Ilha de São Sebastião e o Canal de São Sebastião com as redes externa e interna de estações hidrográficas e correntométricas.

Dados e metodologia

No período de 7 a 10 de fevereiro de 1994 foram obtidos dados hidrográficos quase-sinóticos de salinidade (S) e temperatura (T) em função da pressão, em uma rede de estações ao largo da Ilha de São Sebastião (Fig. 1). As propriedades temperatura ( C), condutividade elétrica (mS cm⁻¹) e pressão (decibar) foram medidas em perfilamentos contínuos com um CTD Seabird. A condutividade da água do mar foi convertida em razão de condutividade elétrica e a salinidade foi calculada pelo algoritmo da Escala Prática de Salinidade (UNESCO, 1981). O cruzeiro oceanográfico programado para o inverno, que seria realizado simultaneamente ao experimento no interior do canal, foi adiado por motivo de força maior.

Outros seis experimentos com medidas hidrográficas e correntom tricas foram realizados em uma rede interna ao Canal de São Sebastião. As 13 estações oceanográficas dessa rede foram dispostas em 4 seções transversais ao CSS (seções A, B, C e D — Fig. 1); entretanto, devido a dificuldades experimentais, nas seções C e D localizadas ao norte da Ponta do Ara a as estações foram dispostas apenas na parte insular ou principal do canal. Os perfilamentos de temperatura ( C) e de salinidade na rede interna nos cruzeiros de fevereiro, março, outubro de 1994 e janeiro de 1995, foram feitos com um Termosalin metro Portátil Beckman, mod. RS5-3, com a salinidade em partes por mil (‰). Um mini-CTD, modelo SD200, da SensorData A/S, configurado para uma taxa de amostragem de uma medida a cada cinco segundos, foi utilizado para os perfilamentos no cruzeiro de julho de 1994, com a salinidade determinada também em ‰. Em março de 1995 foi utilizado um CTD Seabird, modelo Seacat, com medidas contínuas de condutividade elétrica e temperatura em função da pressão. Tal como na rede externa, com esse equipamento a salinidade foi determinada pelo algoritmo da Escala Prática de Salinidade. Os valores de salinidade determinados com esses instrumentos foram comparados com os resultados de amostras de água analisadas com um salin metro indutivo Beckman, modelo RS-7C. Embora os instrumentos utilizados tenham efetuado medidas de salinidade nas escalas clássica (‰) e na Escala Prática, para uniformizar a descrição dessa propriedade ela foi considerada adimensional, de acordo com UNESCO (1981).

A velocidade da corrente (intensidade e direção) foi medida com um mini-corrent metro da Sensordata A/S, modelo SD4, com resoluções de direção e de intensidade iguais a 15  e 0,01 m s⁻¹, respectivamente, lançado a partir do barco fundeado pela proa. Esse instrumento foi configurado com uma

taxa de amostragem de uma medida a cada 150 segundos e o perfilamento de velocidade em cada estação demorou entre 15 e 30 minutos, de acordo com a profundidade local. Para minimizar a influência do calado da embarcação essas medidas foram feitas a partir da profundidade de 2 m, até as proximidades do fundo, em intervalos de 3 ou 5 m. Em regime de velocidade pouco intensa, o corrent metro registrou em uma dada profundidade mais de uma direção; nesses casos, foi utilizada como direção da corrente o valor médio.

A decomposição dos vetores velocidade nas direções longitudinal (v) e transversal (u) ao canal e o cálculo do transporte de volume foi feito com referência a um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais. Os eixos Ox e Oy foram orientados transversalmente e ao longo do canal e no sentido positivo para SE e NE, respectivamente. Para essa decomposição foi considerada a declinação magnética local (20 W) e, para a rotação dos eixos coordenados, foi levada em conta a curvatura do CSS. De acordo com essa orientação, valores positivos de u e v indicam movimentos do continente para a ilha e do sul para o norte, respectivamente. Para representar a terceira dimensão do canal o eixo Oz, com a origem na superfície livre, foi orientado positivamente no sentido contrário ao da aceleração da gravidade.

Todos os dados hidrográficos (contínuos ou discretos) e as componentes de velocidade da corrente foram interpolados em intervalos de 1,0 m de profundidade com o método "cubic spline". As variáveis independentes (S, T, p) foram editadas no formato do International Council for Exploration of the Sea (ICES, 1966) para cálculo de propriedades dependentes, processamento e análise gráfica. Nos cálculos da anomalia da densidade   pressão atmosférica (σ_t) foi utilizada a Equação Internacional de Estado da água do Mar (Fofonoff & Millard, 1983).

Com a distribuição das isolinhas da componente longitudinal da velocidade foi possível calcular o transporte de volume (ϕ_v) através das seções transversais com a seguinte expressão:

$$\phi_v = \iint_{A(x,z)} v(x,z) dx dz \quad (1)$$

onde A(x,z)   a área da seção delimitada pelo fundo e a superfície livre. Como a função $v=v(x,z)$ não é conhecida analiticamente, a integral do segundo membro dessa equação foi calculada por integração gráfica e numérica, a saber: determinação das áreas por planimetria entre isolinhas adjacentes de velocidade e posterior somatória dos produtos dessas áreas pelos valores médios correspondentes de velocidade.

O transporte de volume calculado com a equação (1) representa apenas uma primeira estimativa devido às seguintes aproximações: i) foram feitos apenas três ou quatro perfisamentos quase sinóticos em cada seção transversal; ii) parcelas da área lateral das seções muito rasas, que não permitiam navegação com segurança, principalmente nas seções C e D, não foram amostradas; e iii) a variação da profundidade da coluna de água devida à maré (cuja altura máxima é próxima a 2 m) e as correntes de maré, com amplitude máxima de 0,03 m s⁻¹ (Fontes, 1995), foram consideradas desprezíveis.

Dados de vento da PCSE desde dois dias antes até o final dos cruzeiros oceanográficos, com resolução de 2,5° x 2,5° e frequência de 6 horas, foram extraídos de Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center (FNMOC). Com base nas componentes meridional e zonal, interpoladas espacialmente pelo método Kriging, os campos de vento foram formados.

Resultados

Plataforma adjacente à Ilha de São Sebastião – Rede Externa

As distribuições de salinidade na superfície, a 10, 25, 50 m de profundidade e no fundo são apresentadas na Figura 2. Na superfície, os valores mínimo (31,5) e máximo (34,5) ocorreram nas proximidades da costa (extremo oeste da região investigada) e no limite oceânico, respectivamente. A localização do mínimo, gerando os maiores gradientes de salinidade ao longo da costa, sugere a influência advectiva de correntes costeiras quase paralelas à costa para leste. Nas entradas norte e sul do CSS foram observados valores de salinidade iguais a 33,0 e 33,5, respectivamente (Fig. 2A). Na profundidade de 10 m a configuração das isohalinas é muito diferente daquela observada na superfície e, nesse nível, os valores de salinidade são maiores, variando entre 33,5 e 35,5, com o mínimo nas proximidades da costa (Fig. 2B). Entre a superfície e a profundidade de 10 m o maior gradiente vertical de salinidade foi observado no extremo oeste da região investigada, indicando que o mínimo na superfície (31,5) estava confinado a uma lâmina de água com profundidade inferior a 10 m.

A configuração das isohalinas na profundidade de 25 m é semelhante àquela observada no nível de 10 m, mas o intervalo de variação dessa propriedade compreendido entre 34,2 e 35,8 foi menor (Fig. 2C). Nesse nível, tal como nos níveis sobrejacentes, os menores valores de salinidade ocorreram nas proximidades da costa e o mínimo foi

observado na região norte adjacente à Ilha de São Sebastião (ISS). Na profundidade de 50 m a salinidade apresentou-se quase uniforme, com valores no estreito intervalo de 35,6 a 35,7 (Fig. 2D). Nas proximidades do fundo, entre as isóbatas de 10 e 60 m, o campo dessa propriedade apresentou uma grande variação espacial, com valores compreendidos entre 33,4 e 35,6 (Fig. 2E).

O campo de temperatura na superfície mostra que essa propriedade variou entre 26,5 e 29,0°C, com os maiores valores localizados nos limites norte e oeste da região investigada. Nessa distribuição deve-se dar destaque ao mínimo de temperatura (26,0°C) na forma de um núcleo isolado a leste da ISS (Fig. 3A). No nível de 10 m, a temperatura variou de 24 a 28°C, apresentando dois mínimos: um com núcleo de 25°C a sudoeste da ISS e um segundo com temperatura de 24°C na parte leste adjacente à ISS (Fig. 3B), coincidente com a região de ocorrência do mínimo de temperatura observado na superfície.

A distribuição das isotermas a 25 m de profundidade mostra um contraste de temperatura ao redor da ISS bastante acentuado. Os menores valores (entre 19 e 20°C) ocorreram ao sul e a leste da ISS, respectivamente, e o valor máximo (28°C) na região costeira ao norte (Fig. 3C). O mínimo de temperatura de 20°C, a leste da ISS, estava associado a um núcleo de salinidade igual a 35,6 (Fig. 2C). A 50 m de profundidade a variabilidade horizontal da temperatura foi bem menor do que nos demais níveis da coluna de água; os valores aumentaram gradativamente de 16,6°C até cerca de 17,6°C nas proximidades da ISS (Fig. 3D). Na distribuição térmica no fundo, o mínimo de temperatura (16,5°C) ocorreu no sul da região e os valores máximos (26-27°C) ao longo da região costeira (Fig. 3E). O mínimo de 20°C, a leste da ISS, está localizado na mesma região de ocorrência dos mínimos observados nas camadas sobrejacentes, inclusive na superfície, estando todos associados a núcleos de salinidade que indicam forte influência local da ACAS. Portanto, a continuidade desse fenômeno ao longo da coluna de água mostra que ele pode ter sido ocasionado pela influência de movimentos ascendentes. Valores relativamente altos da concentração de nitrato na superfície e no verão (>2,0-3,0 µM), observados nessa região adjacente à ISS e que são indicadores de ressurgência, foram obtidos por Gaeta (1999), confirmando o fenômeno sugerido pela distribuição das propriedades termohalinas. Nota-se que a FTP, identificada pela isoterma de 18°C segundo Castro (1996), esteve situada ao largo da isóbata de 50 m (Fig. 3E). Assim, a quase totalidade das estações deste cruzeiro de verão não esteve sob a influência direta da ACAS.

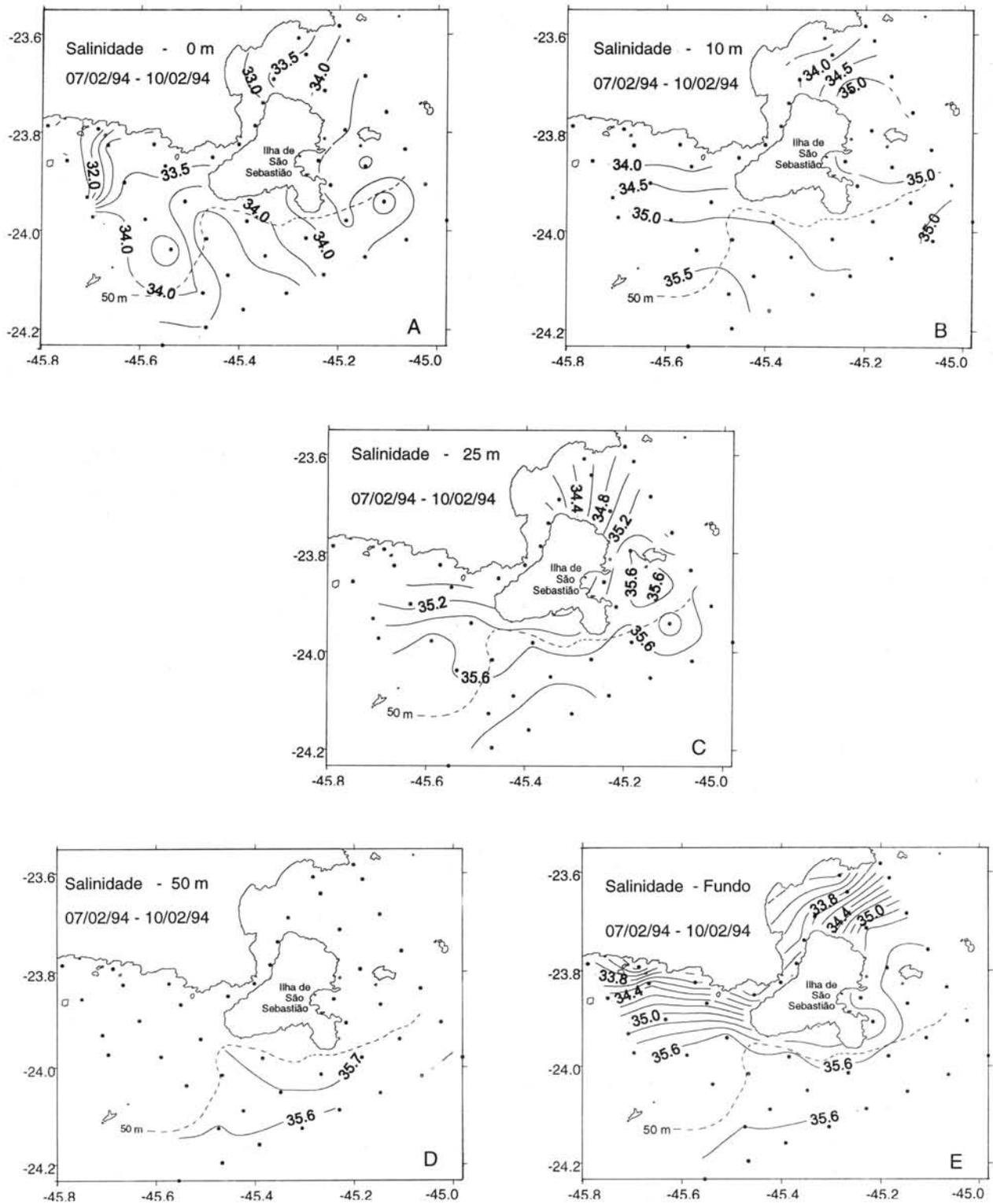


Fig. 2. Distribuição da salinidade na rede externa na superfície (A) e profundidades de 10 m (B), 25 m (C), 50 m (D) e proximidades do fundo (E) (período de 7 a 10 de fevereiro de 1994).

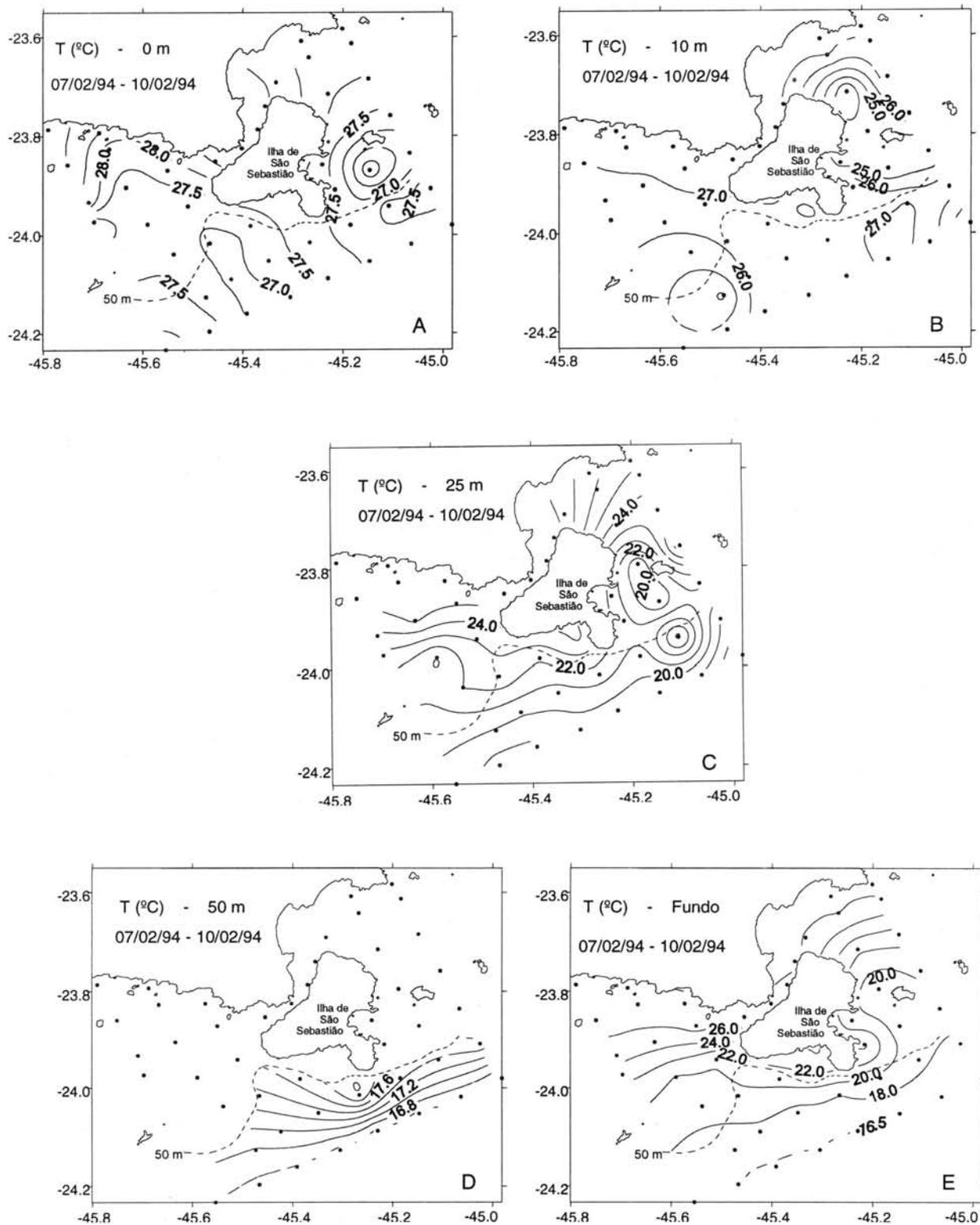


Fig. 3. Distribuição da temperatura na rede externa na superfície (A) e profundidades de 10 m (B), 25 m (C), 50 m (D) e proximidades do fundo (E) (período de 7 a 10 fevereiro de 1994).

As imagens dos pares (S, T), apresentadas no Diagrama T-S espalhado (Fig. 4), interpretadas com base em conhecimentos das massas de água da PCSE (Emilsson, 1962; Miranda, 1982; Castro, 1996, dentre outros), mostram que as características termohalinas nessa época do ano foram estabelecidas pela mistura das seguintes massas de água: Água Costeira (AC), Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS).

A representação gráfica das águas com anomalias da densidade à pressão atmosférica (σ_t) inferiores a $23,0 \text{ kg m}^{-3}$, com temperaturas elevadas e menores salinidades ($T > 25^\circ\text{C}$ e $S < 34$) é quase linear, indicando a presença da AC. Como não há grandes descargas fluviais no litoral da região em estudo, pode-se inferir que o sinal de baixa salinidade tem origem remota. Os maiores valores de salinidade ($S > 36$), associados a temperaturas superiores a 25°C , indicam influência predominante da AT. Como se observa na (Fig. 4), sob essa massa de água os valores do par (S,T) convergem para as características termohalinas da ACAS que, na região sudeste, encontram-se nos seguintes intervalos: $6^\circ\text{C} < T < 20^\circ\text{C}$; $34,5 < S < 36,4$. Por ser mais densa ($\sigma_t > 25,0 \text{ kg m}^{-3}$), essa massa de água

preenche as camadas mais profundas da plataforma continental; intrusões da ACAS em direção à costa têm sido observadas com maior frequência e intensidade no verão (Castro *et al.*, 1987; Castro, 1996).

A penetração da ACAS no CSS pela entrada sul foi documentada pela primeira vez no experimento realizado em março de 1980 (Castro & Miranda, 1998), sendo confirmada em experimentos mais recentes (Fontes, 1995; Coelho, 1997). Esse fenômeno está associado à ocorrência de movimentos no canal em duas camadas e bidirecionais, com grande energia no primeiro modo baroclínico, resultantes da combinação de duas forçantes: a tensão de cisalhamento do vento, gerando correntes costeiras para o sul, e a força de gradiente de pressão baroclínica associada à presença da ACAS na entrada sul, gerando movimentos com sentido oposto.

A estratificação de densidade na plataforma adjacente à ISS, não apresentada neste trabalho, foi analisada por Silva (1995). Nesse trabalho verifica-se que a configuração das isopicnais, variando no intervalo $19 < \sigma_t < 26 \text{ kg m}^{-3}$, é semelhante à das isotermas e isohalinas.

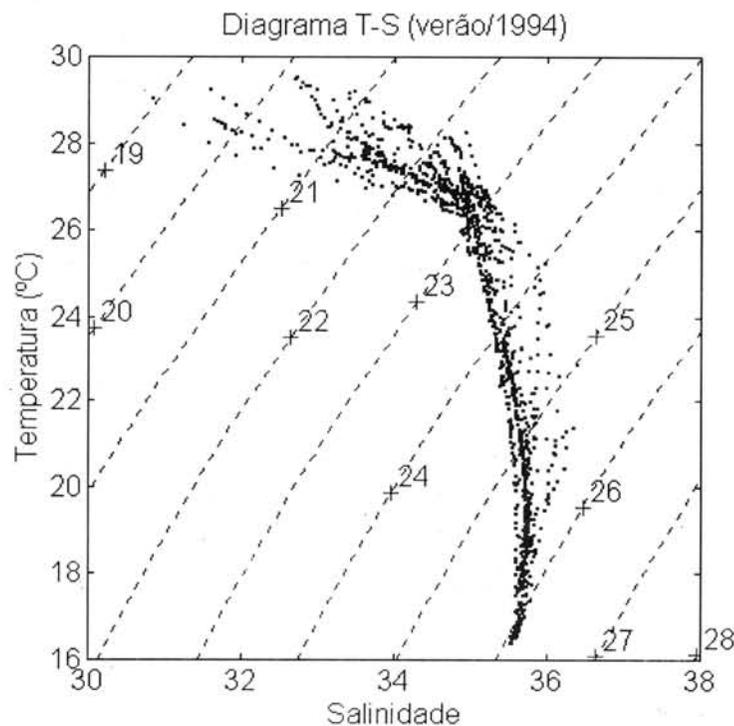


Fig. 4. Diagrama T-S espalhado dos pares de valores (S,T) amostrados na rede externa. As linhas contínuas são as isopicnais em unidades de Sigma-t (período 7 a 10 de fevereiro de 1994).

Canal de São Sebastião – Rede Interna

Fevereiro de 1994

A distribuição das isohalinas (Fig. 5) mostra que a salinidade variou entre o mínimo de 34,8, na superfície a leste da entrada norte do CSS, e o máximo de 35,3, nas proximidades do fundo da região oeste da entrada sul do canal. O resultado mostra que a estratificação vertical da salinidade foi

muito fraca em ambas entradas e as condições foram quase homogêneas na região central do CSS. Analogamente à salinidade, a estrutura térmica apresentou fraca estratificação vertical, com o mínimo de temperatura na região insular da entrada sul (decrecendo de 28,7°C na superfície para 27,5°C no fundo) e os maiores valores foram observados na superfície e na entrada norte do canal (29,2°C) (Fig. 6).

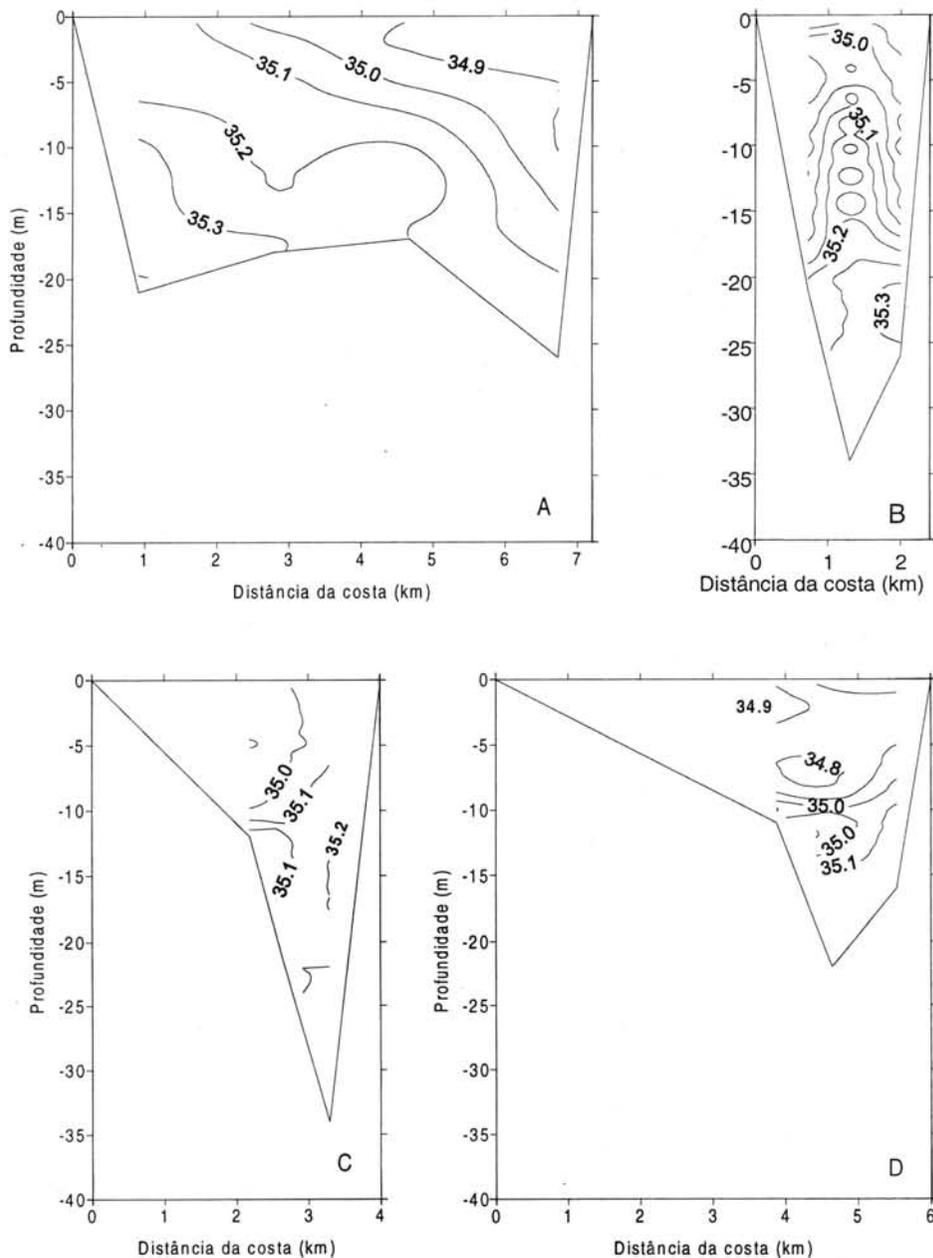


Fig. 5. Distribuição vertical da salinidade nas seções A, B, C e D ao longo do Canal de São Sebastião, em 08 de fevereiro de 1994.

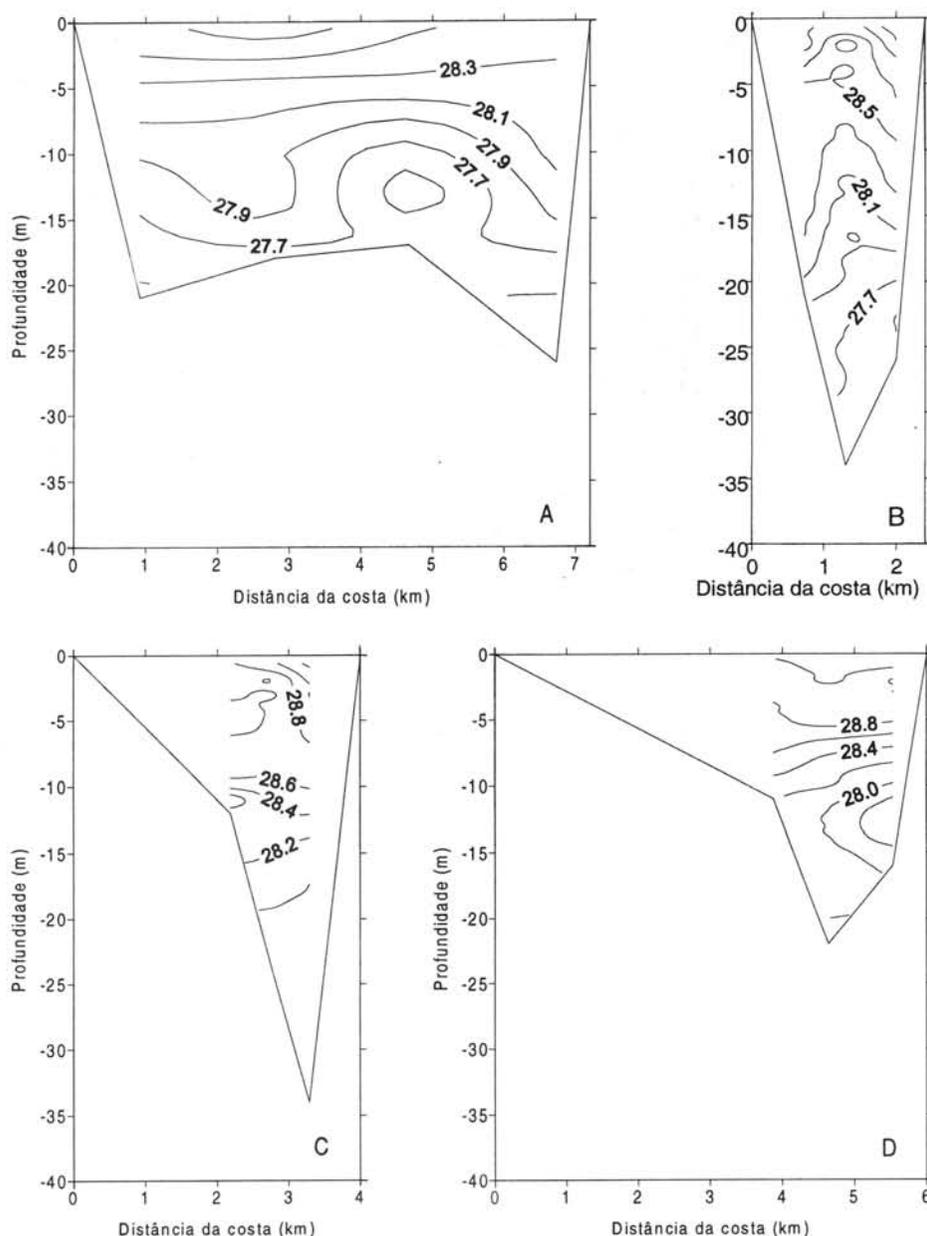


Fig. 6. Distribuição vertical da temperatura nas seções A, B, C e D ao longo do Canal de São Sebastião, em 08 de fevereiro de 1994.

As observações hidrográficas nas redes externa e interna ao CSS nesse período não foram simultâneas. A amostragem na plataforma mais próxima à ISS precedeu a da rede interna por aproximadamente dois dias. A análise comparativa dos resultados das redes externa e interna nos extremos do canal indica algumas diferenças nos valores termohalinos. Na entrada norte do CSS, as diferenças em salinidade entre as redes externa e interna foram maiores, variando entre 1,0 e 1,8. Na

entrada sul, as maiores diferenças de salinidade (1,0 a 1,5) ficaram entre a superfície e a profundidade de 10 m. Os valores da temperatura nas redes externa e interna na camada de superfície (0 e 10 m) foram praticamente iguais e as maiores diferenças (1,0 a 3,5°C) foram observadas nas camadas de 25 m e nas proximidades do fundo. Essas diferenças provavelmente podem ser explicadas por alterações na circulação da plataforma adjacente durante os dois dias em que os cruzeiros foram defasados.

A estrutura do campo de velocidade mostra que movimentos longitudinais predominaram nas seções B e D, enquanto que nas seções A e C os movimentos transversais ao canal foram da mesma ordem de grandeza que os longitudinais (Figs 7 e 8). Na radial A, os valores da componente longitudinal foram relativamente pequenos, existindo um núcleo entre 5 e 10 m de profundidade ligeiramente deslocado para a margem insular do CSS onde a intensidade máxima atingiu $0,12 \text{ m s}^{-1}$.

Essa componente aumentou de intensidade na seção B que é a mais estreita, com movimento predominantemente para o norte, atingindo no núcleo subsuperficial $0,40 \text{ m s}^{-1}$. Nas seções C e D, a componente longitudinal também foi positiva, com intensidades máximas de $0,30$ e $0,55 \text{ m.s}^{-1}$, respectivamente. A intensificação da corrente ao longo do canal está associada ao estreitamento nas proximidades da Ponta do Araçá (Fig. 1). Entretanto, embora o canal apresente um aumento marcante na

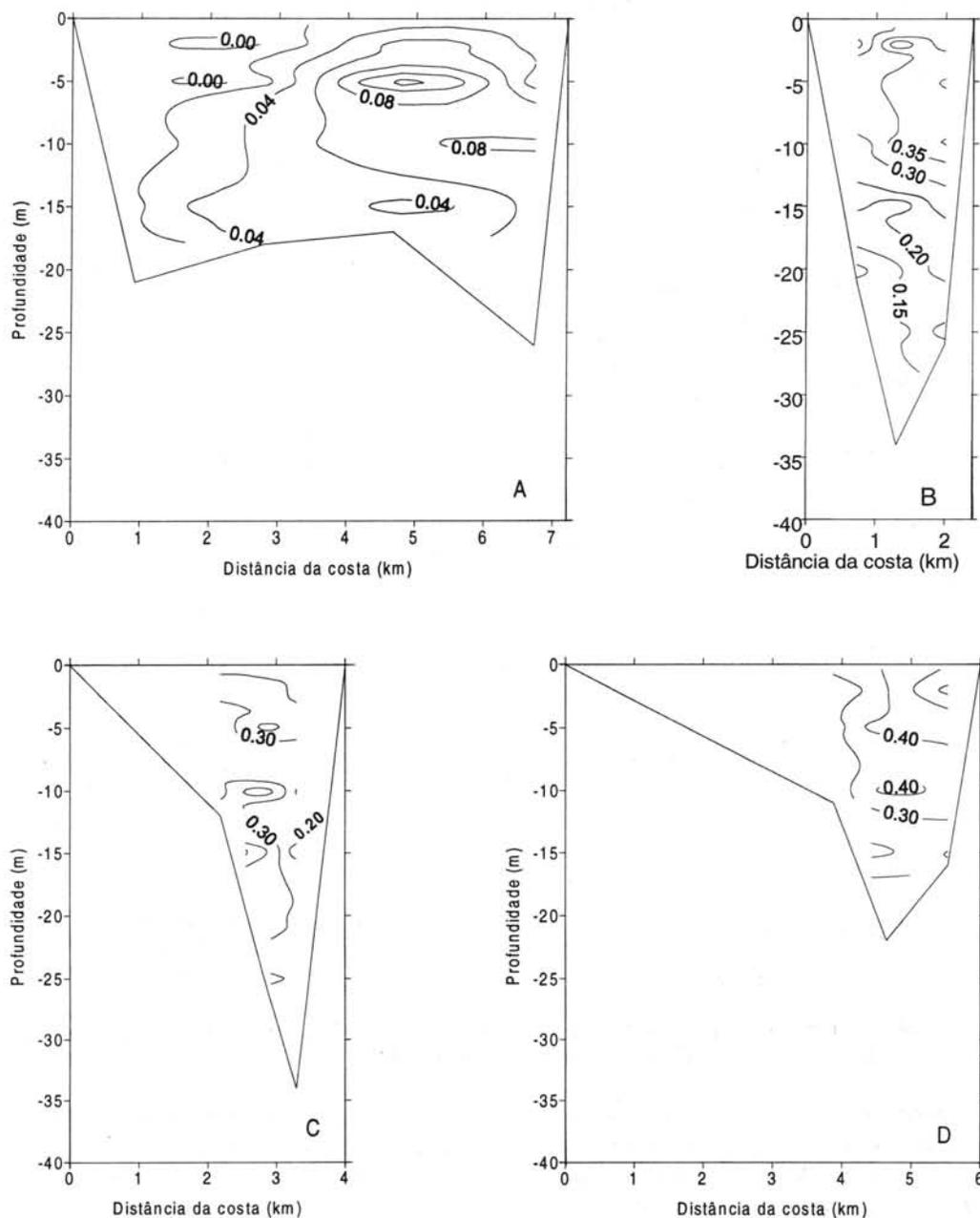


Fig. 7. Distribuição vertical da componente longitudinal da velocidade nas seções A, B, C e D ao longo do Canal de São Sebastião, em 08 de fevereiro de 1994.

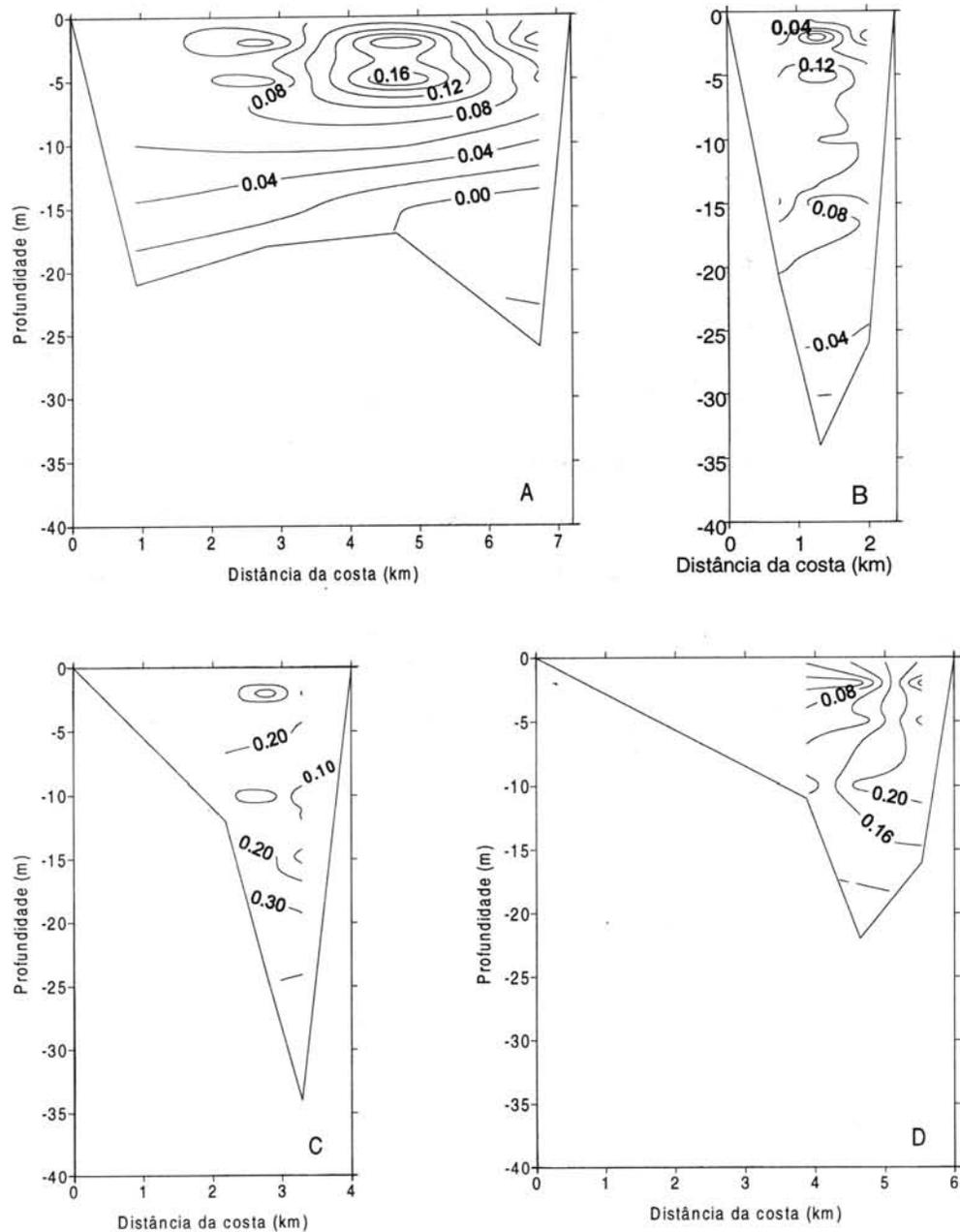


Fig. 8. Distribuição vertical da componente transversal da velocidade nas seções A, B, C e D ao longo do Canal de São Sebastião, em 08 de fevereiro de 1994.

largura ao norte da seção C, as pequenas profundidades do lado continental fazem com que o transporte longitudinal de volume fique concentrado na parte insular. Os valores positivos da componente longitudinal indicam a penetração, pela entrada sul do CSS, de águas oriundas da plataforma interna, com características da AC. Essa intrusão de águas com baixa salinidade, bem como a intensificação das correntes, foram observadas por Miranda & Castro

(1995), analisando dados experimentais coletados em março de 1980.

O cálculo do transporte de volume longitudinal mostra que houve, entre as seções A e B, um aumento significativo, com os valores passando de $0,6 \times 10^4$ para $1,0 \times 10^4$ $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, provavelmente porque na seção A, a intensidade da componente longitudinal da velocidade foi muito pequena (Fig. 7), introduzindo erro significativo no

cálculo do transporte (baixa relação sinal/ruído). Entretanto, os valores obtidos para as seções C e D ($1,1 \times 10^4$ e $1,0 \times 10^4$ $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, respectivamente) confirmam que o transporte de volume na época do experimento era predominantemente para NE, situado na parte insular do canal, e com valores da ordem de $1 \times 10^4 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$.

Março de 1994

As distribuições de salinidade nos níveis de 0 m, 10 m e proximidades do fundo apresentaram estrutura próxima àquela observada em fevereiro de 1994. Em geral, porém, os valores de salinidade foram alguns décimos menores do que em fevereiro de 1994. Com relação à distribuição horizontal de temperatura, foram observados gradientes bem mais intensos do que no período anterior. O máximo valor dessa propriedade esteve localizado na superfície (27°C) na região central do canal e o mínimo (19°C), tal como no período anterior, ocorreu no fundo e do lado insular da entrada sul. Os valores de temperatura em março de 1994 foram, em todos os níveis, cerca de 2°C menores do que os observados em fevereiro, com exceção dos valores encontrados nas proximidades do fundo na entrada sul, onde as temperaturas decresceram cerca de 6°C com relação ao período anterior.

A estratificação vertical de salinidade (não apresentada) foi um pouco mais intensa do que em fevereiro de 1994. Na seção A, entre as estações 2 e 3, observou-se um núcleo com salinidade uniforme de 34,6 e a estratificação vertical foi mais intensa no lado insular e na camada mais profunda, onde o máximo de salinidade foi de 35,6. Esse valor é muito próximo ao observado em fevereiro nas proximidades do fundo na entrada sul do CSS. O núcleo com $S=34,6$ está associado às águas quase isotérmicas (T entre $26,0$ e 27°C), indicando a presença predominante da AC. Sob essa camada, estendendo-se até o fundo, observa-se a presença da termoclina, através da qual a temperatura decresce de 26°C a 19°C (Fig. 9). A ocorrência do mínimo de T nas proximidades do fundo do lado insular, o qual está associado à salinidade de 35,6, indica a presença de águas com grande influência da ACAS. O movimento para o norte da ACAS pode ser confirmado pela inversão vertical da corrente longitudinal medida entre as estações 1 e 2, na seção A, nas proximidades do fundo: embora pequena ($0,02 \text{m s}^{-1}$) a velocidade é positiva (Fig. 10). Entretanto, por tratar-se provavelmente da fase inicial do processo (intrusão imatura), a influência advectiva da ACAS não chega à seção B. Nas seções localizadas mais ao norte (C e D), a temperatura variou entre $25,4$ e $27,0^\circ\text{C}$ e os valores de salinidade

entre 34,2 e 35,0. A intrusão da ACAS, pelo lado insular da entrada sul nesta época do ano, é concordante com resultados obtidos por Miranda & Castro (1995).

No restante do canal, as correntes longitudinais foram para sul. Em decorrência do estreitamento do canal, as maiores velocidades foram encontradas nas seções B e C, $-0,70 \text{m s}^{-1}$ e $-0,65 \text{m s}^{-1}$, respectivamente, ambos no canal principal. Na seção D, as velocidades se atenuaram, apresentando valores até cerca de 50% menores do que na seção C.

Ao contrário do período anterior (fevereiro), o transporte de volume resultante é para o sul. Iniciando a análise a partir da seção norte (D), observa-se que houve um aumento, em módulo, do transporte de volume entre essa seção e a C, de $-1,6 \times 10^4$ para $-1,8 \times 10^4 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$. Por outro lado, observa-se um pequeno decréscimo dos transportes de volume através das seções B e A, de $-1,9 \times 10^4$ a $-1,8 \times 10^4 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$, respectivamente. Esses dados indicam que houve uma quase continuidade do transporte de volume longitudinal entre as seções A, B e C, concentrado no canal principal de navegação. Na seção D, as componentes transversais de velocidade foram relativamente menos intensas, aumentando o erro no cálculo do transporte.

Julho de 1994

A estrutura termohalina foi praticamente homogênea ao longo do canal ($S \approx 33,3$ e $T \approx 21,6^\circ\text{C}$) (Figs 11 e 12). Comparando-se com os valores de salinidade e de temperatura observados nos períodos anteriores, constata-se uma diminuição em aproximadamente 2 unidades e 6°C , respectivamente, evidenciando o efeito do resfriamento sazonal e da intensificação dos processos de mistura vertical.

Neste período, as componentes longitudinais da corrente (Fig. 13) foram menos intensas do que nos períodos anteriores, sendo os movimentos preferencialmente para o norte. A única exceção ocorreu junto à margem continental da entrada sul (seção A), onde foram observados movimentos para o sul, com intensidade de até $-0,02 \text{m s}^{-1}$, sugerindo uma recirculação anticiclônica nessa entrada do canal. As correntes mais intensas ficaram limitadas a pequenas áreas, como nas proximidades do fundo na seção B ($0,40 \text{m s}^{-1}$) e na forma de núcleos ($>0,28 \text{m s}^{-1}$) na seção C. As componentes de velocidade transversais tiveram intensidades máximas próximas àquelas das componentes longitudinais indicando, em geral, movimentos do continente para a ISS. Os maiores valores ($0,40 \text{m s}^{-1}$) foram registrados, tal como nos períodos anteriores, em camadas sub-superficiais da seção C.

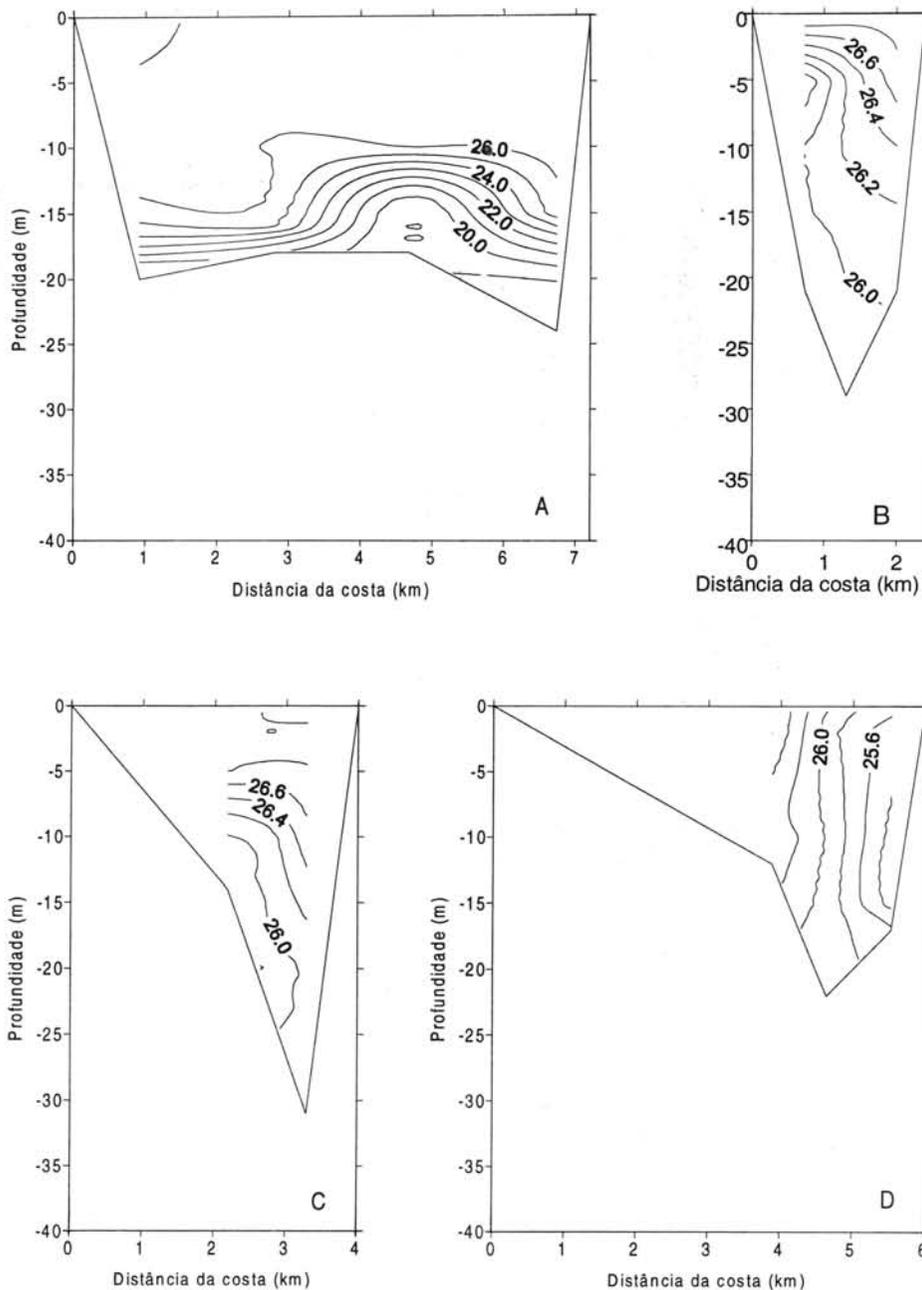


Fig. 9. Distribuição vertical da temperatura na seção A do Canal de São Sebastião, em 29 de março de 1994.

As pequenas intensidades de corrente e a recirculação observada na entrada sul dificultaram a estimativa do transporte de volume. Os resultados apontam para valores próximos a $0,5 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para o N.

Outubro de 1994

Neste cruzeiro de primavera, o mínimo de salinidade (32,8) foi observado na superfície, no lado

leste da entrada norte do canal, e o máximo (>35) no fundo, a oeste da entrada sul do CSS. Os maiores gradientes horizontais de salinidade foram registrados na camada superficial da entrada norte. A estrutura térmica apresentou valores aproximadamente 3-4°C maiores do que no inverno, como resultado do aquecimento sazonal. Os gradientes horizontais foram relativamente pequenos, tanto na superfície quanto nas proximidades do fundo.

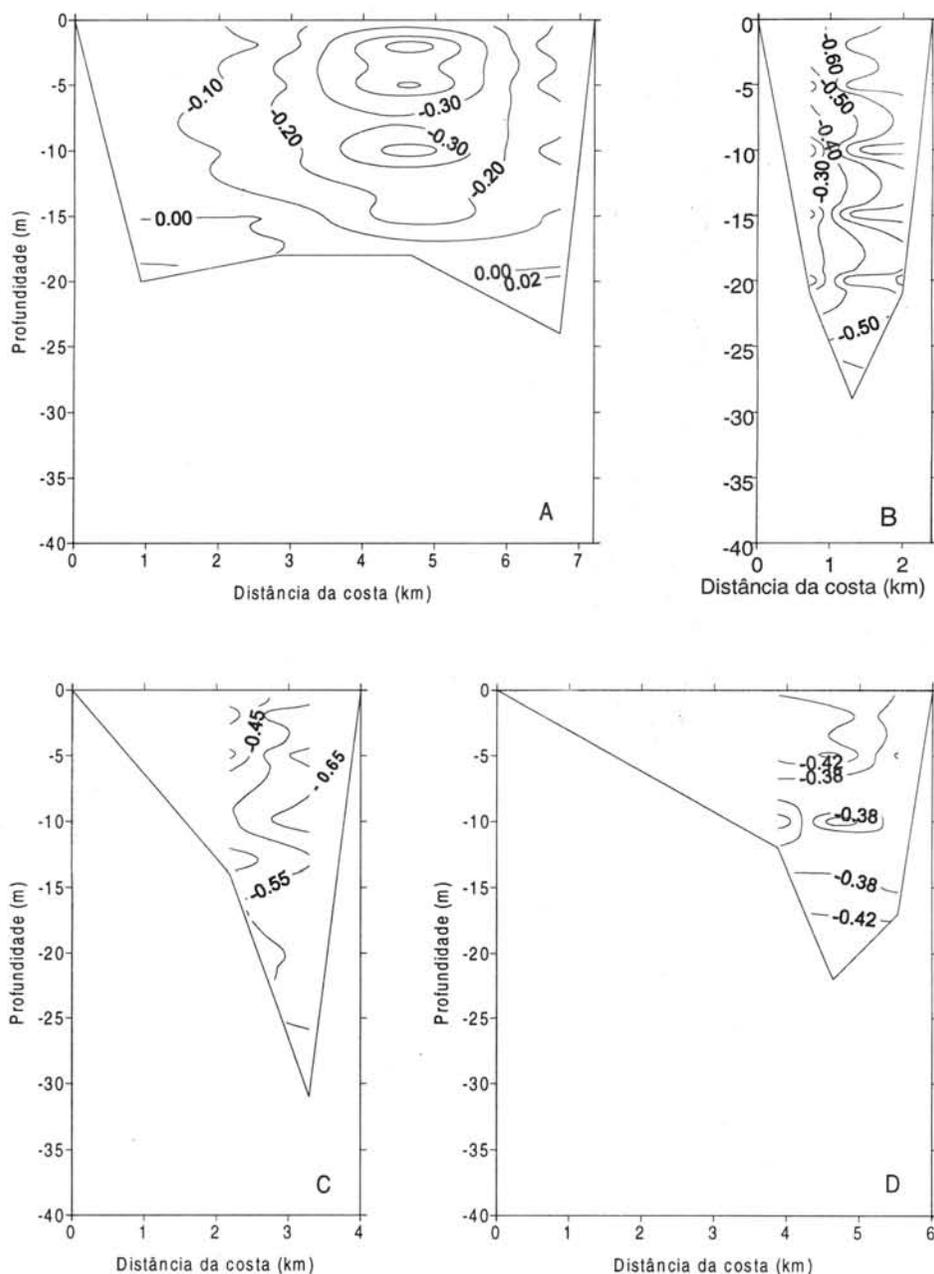


Fig. 10. Distribuição vertical da componente longitudinal da velocidade nas seções A, B, C e D ao longo do Canal de São Sebastião, em 29 de março de 1994.

A estrutura vertical da salinidade na entrada sul do CSS apresentou pequena estratificação, com valores variando entre 34,2 (superfície) e 35,1 (fundo), conforme pode ser observado na Fig. 14. Nas seções B e C, a estratificação vertical também foi pequena entre a superfície e cerca de 15 m de profundidade, aumentando da ilha para o continente. Entretanto, nas camadas mais profundas, a estratificação vertical da salinidade foi maior. Na seção D houve acentuada

variação de salinidade entre a superfície e a profundidade de 10 m.

As isotermas nas seções transversais A, B, C e D têm configuração muito semelhante à das isohalinas (Fig. 15). O mínimo de temperatura, singularmente, não ocorreu na entrada sul e a estratificação vertical foi pequena (21,5°C a 24°C). O máximo de temperatura (>24,5°C) ocorreu na superfície da seção B e o mínimo (20°C) no fundo da seção C.

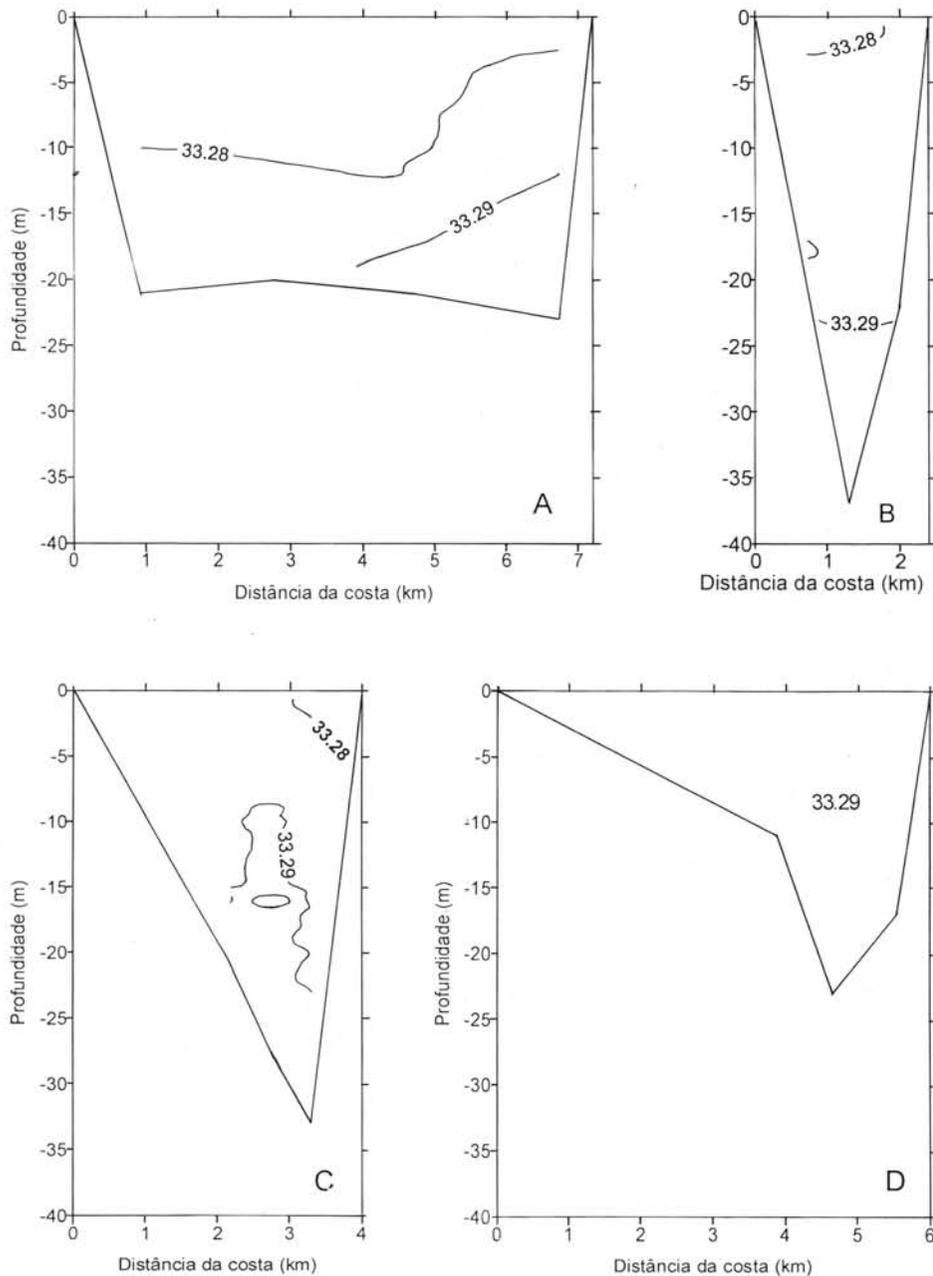


Fig. 11. Distribuição vertical da salinidade nas seções A, B, C e D ao longo do Canal de São Sebastião, em 06 de julho de 1994.

O campo das componentes longitudinais de velocidades foi semelhante ao do cruzeiro de julho de 1994, porém com intensidades maiores. O movimento teve sentido norte ao longo do canal, com exceção para a margem oeste da entrada sul que, novamente, apresentou circulação anticiclônica. As maiores correntes longitudinais ocorreram, como nos demais períodos, nas seções B, C e D, em decorrência do estreitamento do canal: o

máximo ($>0,4 \text{ m s}^{-1}$) foi observado na camada de superfície e na profundidade de 10 m nas seções B e D, respectivamente. As correntes transversais tiveram intensidades bem menores do que as longitudinais e foram sempre positivas, indicando movimentos convergentes para a ISS. O máximo, tal como nos períodos anteriores, foi observado na seção C com intensidade muito próxima a $0,3 \text{ m s}^{-1}$.

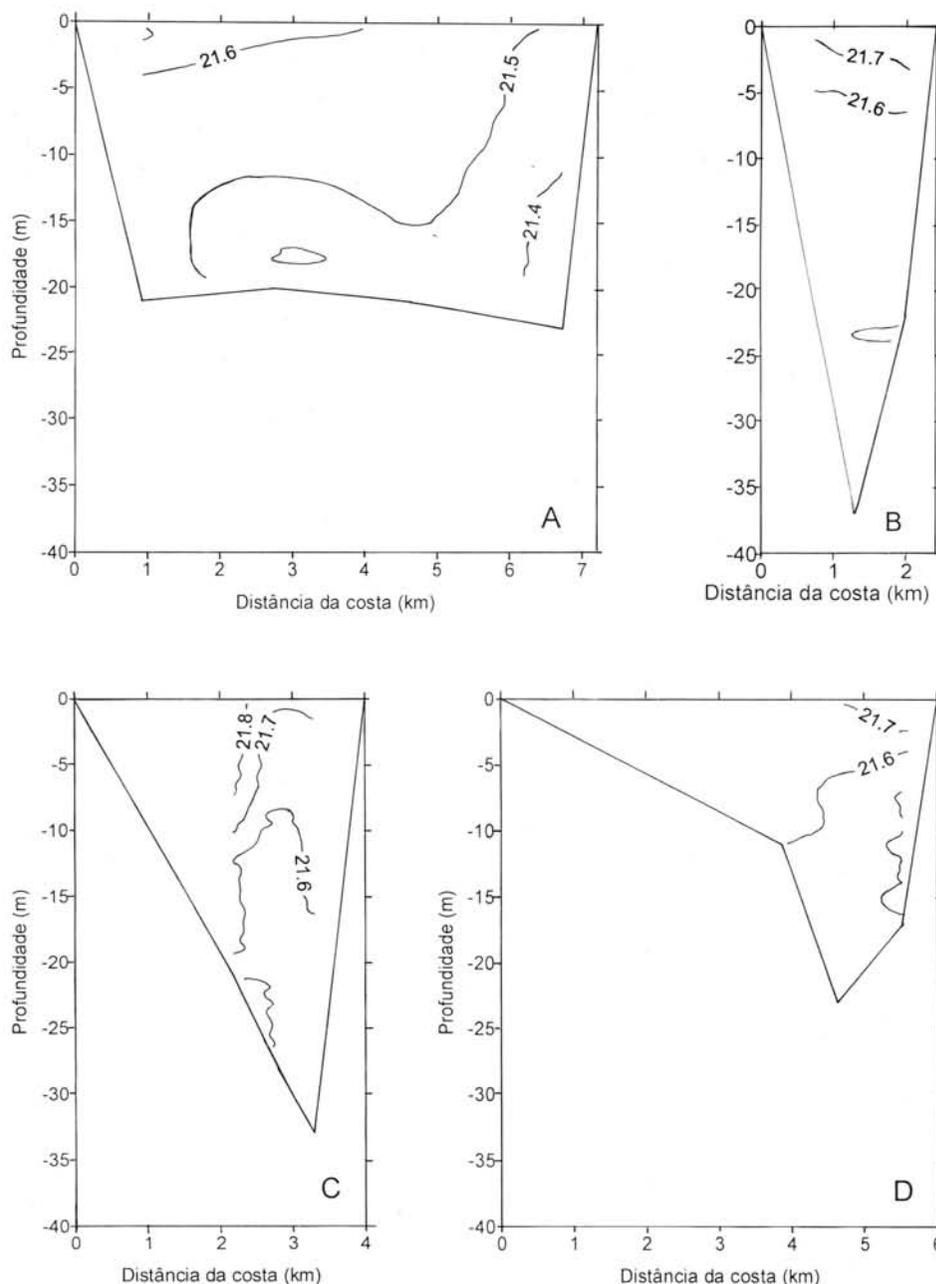


Fig. 12. Distribuição vertical da temperatura nas seções A, B, C e D ao longo do Canal de São Sebastião, em 06 de julho de 1994.

Novamente, a recirculação na entrada sul impediu cálculo mais preciso do transporte de volume. Assim, não se observa continuidade entre as 4 seções. O transporte foi tipicamente da ordem de $1 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para o N.

Janeiro de 1995

Neste cruzeiro de verão, os maiores valores de salinidade ($>34,6$) encontraram-se novamente no fundo, na porção leste da entrada sul (seção A). Em

todos os períodos analisados, com exceção de julho de 1994, quando prevaleceram as condições de quase homogeneidade das estruturas térmica e halina, os máximos de salinidade ocorreram sempre nessa região do canal. Os valores de salinidade nesse período foram ligeiramente menores do que os encontrados em outubro de 1994 e nas seções B e D ocorreram núcleos de águas menos salinas ($<33,7$) do lado continental. A seção C apresentou-se quase homohalina, tendo os menores valores observados (33,5-33,6).

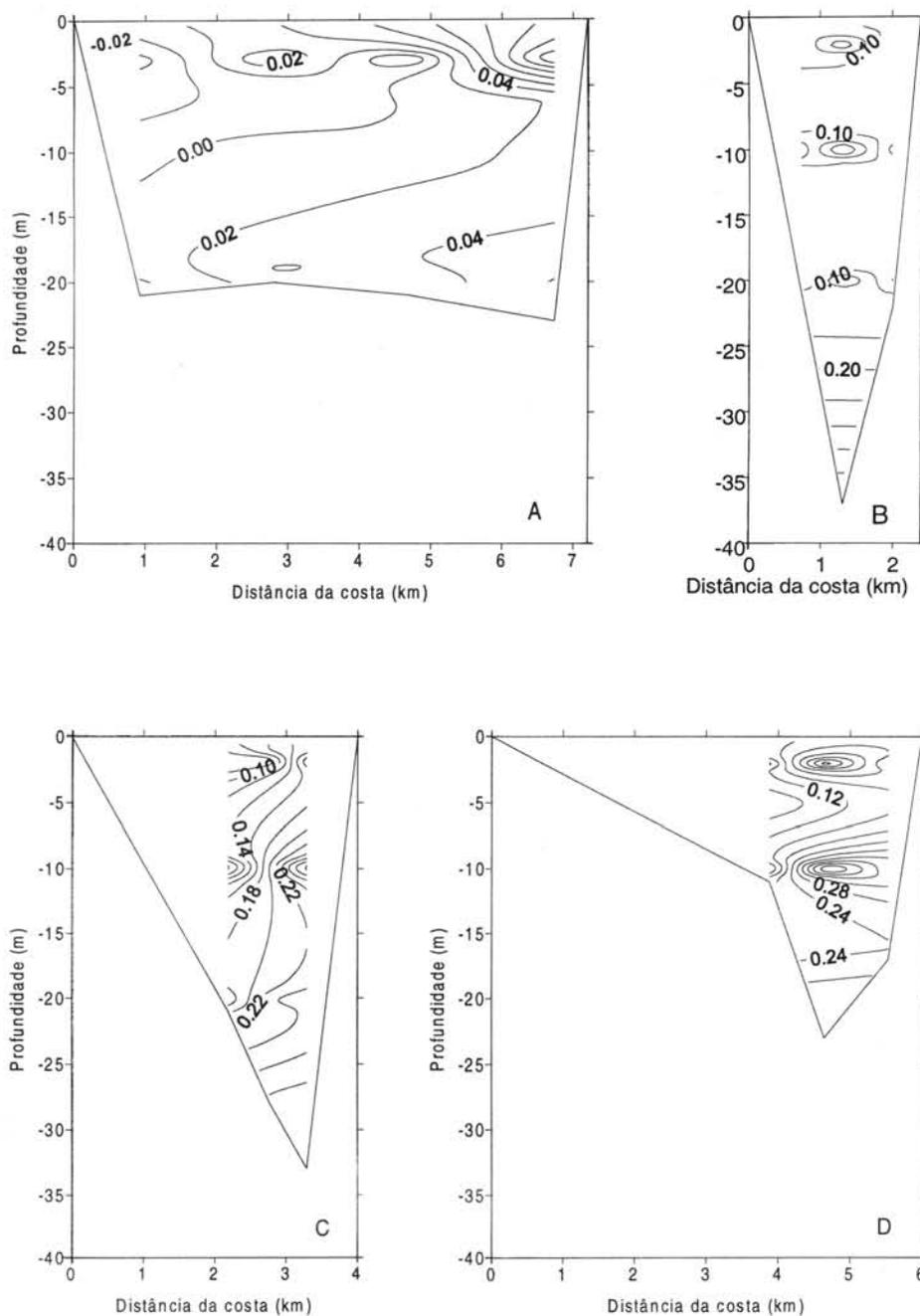


Fig. 13. Distribuição vertical da componente longitudinal da velocidade nas seções A, B, C e D ao longo do Canal de São Sebastião, em 06 de julho de 1994.

Os maiores gradientes verticais de temperatura foram encontrados nas camadas sub-superficiais nas seções A e B, em decorrência da infiltração de águas relativamente frias (Fig. 16). Tal como na distribuição de salinidade, o intervalo de variação da temperatura na seção C é muito pequeno (27,8°C a 29,0°C) e, na seção D, as águas são quase

isotérmicas com máximo (29,0°C) na camada superficial. A estrutura térmica mostra que as temperaturas excederam em cerca de 4°C as do período anterior (primavera) e foram ligeiramente menores do que em fevereiro de 1994. Os menores valores (<26,6°C) localizaram-se no fundo, no lado leste da entrada sul do canal.

O quadro apresentado pelo campo da componente longitudinal de velocidade (Fig. 17) foi semelhante ao de julho e outubro de 1994, embora as intensidades observadas neste período de verão sejam maiores. Com exceção da margem oeste da seção A, as correntes fluíram para o norte ao longo de todo o canal. A oeste da entrada sul as velocidades foram negativas, configurando-se novamente um giro anticiclônico que, tal como constatado em períodos anteriores, esteve confinado ao sul da seção B. As maiores componentes longitudinais de velocidade foram observadas nas seções B, C e D, com máximo muito próximo a $0,70 \text{ m s}^{-1}$ na superfície da seção C. Interessante é o núcleo observado na camada superficial na seção D (estação 12), com intensidade de $0,45 \text{ m s}^{-1}$, o qual esteve associado aos núcleos de mínimo das propriedades termohalinas. Dentre os períodos analisados, este foi o que apresentou o campo de componentes de velocidades transversais com as maiores intensidades (Fig. 18). O máximo ocorreu na superfície da seção C ($0,80 \text{ m s}^{-1}$). Em quase toda extensão do CSS, houve indicação de fluxo para a ISS, com exceção da margem leste da seção A onde, nas camadas mais profundas, o sentido foi oposto.

O transporte longitudinal de volume através das seções transversais durante o período de janeiro de 1995 também foi gerado por movimentos predominantes para o norte, apresentando valores da ordem de $1 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ nas seções B e C. A recirculação na entrada sul impediu um cálculo mais preciso do transporte longitudinal na seção A. Na seção D, o transporte de volume foi praticamente o dobro ($2,0 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) daquele observado no período anterior.

Março de 1995

A estrutura halina apresentou os menores valores do ciclo sazonal analisado, sendo a salinidade sempre menor do que 34,0 (Fig. 19). O mínimo foi observado na superfície ($<32,0$) em duas localidades: a oeste da entrada sul (seção A) e na camada de superfície da seção C. O máximo ($>33,8$) ocorreu também na seção A e nas proximidades do fundo, onde o gradiente vertical de salinidade foi mais intenso, contrastando com as condições quase homogêneas da camada sobrejacente. Ao longo do canal, os gradientes horizontais foram muito pequenos, principalmente nos primeiros 10-15 m de profundidade, onde o intervalo entre o mínimo (32,0) e o máximo (32,2) não ultrapassou 0,2. Os gradientes verticais de salinidade também foram mais intensos nas camadas sub-superficiais das seções B, C e D.

A influência de águas mais frias foi novamente confirmada na análise das distribuições verticais de temperatura. O mínimo esteve localizado nas proximidades do fundo ($<25,7^\circ\text{C}$), a leste da entrada sul do canal, tal como nos períodos anteriores. Nas imediações da seção B, ocorreu um mínimo secundário de temperatura ($<25,3^\circ\text{C}$) gerando uma região com gradientes relativamente intensos. Coincidentemente, ocorreu nessa região um máximo secundário de salinidade com praticamente a mesma configuração das isotermas. Os maiores valores de temperatura ($>27,3^\circ\text{C}$) foram observados na superfície na extremidade norte (seção D) e do lado leste do CSS. A temperatura neste período foi cerca de 2°C menor do que em janeiro. A estrutura térmica é muito similar àquela observada em março de 1994, com exceção da região sul do canal e proximidades do fundo, onde a penetração de águas frias não foi tão intensa quanto naquele período (Fig. 9).

De todos os cruzeiros analisados, este foi o que apresentou os menores valores das componentes longitudinal e transversal de velocidade, sendo o movimento predominante para o sul (Fig. 20). O máximo da componente longitudinal ($-0,14 \text{ m s}^{-1}$) ocorreu na camada superficial da seção D, na qual o sentido do movimento inverte nas camadas mais profundas. A intensidade dessa componente decresceu para o sul e um máximo secundário foi registrado na seção B, com cerca de $-0,10 \text{ m s}^{-1}$. No extremo sul do canal a intensidade da corrente esteve muito próxima da sensibilidade do instrumento ($0,02 \text{ m s}^{-1}$), mas há indícios de uma camada de movimento nulo separando movimentos com sentido sul e norte nas camadas superficial e de fundo, respectivamente. Essa inversão do sentido do movimento sugere uma possível aproximação da ACAS da entrada sul do CSS. As componentes de velocidades transversais foram também muito pequenas e próximas ao limite de confiabilidade do aparelho, o que impõe dúvidas quanto às inversões do sentido dos movimentos transversais. Todavia, os valores negativos na margem leste da entrada sul parecem indicar a aproximação da ACAS.

Na seção A os movimentos foram de pequena intensidade e apresentaram inversões de sentido em profundidade. Como os transportes de volume foram praticamente iguais em módulo ($0,05 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) nas camadas sobrejacente e subjacente à profundidade de movimento nulo, sua resultante foi praticamente zero. Nas seções B e C os transportes de volume foram pequenos e para o S, com intensidade da ordem de $-0,2 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

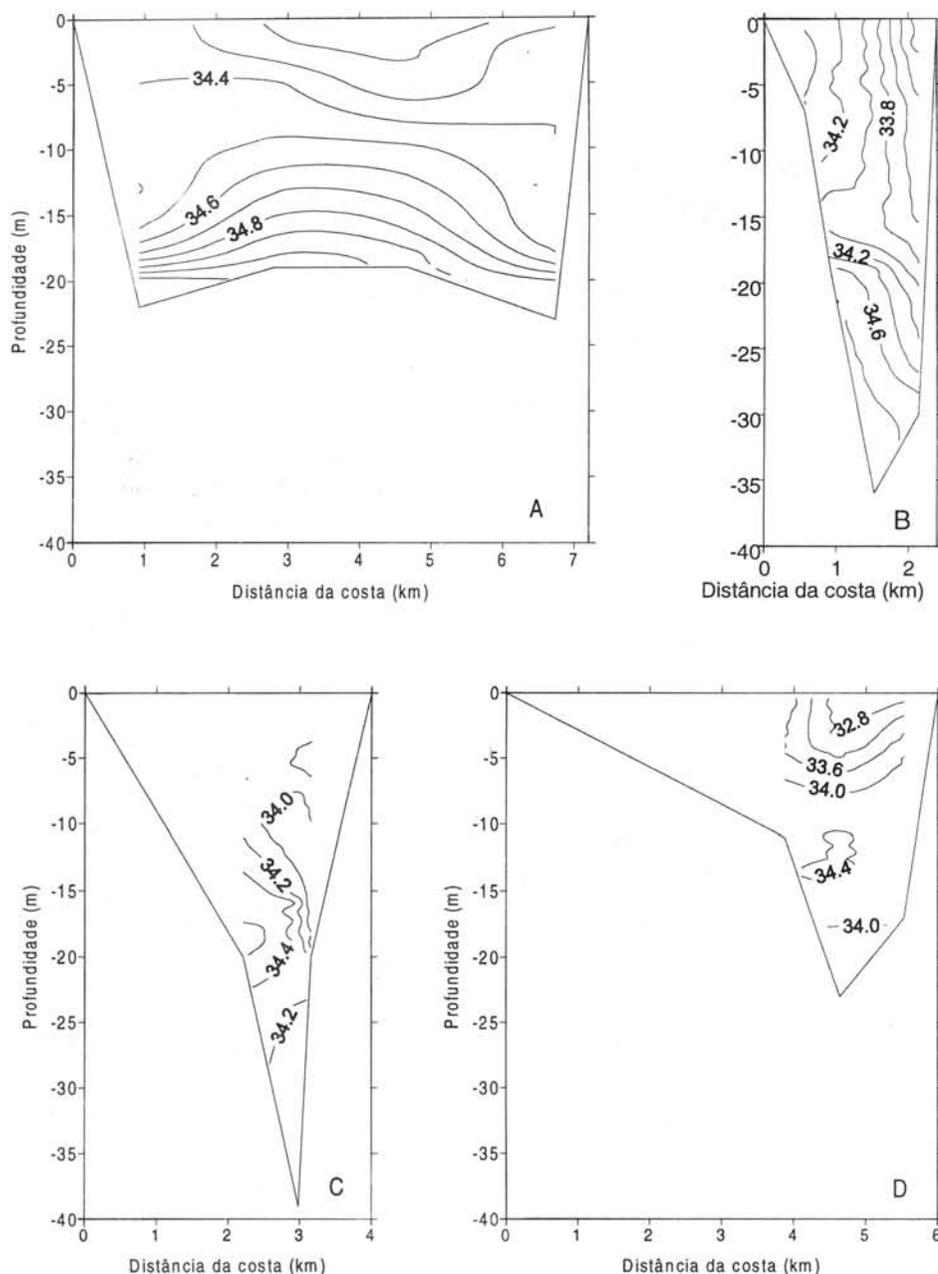


Fig. 14. Distribuição vertical da salinidade nas seções A, B, C e D ao longo do Canal de São Sebastião, em 24 de outubro de 1994.

Discussão

As distribuições horizontais de salinidade e temperatura na rede externa (Figs 2 e 3) e o Diagrama T-S correspondente (Fig. 4) indicaram que a AC, relativamente quente e pouco salina, ocupou

praticamente toda a camada superficial desde a costa até a isóbata de 50 m. A AT, caracterizada ao largo por temperaturas e salinidades relativamente altas ($T > 20^{\circ}\text{C}$ e $S > 36$), contribuiu para a formação da AC, com influência observada na superfície e em camadas sub-superficiais mais ao largo. A ACAS, de

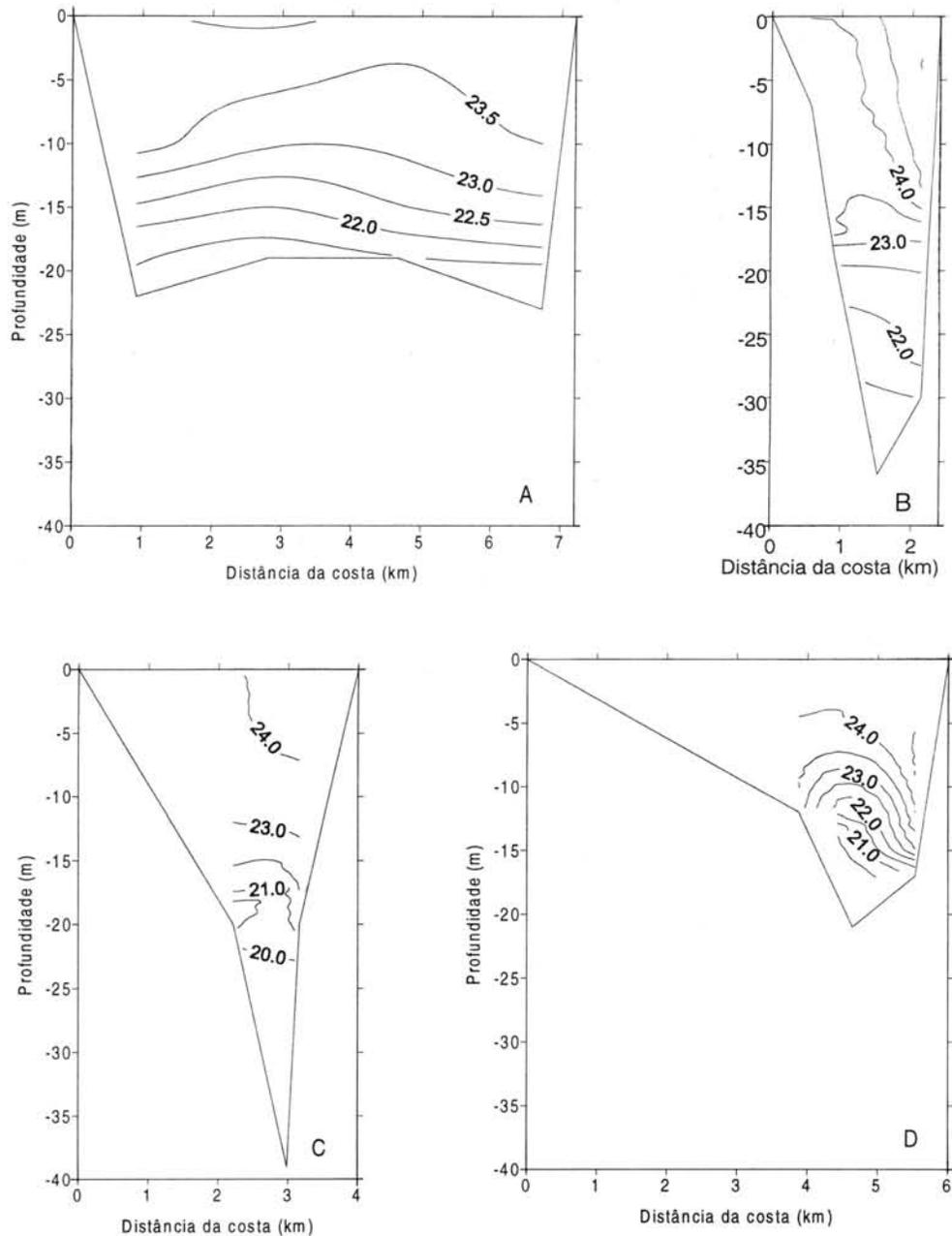


Fig. 15. Distribuição vertical da temperatura nas seções A, B, C e D ao longo do Canal de São Sebastião, em 24 de outubro de 1994.

origem subtropical, possui temperaturas relativamente baixas e salinidades intermediárias em relação à AC e à AT. Por ser mais densa, a ACAS foi observada apenas nas camadas mais profundas de algumas estações ao largo da isóbata de 50 m. Embora as características termohalinas das massas de água da plataforma continental estejam sujeitas a variações sazonais, particularmente da AC, os índices

termohalinos da AC, AT e ACAS puderam ser estimados com base no triângulo de mistura, obtendo-se: (31,0; 29°C), (37,0; 27°C) e (35,5; 16°C), respectivamente. Esses índices são muito próximos aos usados por Coelho (1997) e podem ser utilizados para calcular os percentuais de contribuição dessas massas de água para a formação das características termohalinas no interior do CSS.

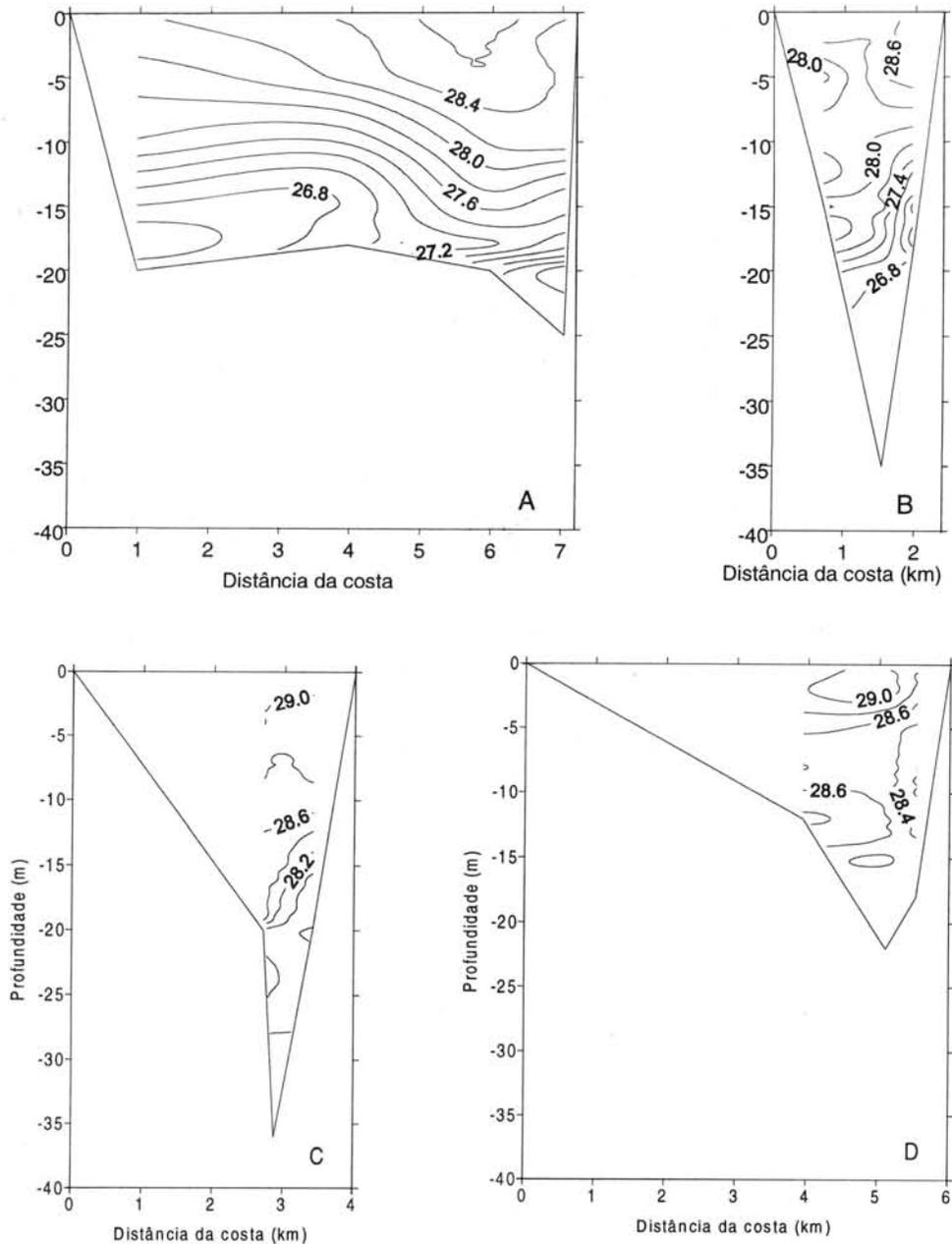


Fig. 16. Distribuição vertical da temperatura nas seções A, B, C e D ao longo do Canal de São Sebastião, em 26 de janeiro de 1995.

A estrutura termohalina observada não configurou um quadro típico para o verão em fevereiro de 94. Em oportunidades anteriores, nessa época tem sido observada uma maior proximidade da Frente Térmica Profunda e, conseqüentemente, da ACAS da costa (Castro *et al.*, 1987; Castro, 1996). As correntes no CSS nesse período fluíram para NE, por

toda extensão do canal e ao longo de toda a coluna de água. Este panorama para as correntes também não é o mais freqüente na região nessa estação do ano. Fontes (1995) constatou que, no verão de 1992, as correntes superficiais no CSS fluíram predominantemente para SW. Silva (1984), analisando os ventos mais freqüentes para Cananéia,

verificou que entre os meses de outubro e janeiro, para o período de 1956-80, os predominantes foram provenientes de E-NE. Como a região em estudo está sujeita a condições meteorológicas sinóticas similares às de Cananéia (Castro, 1985), conclui-se que tais ventos favorecem as correntes costeiras para SW. O campo de ventos para os dias 6, 7 e 8/02/1994 mostra que uma frente abandonava a região durante o

cruzeiro (Fig. 21) e as correntes ainda fluíam para nordeste. De acordo com Castro *et al.* (1987), ventos de E-NE induziriam um transporte da AC em direção ao oceano na camada de Ekman, compensado pelo transporte em sentido contrário em toda a coluna de água, favorecendo a penetração da ACAS, e por sua vez ventos de SW tenderiam a inibir a intrusão da ACAS, favorecendo a aproximação da AT da costa.

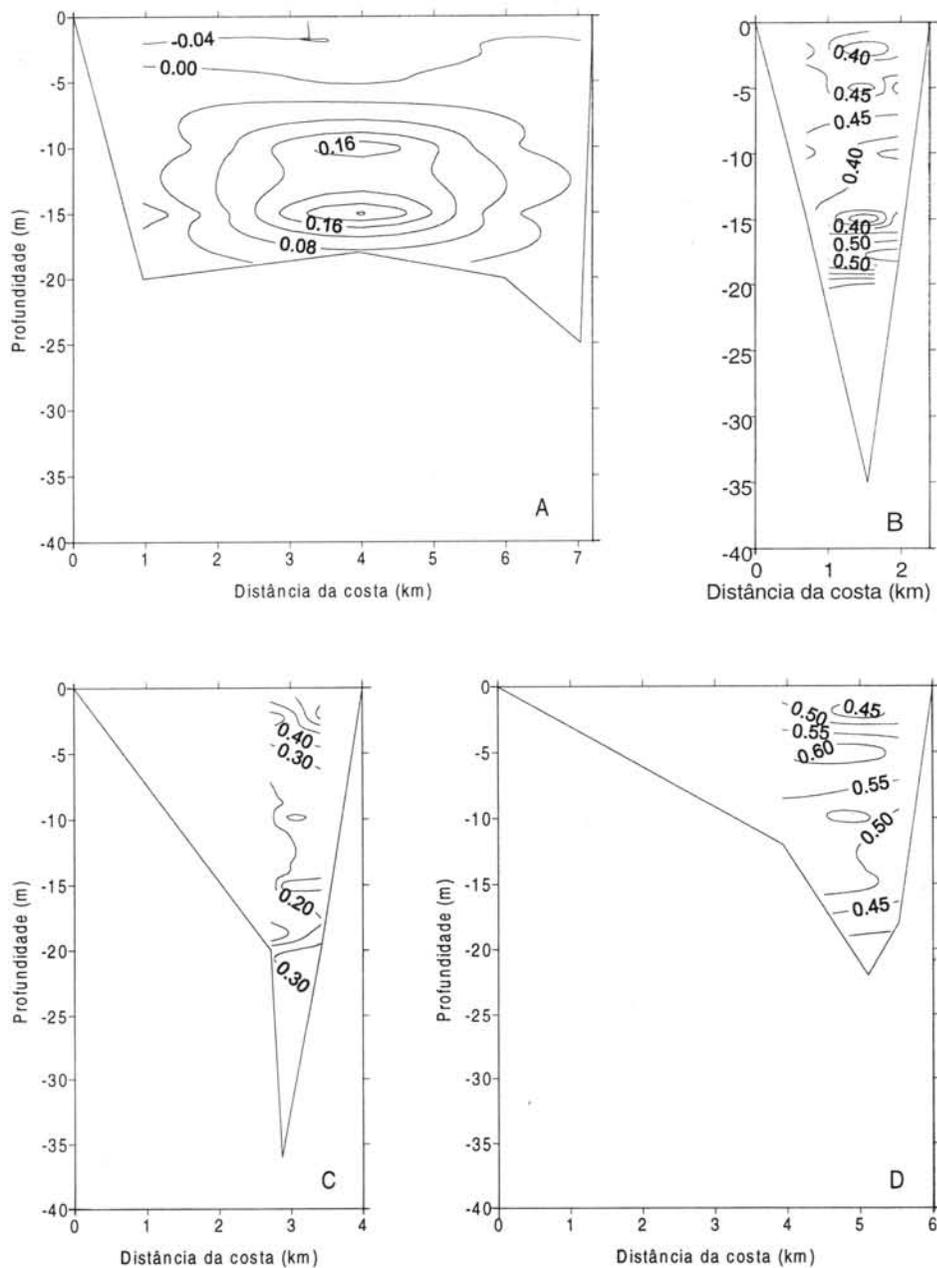


Fig. 17. Distribuição vertical da componente longitudinal da velocidade nas seções A, B, C e D ao longo do Canal de São Sebastião, em 26 de janeiro de 1995.

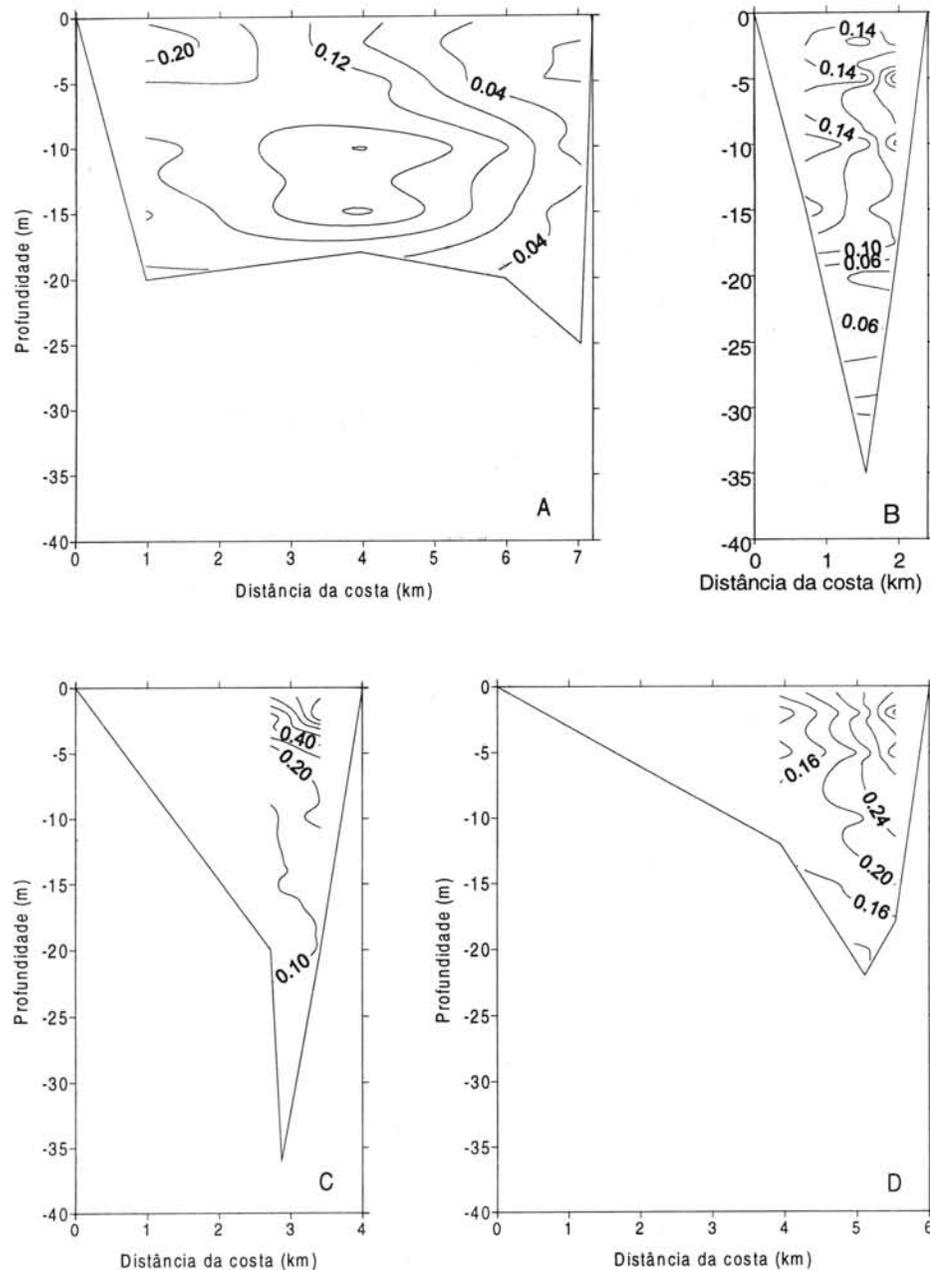


Fig. 18. Distribuição vertical da componente transversal da velocidade nas seções A, B, C e D, ao longo do Canal de São Sebastião, em 26 de janeiro de 1995.

Sinais da aproximação da ACAS na entrada sul do canal foram detectados pela presença de mínimos de temperatura, mas somente em março de 1994 esses sinais tornaram-se mais fortes, justamente durante um evento de correntes superficiais com sentido SW. O campo de ventos para os dias 27, 28 e 29/03/1994 mostrou uma situação semelhante à do cruzeiro de fevereiro, porém os

ventos pós-frontais do quadrante N-E estiveram bem mais organizados e intensos nos dias 28 e 29/03/94 do que em fevereiro. Por isso, no dia 29/03/94 as correntes no CSS fluíam para sudoeste, explicando os sinais da ACAS observados. Esses resultados foram diferentes dos obtidos por Coelho (1997), que analisou um conjunto de observações de verão (fevereiro de 1992 e 1993). Nesses experimentos,

durante os quais ocorreram movimentos bidirecionais de natureza baroclínica, a influência predominante da ACAS foi observada abaixo da camada de movimento nulo e ao longo do CSS, com percentuais de contribuição para a formação da massa de água no interior do canal variando entre 55 a 89%. Os máximos de temperatura ocorreram de forma geral na região central do canal, em águas superficiais. Os mínimos de salinidade foram encontrados na maior parte das vezes junto à entrada norte do canal, na superfície e invariavelmente os máximos estiveram na entrada sul, no fundo. Em todos os períodos analisados neste trabalho, entretanto, a intrusão da ACAS no CSS foi fraca, longe de configurar um estágio maduro.

Não foi possível, com os dados coletados, inferir qualquer variação sazonal no campo de salinidade. Os valores relativamente baixos observados no inverno sugerem que ventos prevalecentes de SW, associados aos sistemas meteorológicos frontais, geram correntes favoráveis ao transporte para o norte de águas com baixa salinidade, formadas remotamente ao sul, principalmente no sistema estuarino de Santos.

As temperaturas máximas das águas superficiais mostraram grande concordância com o ciclo sazonal. Dos três períodos de verão, dois registraram temperaturas ao redor de 29,0°C; no cruzeiro de final de verão (março de 1995), a temperatura máxima foi 27,3°C, pouco maior que a temperatura máxima obtida no cruzeiro de início de outono (27,0°C em março de 1994). No período de inverno (julho de 1994) a maior temperatura foi 21,8°C, aumentando para 24,8°C no início da primavera (outubro de 1994).

Enquanto as temperaturas máximas seguem o ciclo sazonal dos processos de interação ar-mar, as temperaturas mínimas no CSS e na plataforma interna adjacente dependem do ciclo sazonal de intrusões da ACAS em direção à costa. Esse último processo, por sua vez, está fortemente correlacionado com os ventos forçantes em escala sinótica, conforme demonstrado por Coelho (1997), para o CSS, e por Castro (1996), para o restante da plataforma interna. Coelho (1997) mostrou que intrusões maduras, isto é, penetrações da ACAS por toda extensão do CSS, estão associadas à estabilidade e constância dos ventos provenientes de NE durante o verão. Esse tipo de intrusão provoca, ainda, queda das temperaturas superficiais devido à mistura vertical.

No período de julho de 1994 ocorreram condições de homogeneidade no CSS. Essas condições têm sido observadas com frequência nessa época do ano (Castro, 1985; Castro, 1990; Silva,

1995; Coelho, 1997; Leandro, 1999), como resultado de características termohalinas quase homogêneas na plataforma interna adjacente à ISS.

As correntes no CSS fluíram predominantemente para NE em quatro dos seis períodos amostrados (fevereiro, julho e outubro de 1994 e janeiro de 1995). Os campos de ventos nesses quatro períodos mostram que os cruzeiros ocorreram aproximadamente de um a dois dias após a saída de uma frente fria, sendo que as correntes no CSS ainda não haviam invertido o sentido para se ajustarem aos ventos de NE que geralmente sucedem o afastamento dos sistemas meteorológicos frontais. Somente durante o cruzeiro de março de 1994 o movimento foi tipicamente para SW, com intensidade 0,8 m s⁻¹ na camada superficial, favorecendo a aproximação da ACAS. A intrusão desta massa de água pelo sul do CSS foi simulada por um modelo numérico baroclínico, quando forçado pelo vento médio de verão ou de primavera; a intrusão é identificada tanto pelo campo de correntes como pela estrutura termohalina (Silva, 2001). No período de março de 1995 as intensidades da corrente foram muito pequenas e próximas do limite de confiabilidade do aparelho. Este cruzeiro foi realizado em regime de ventos de sudoeste com calmaria no dia do experimentos (Fig. 22). No período de janeiro de 1995 ocorreram as maiores velocidades com sentido NE, com intensidades próximas a 0,7 m s⁻¹. Devido ao estreitamento do canal de navegação nas imediações da seção C, a variação de velocidade nesse trecho do canal foi atribuída à conservação de massa, fato este também observado em trabalhos anteriores (Fontes, 1995; Miranda & Castro, 1995 e Coelho, 1997).

O transporte de volume mais intenso foi para o sul, ocorrendo em março de 1994, com máximo aproximadamente igual a $-1,9 \times 10^4$ m³ s⁻¹. Por ocasião de movimentos para o norte os valores máximos calculados variaram entre $0,3 \times 10^4$ m³ s⁻¹ (julho de 1994) e $1,3 \times 10^4$ m³ s⁻¹ (outubro de 1994 e janeiro de 1995). O menor transporte de volume ocorreu em março de 1995, atingindo $0,05 \times 10^4$ m³ s⁻¹. A ordem de grandeza dos transportes para o norte calculados, entre 10^3 e 10^4 m³ s⁻¹, concorda com resultados anteriores obtidos por Miranda & Castro (1995).

Considerando-se a quase continuidade do transporte de volume entre as seções A e B, no experimento de março de 1994, é razoável verificar com os dados experimentais o princípio da continuidade. A forma da equação da continuidade integrada no volume delimitado pelas seções transversais, na hipótese de escoamento estacionário, é dada analiticamente por:

$$A_A \cdot V_A = A_B \cdot V_B \quad (2)$$

onde A_A e A_B são as áreas das se es A e B, respectivamente e V_A , V_B , representam os correspondentes módulos das velocidades m dias. Os valores das áreas A_A e A_B foram obtidos por

planimetria e V_A e V_B pelo cálculo de m dias ponderadas, utilizando áreas parciais entre isotacas de velocidade como pesos. Os resultados encontrados foram os seguintes: $A_A=175.760 \text{ m}^2$, $A_B=44.628 \text{ m}^2$, $V_A=0,10 \text{ m s}^{-1}$ e $V_B=0,42 \text{ m s}^{-1}$, demonstrando conclusivamente que $A_A/A_B \sim V_B/V_A$.

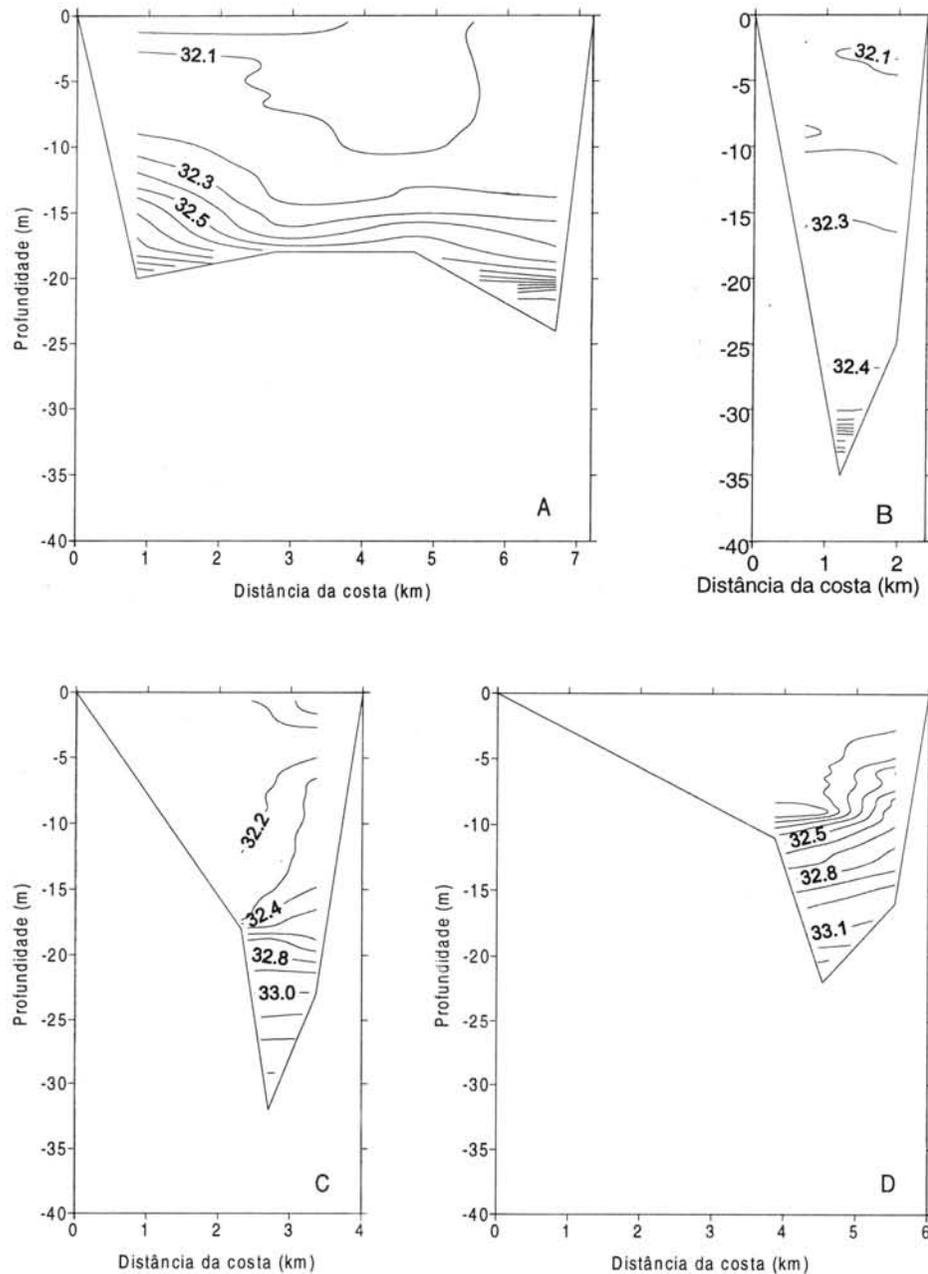


Fig. 19. Distribui o vertical da salinidade nas se es A, B, C e D ao longo do Canal de São Sebast o, em 17 de março de 1995.

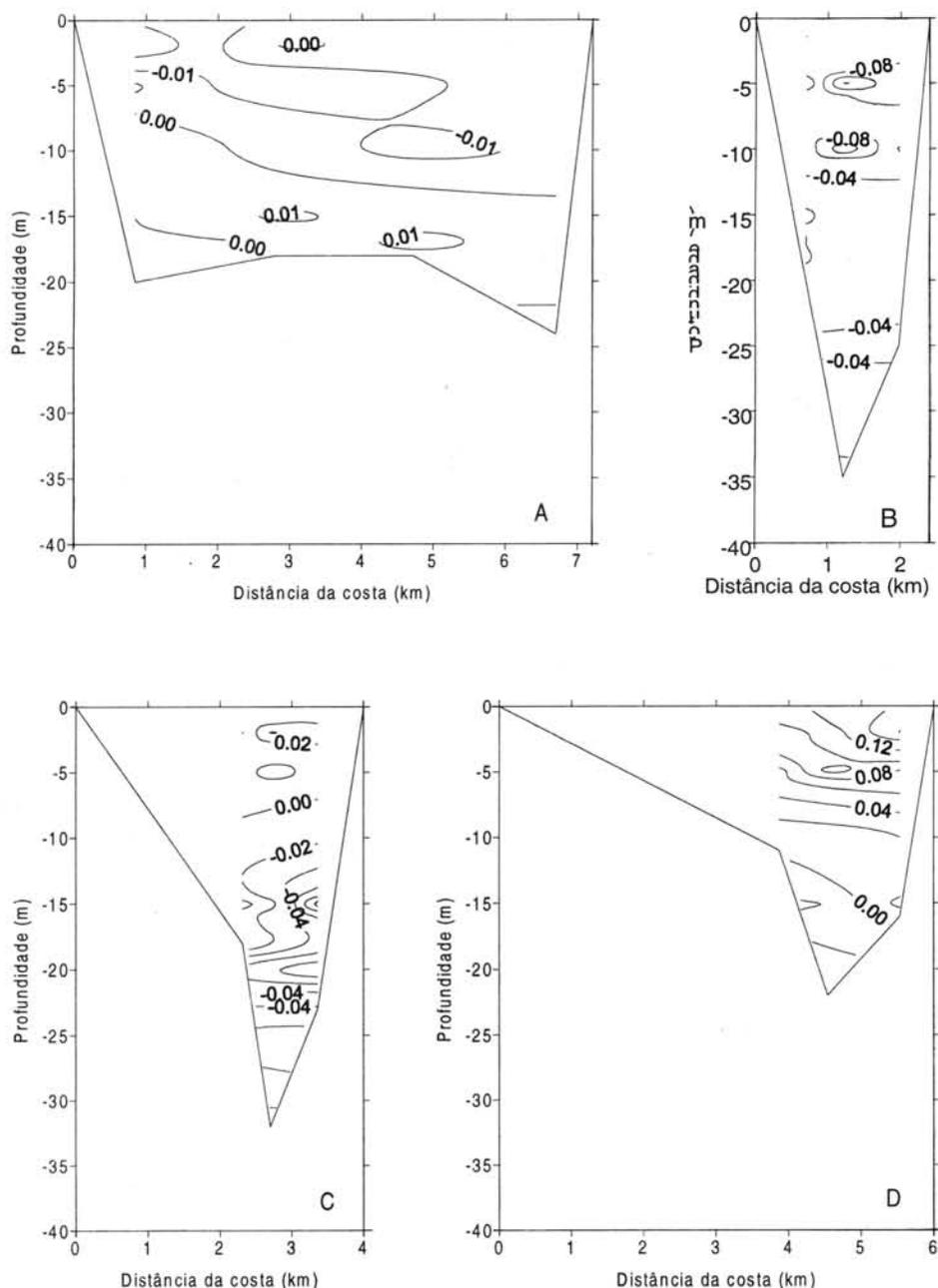


Fig. 20. Distribuição vertical da componente longitudinal da velocidade nas seções A, B, C e D ao longo do Canal de São Sebastião, em 17 de março de 1995.

Conhecendo a área horizontal e a distância entre as seções, pudemos estimar o volume do CSS em $24,4 \times 10^8 \text{ m}^3$, abrangendo a parte sul em sua totalidade e apenas o lado insular na parte norte. O transporte de volume foi quase contínuo ao longo do canal em março (para o sul) e julho de 1994 (para o norte), com valores médios de $-1,8 \times 10^4$

$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $0,6 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente. A razão entre o volume do CSS e cada um desses transportes médios possibilita uma estimativa do intervalo de tempo para a renovação do volume de água do CSS: obtivemos 1,6 e 4,7 dias, respectivamente, representando, em primeira aproximação, o tempo de permanência de uma substância conservativa

uniformemente distribuída no canal, desde que a circulação não se altere no decorrer desse período. Soares (1995), simulando numericamente a dispersão do óleo proveniente de um derrame ocorrido nas proximidades do Terminal da Petrobrás, situado no centro do CSS, obteve o intervalo de tempo de 4 dias para que praticamente todo o óleo presente na água saísse do CSS. O experimento numérico utilizou como forçante ventos provenientes de SW; assim, o resultado de Soares (1995) é concordante com a estimativa do tempo de renovação que obtivemos sob regime de correntes para NE.

Células de recirculação em ambas entradas do canal foram simuladas por um modelo numérico barotrópico, forçado pelos ventos, nas entradas norte e sul do canal de São Sebastião, representando um dos três regimes típicos de distribuição de correntes (Castro, 1985; Soares, 1995; Assad, 2000). Miranda e Castro (1995) constataram evidências de meandros ciclônico e anticiclônico na entrada sul do canal em regime de correntes para sul e norte, respectivamente. Os dados de velocidade analisados neste trabalho confirmam a presença de circulação anticiclônica na entrada sul do CSS, em regime de correntes para norte.

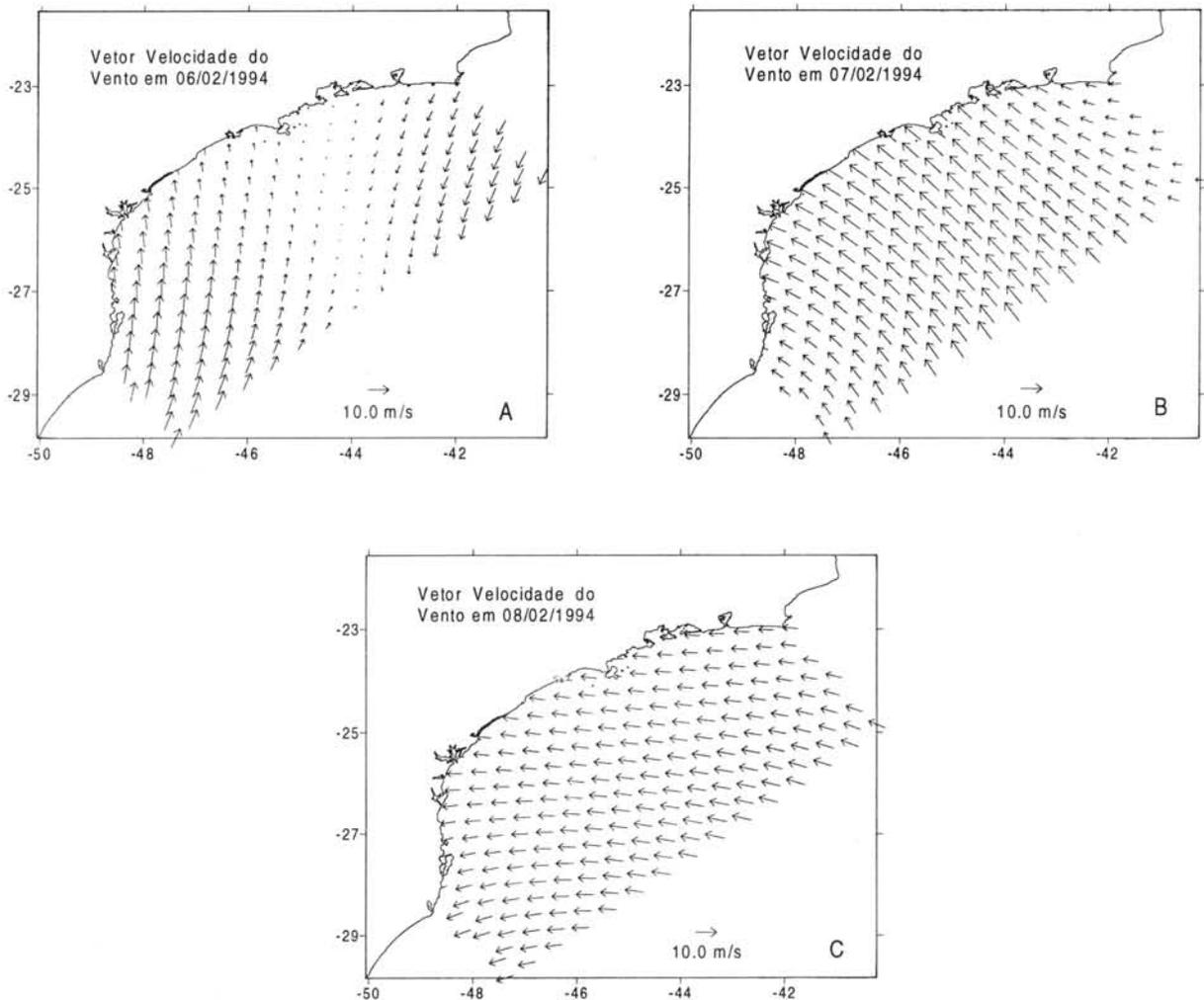


Fig. 21. Campos de ventos representativos dos dias 06, 07 e 08/02/1994, obtidos de Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center (FNMOC).

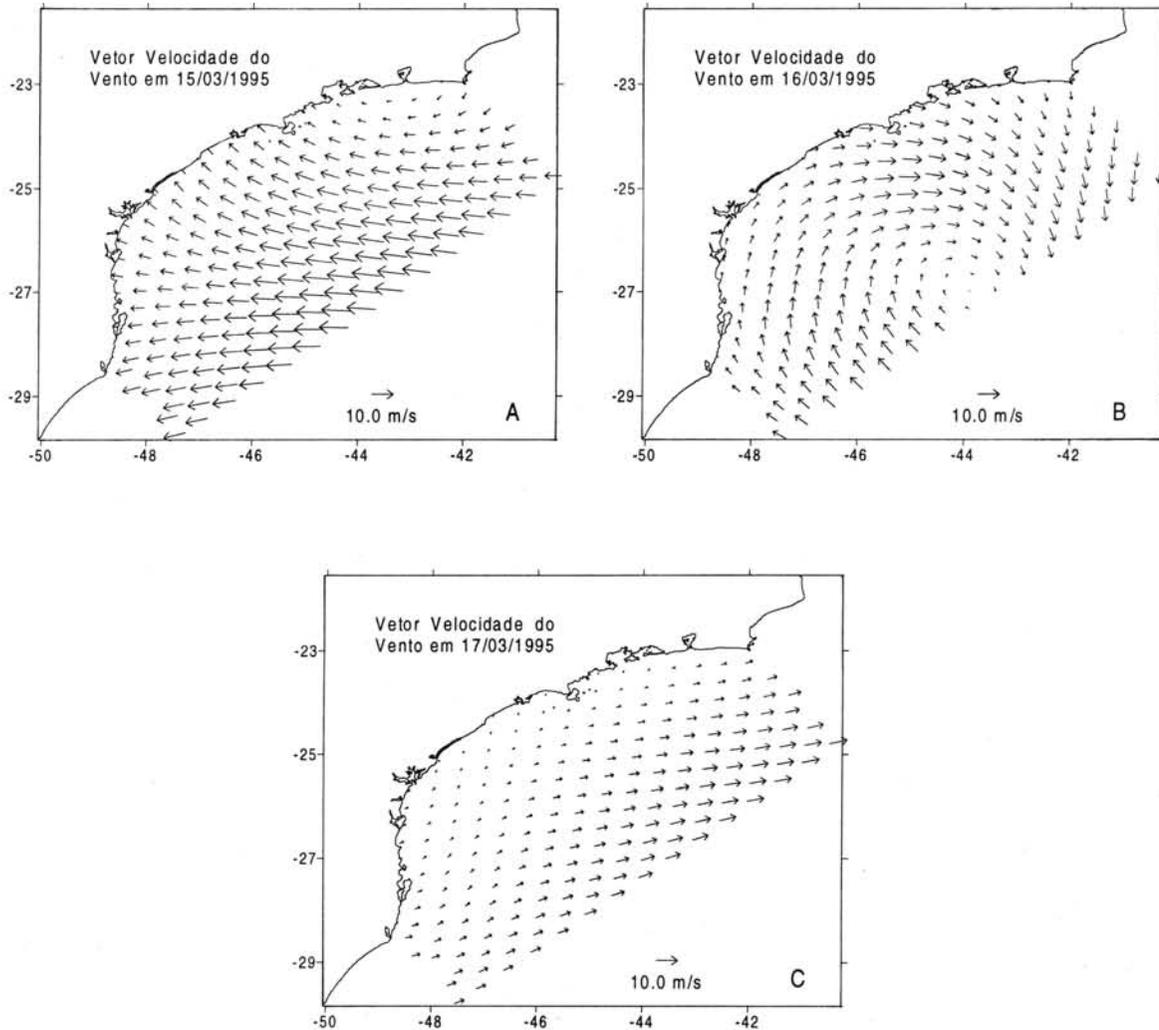


Fig. 22. Campos de ventos representativos dos dias 15, 16 e 17/03/1995, obtidos de Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center (FNMOC).

Conclusões

As observações na plataforma continental adjacente à ISS, em fevereiro de 1994, mostraram que entre a costa e a isóbata de 50 m houve predomínio da AC, a qual é formada pela mistura não isopical de águas de baixa salinidade (com acentuada influência fluvial) com a AT e a ACAS. Em camadas mais profundas, avançando do largo até as proximidades da isóbata de 50 m, foi detectada a influência da ACAS. A influência da massa de água AT ficou restrita ao limite sul da região, em profundidades intermediárias entre a AC e a ACAS.

Por sua vez, o movimento ascendente evidenciado ao norte da ISS, a presença na superfície de uma camada de aproximadamente 10 m de espessura de águas de baixa salinidade ($S < 31,0$) a oeste da ISS e o contraste nas camadas de fundo das salinidades e temperaturas no entorno da ISS, são de grande interesse biológico. Os dados que possuímos, entretanto, não permitem que esses tópicos sejam investigados com maiores detalhes.

Nos seis períodos de amostragem no interior do CSS, não foi possível observar a intrusão madura da ACAS. Em alguns dos cruzeiros, observamos uma maior aproximação dessa massa de água da entrada

sul do canal. É necessário destacar, entretanto, que durante o ciclo sazonal amostrado a ACAS pode ter penetrado em toda extensão do CSS, pois suas intrusões são reguladas pelos ventos sinóticos, com escala temporal bem menor do que o intervalo entre os cruzeiros oceanográficos. Os experimentos de campo ocorreram um a dois dias após regime de ventos de sudoeste, sendo que o de março de 1995 ocorreu sob a ação desses ventos. Quando os ventos do quadrante N-E foram suficientemente estáveis para forçar movimentos para SW, como em março de 1994, registraram-se os sinais mais fortes da ACAS. Entretanto, movimentos em duas camadas no interior do CSS, típico dos meses de verão, não foram detectados. Por outro lado, as amostragens realizadas durante o inverno concordaram com as condições climáticas para essa época do ano: quase-homogeneidade das águas. As águas superficiais no CSS mostraram que a temperatura tem marcadamente um caráter sazonal, ao passo que as propriedades hidrográficas do fundo são condicionadas pela maior ou menor aproximação da ACAS.

Os movimentos no CSS, e os correspondentes transportes de volume, foram para NE em quatro dos seis períodos (fevereiro, julho e outubro de 1994 e janeiro de 1995). No período de março de 1994 o movimento foi no sentido SW, com valores de até $-0,8 \text{ m s}^{-1}$, favorecendo a intrusão parcial da ACAS na entrada sul. Em março de 1995, o movimento longitudinal predominante foi também para SW, mas com intensidade menor, resultando um transporte de volume uma ordem de grandeza menor. No período de janeiro de 1995 ocorreram as maiores velocidades com sentido NE, com intensidades próximas a $0,9 \text{ m s}^{-1}$. Os valores máximos das componentes transversais ocorreram em todos os cruzeiros na seção C, com intensidades variando entre $0,9$ e $-0,4 \text{ m s}^{-1}$. A quase continuidade do transporte advectivo de volume ocorreu com movimentos resultantes tanto para NE quanto para SW, permitindo estimativas do menor tempo de renovação de 1,6 dias (em março de 1994), chegando a vários dias nas condições de pequenos transportes de volume.

É claro que a análise de seis eventos discretamente distribuídos no intervalo de tempo de um ano não tem a pretensão de extrapolar certos fenômenos observados para períodos futuros. Nesse sentido, fica manifestada a importância dos trabalhos anteriores na região em estudo, e da continuidade das investigações, para que se possa conclusivamente estudar a sazonalidade da circulação e das características hidrográficas das massas de água no canal.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo Auxílio Financeiro concedido para realização do Projeto Temático Oceanografia da Plataforma Interna da região de São Sebastião – OPISS (Projeto n° 9213449). Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação do Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de Bolsas de Produtividade em Pesquisa (Procs. 303877/86-3 e 301014/79-5) e de Doutorado, respectivamente. Aos técnicos do Laboratório de Instrumentação Oceanográfica (LIO) e aos tripulantes dos barcos de Pesquisa Veliger II e Albacora e aos Diretores e funcionários do Centro de Biologia Marinha (CEBIMAR) pelas facilidades concedidas e o apoio logístico para a realização dos trabalhos de campo também ficamos agradecidos. Aos revisores deste trabalho, pelas valiosas sugestões que permitiram substancial melhoria no texto.

Referências bibliográficas

- Assad, L. P. F. 2000. Circulação no Canal de São Sebastião (SP) durante o inverno: estudos numéricos. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 138p.
- Castro, B. M. 1985. Subtidal response to wind forcing in the South Brazil Bight during winter. Ph. D. dissertation. University of Miami, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science. 211p.
- Castro, B. M. 1990. Wind driven currents in the Channel of São Sebastião: Winter 1979. Bolm Inst. oceanogr., S Paulo, 38(2):111-132.
- Castro, B. M. 1996. Correntes e massas de água da plataforma continental norte de São Paulo. Tese de livre-docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 248p.
- Castro, B. M.; Miranda, L. B. de & Miyao, S. Y. 1987. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. Bolm Inst. oceanogr., S Paulo, 35(2):135-151.
- Castro, B. M. & Miranda, L. B. de 1998a. Physical oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 4°N and 34°S . In: Robinson, A. R. & Brink, K. H. eds. The Sea. Oxford, John Wiley & Sons. p.209-251.

- Castro, B. M. & Miranda, L. B. de 1998b. Hydrographic properties in the São Sebastião Channel (SP): daily variations observed in March, 1980. *Rev. bras. oceanogr.*, 46(2):111-123.
- Coelho, A. L. 1997. Massas de água e circulação no Canal de São Sebastião (SP). Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 244p.
- Emilsson, I. 1962. As correntes marítimas no Canal de São Sebastião. *Ciência e Cult.*, S Paulo, 14(4):269-270.
- Fofonoff, N. P. & Millard Jr., R. C. 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. UNESCO tech. Pap. Mar. Sci., 44:1-53.
- Fontes, R. F. C. 1995. As correntes no Canal de São Sebastião. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 159p.
- Furtado, V. V. 1978. Contribuição ao estudo da sedimentação atual no Canal de São Sebastião. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. 2v.
- Furtado, V. V.; Gallo, J. & Luedemann, E. F. 1987. Análise do comportamento de correntes através de corpos de deriva no Canal de São Sebastião, São Paulo. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 1. Porto Alegre, 1987. Anais. Porto Alegre, ABEQUA. p.93-102.
- Gaeta, S. A. 1999. Produção primária na região oeste do Atlântico Sul. Tese de livre-docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 140p.
- ICES - International Council for the Exploration of the Sea. 1966. Oceanographic punch cards. 2nd ed. Copenhagen, 15p.
- Kvinge, T. 1967. On the special current and water level variations in the Channel of São Sebastião. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 16(1):23-38.
- Leandro, R. P. 1999. Climatologia das águas do Canal de São Sebastião (SP). Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 162p.
- Miranda, L. B. de 1982. Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) e Ilha de São Sebastião (SP). Tese de livre-docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. Iv.
- Miranda, L. B. & Castro, B. M. 1995. Variabilidade da circulação e do transporte de volume no Canal de São Sebastião (SP). *Publção esp. Inst. oceanogr.*, S Paulo, (11):1-9.
- Moreira, M. H. R. 1998. Circulação na plataforma interna do litoral norte do Estado de São Paulo. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 153p.
- Silva, J. F. 1984. Dados climatológicos de Cananéia e Ubatuba (Estado de São Paulo). *Bolm climatol. Inst. Oceanogr.*, S Paulo, (5):1-18.
- Silva, L. dos S. 1995. Condições oceanográficas no Canal de São Sebastião e na região costeira adjacente: variações sazonais entre fevereiro de 1994 a março de 1995. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 128p.
- Silva, L. dos S. 2001. Estudo numérico da circulação e da estrutura termohalina no Canal de São Sebastião. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 256p.
- Soares, I. D. 1995. Um modelo numérico de dispersão oceânica: aplicações ao Canal de São Sebastião e adjacências. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 126p.
- UNESCO. 1981. The Practical Salinity Scale 1978 and the International Equation of State of Seawater 1980. UNESCO tech. Pap. mar Sci., 36:25p.

(Manuscrito recebido 28 março 2000; revisado 12 dezembro 2000; aceito 16 outubro 2001)