

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DE CANANÉIA-IGUAPE

Sadako Yadoya MIYAO; Linda NISHIHARA & Cláudio Cícero SARTI

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

Synopsis

This paper reports a series of data on salinity, current, nutrient and dissolved oxygen concentration observed in the Cananéia-Iguape region. The circulation of the system is dominated by tides entering from Barra de Cananéia and Barra de Icapara. Due to differences in the ebb and flood periods in Mar de Cananéia and Mar do Cubatão, residual flows of opposite directions were observed in the bottom layers of these channels. Observations from January 1982 in Mar de Cananéia showed nutrient concentrations generally higher at high tide than at low tide. The same behaviour was not observed in July 1981, when the concentrations were lower than in January. Differences in nutrient distributions in Mar de Cananéia and Baía de Trapandê-Mar do Cubatão are apparently related to local influence of mixing processes, as well as to local biological and chemical processes.

Descriptors: Estuaries, Circulation, Current velocity, Salinity, Nutrients, Dissolved oxygen, Cananéia-Iguape.

Descritores: Estuários, Circulação, Velocidade de corrente, Salinidade, Nutrientes, Oxigênio dissolvido, Cananéia-Iguape.

Introdução

O sistema estuarino lagunar de Cananéia-Iguape, situado no extremo sul da costa paulista (25°S - 48°W) tem sido objeto de vários estudos, desde a instalação da Base de Pesquisas do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, em Cananéia, na década de 50. Uma discussão dos principais trabalhos realizados na região pode ser vista em Mesquita (1978). A maioria deles diz respeito a aspectos biológicos e poucos tratam dos aspectos físicos e químicos de suas águas.

O presente trabalho apresenta uma análise de dados físicos e químicos coletados em diversas viagens realizadas à região entre 1979 e 1982, objetivando o conhecimento preliminar de suas condições hidrográficas.

Aspectos gerais

A circulação do sistema é dirigida principalmente pela ação da onda de maré que entra pelas Barras de Cananéia e de Ica-

para e pela contribuição de água doce dos rios, embora sofrendo em algumas ocasiões a influência do vento.

A maré observada na Base de Cananéia (localização na Fig. 1) é do tipo mista, com predominância semidiurna; a altura média da maré no local é de 81 cm, sendo a altura média da maré de sizígia de 120 cm, e de quadratura, de 26 cm (Mesquita & Harari, 1983).

A área superficial total dos canais principais que compõem o sistema (Mar Pequeno, Mar de Cananéia, Mar do Cubatão e Baía de Trapandê) é de cerca de 115 km². A bacia de drenagem do sistema é restrita a uma faixa relativamente pequena, ao redor do sistema lagunar.

Os rios que desaguam na região são na sua maioria pequenos, e não há medições de suas vazões. A maioria deles desagua no Mar do Cubatão e Baía de Trapandê. No Mar de Cananéia há apenas a presença de algumas gamboas, com pequena contribuição de água doce. No Mar Pequeno, o único rio significativo é o Rio Cordeiro. Até o fechamento do Valo Grande, em 1978, a Ribeira de Iguape desaguava parte de suas águas na parte norte do sis-

tema através desse canal artificial, e constituía a maior contribuição de água doce ao sistema.

Nas atuais condições a entrada de água doce no estuário deve seguir a va-

riação da precipitação local.

A precipitação média anual registrada na Base de Cananéia no período de 25 anos (1956 a 1980) é de 2.269 mm. O valor médio mensal máximo ocorre em março, e o mínimo em agosto (Fig. 2).

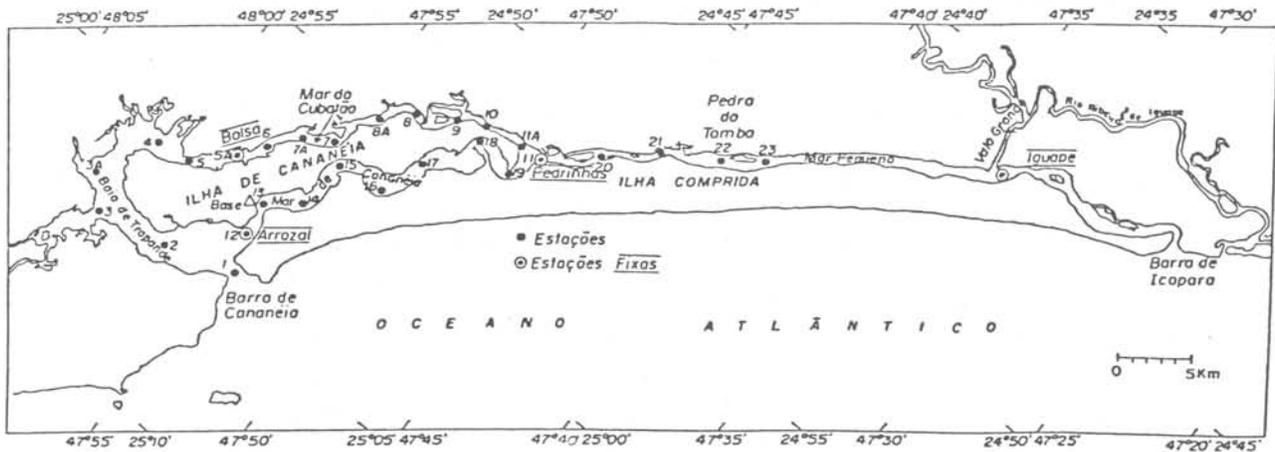


Fig. 1. O sistema estuarino-lagunar de Cananéia-iguape. Localização das estações.

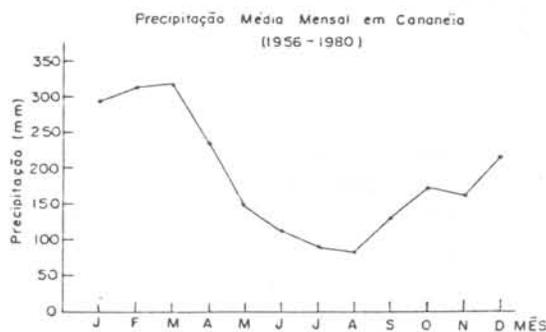


Fig. 2. Precipitação média mensal em Cananéia.

Material e métodos

Foram realizados basicamente dois tipos de amostragens. O primeiro, visando o conhecimento da distribuição longitudinal de propriedades físicas e químicas, em função da maré. As estações numeradas de 1 a 23 na Figura 1 foram amostradas da Barra de Cananéia em direção ao interior do estuário, durante as duas estofas de maré.

O segundo tipo de amostragem visou o estudo da variação temporal das propriedades em estações fixas localizadas nos diferentes canais, assinaladas por duplo círculo na Figura 1.

Foram usados termosalinômetros portáteis Beckman (precisão de leitura de $\pm 0,3^\circ/\text{‰}$ na salinidade) para medição a cada metro de profundidade.

Nas estações fixas foram usados correntômetros de hélice da marca Braystoke, com sensor magnético de direção, para medições de intensidade e direção de corrente a cada metro de profundidade.

As amostras para análise química foram coletadas através de uma garrafa van Dorn, na superfície e no fundo. As amostras de nutrientes foram filtradas em membranas Millipore HAWP 04700 logo após a coleta, e congeladas para análise em laboratório, de acordo com os procedimentos descritos por Koroleff & Grasshoff (1976). A precisão das determinações é: para fosfato, de $\pm 0,02 \mu\text{M}$ de $\text{PO}_4\text{-P/l}$; para nitrito, de $\pm 0,02 \mu\text{M}$ de $\text{NO}_2\text{-N/l}$ e para nitrato, de $\pm 0,1 \mu\text{M}$ de $\text{NO}_3\text{-N/l}$.

O oxigênio dissolvido foi determinado de acordo com o método de Winkler, com precisão de $\pm 0,04 \text{ ml/l}$.

Aspectos físicos

a) Distribuição longitudinal da salinidade

A distribuição da salinidade na região varia com o tempo, em função da quanti-

dade de água doce acumulada. Médias mensais de salinidade devem, de uma forma geral, acompanhar as variações dos índices mensais de precipitação menos evaporação (P-E). No entanto, variações de curto período nos índices de precipitação e descarga de água doce devem ter efeito significativo nos índices diários de salinidade.

A salinidade observada em jan./82 (Fig. 3), representando as condições de verão e, a rigor, representativa apenas da época de medição. No Mar de Cananãia observou-se um gradiente longitudinal médio de cerca de $0,35^{\circ}/\text{km}$, sendo maior na sua parte inicial, próximo à Barra. Esse canal apresenta uma estrutura vertical bem misturada de salinidade.

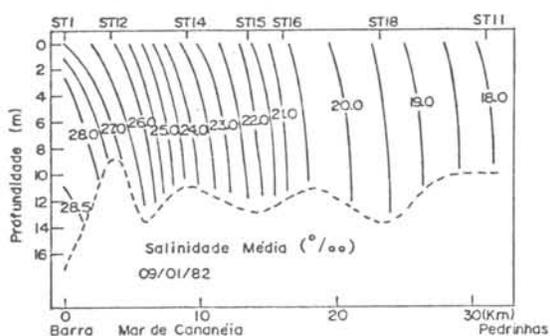


Fig. 3. Salinidade média (de baixamar e preamar) no Mar de Cananãia (jan./82).

Já na Baía de Trapandê e Mar do Cubatão, a presença de inúmeros rios torna a distribuição de salinidade bem mais complexa (Fig. 4), com uma configuração mais estratificada nas proximidades das bocas dos maiores rios. Na sua metade interior, o Mar do Cubatão passa a apresentar um perfil bem misturado de salinidade. Nesse trecho, o gradiente longitudinal médio é de cerca de $0,35^{\circ}/\text{km}$.

No Mar Pequeno, da estação 20 até a estação 23, foram encontrados os menores valores de salinidade, com uma distribuição quase uniforme (Fig. 5). Embora amostrado em época diferente (nov./79), e a rigor não passível de comparação sinótica com o restante, medições posteriores confirmaram os baixos valores observados no local.

A salinidade no Mar de Cananãia e na Baía de Trapandê-Mar do Cubatão, no inverno, apresentada nas Figs 6 e 7, refere-se à distribuição na baixamar observada em jun./79, quando por problemas com o barco, não foi completada a amostragem de preamar. A configuração geral das isohalinas é semelhante à de verão, mas os valores são maiores. Próximo à Barra de Cananãia (estação 1), por exemplo, a salinidade média vertical na baixamar foi de $30,5^{\circ}/\text{km}$, e na estação 18 foi de $23,0^{\circ}/\text{km}$. No verão esses valores foram respectivamente de $26,3^{\circ}/\text{km}$ e $18,6^{\circ}/\text{km}$, o que indica a ocorrência de

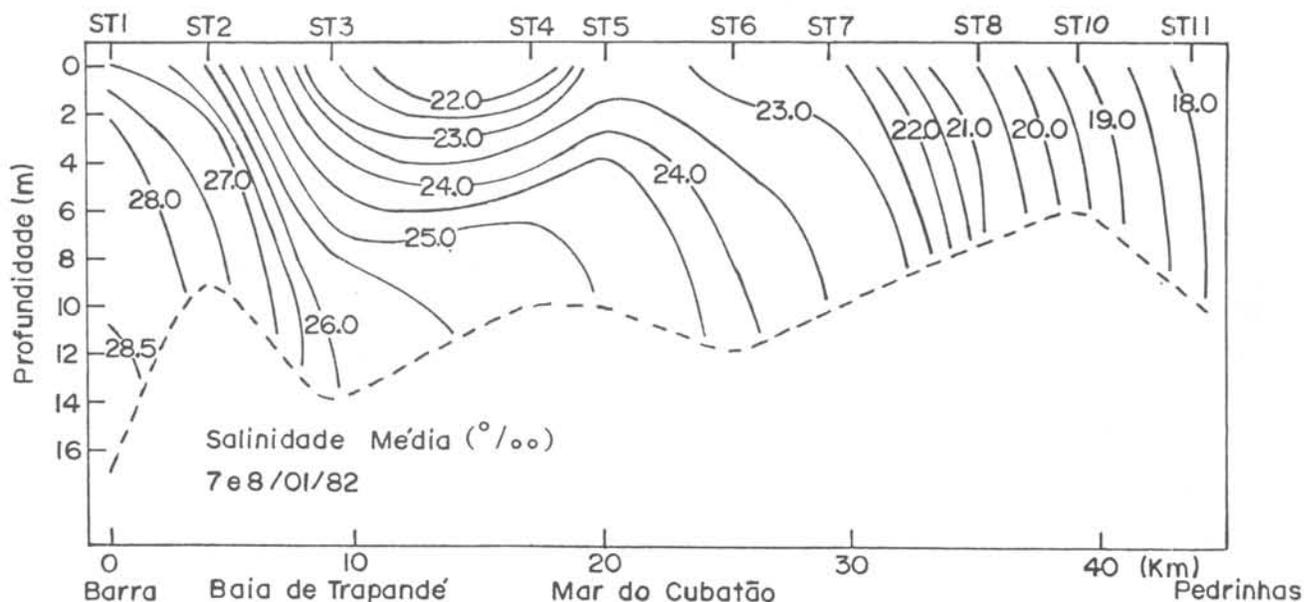


Fig. 4. Salinidade média (de baixamar e preamar) na Baía de Trapandê-Mar do Cubatão (jan./82).

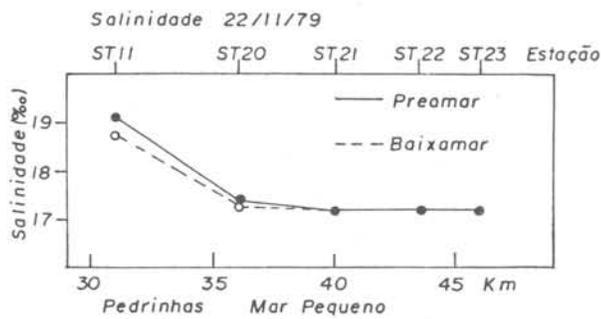


Fig. 5. Salinidade média vertical no Mar Pequeno (nov./79) (na baixamar e preamar).

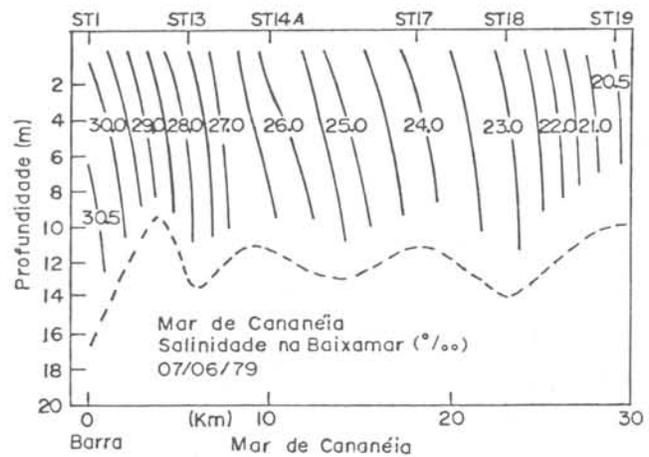


Fig. 6. Salinidade na baixamar no Mar de Cananéia (jun./79).

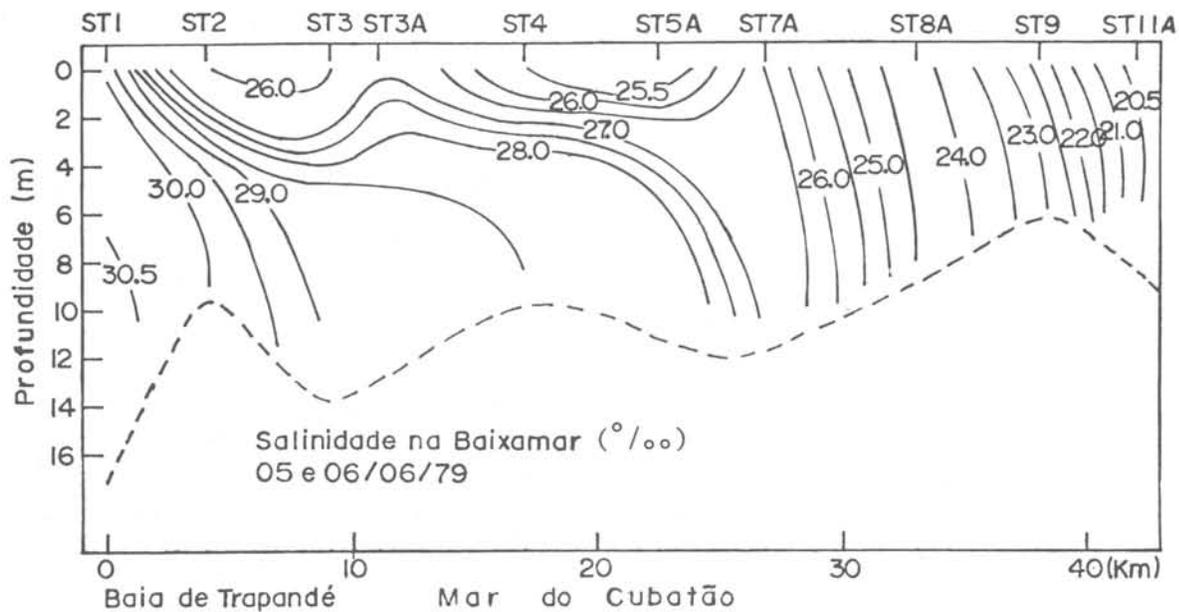


Fig. 7. Salinidade na baixamar na Baía de Trapandê-Mar do Cubatão (jun./79).

uma porcentagem acumulada de água doce no inverno menor do que no verão, como era previsto, de acordo com os dados de precipitação.

b) *Variação da salinidade e velocidade de corrente durante o ciclo de maré nas estações fixas*

As correntes em todos os canais do sistema são basicamente correntes de maré. Os dados de velocidade de corrente foram decompostos em componentes paralela e perpendicular ao eixo longitudinal do canal.

A componente longitudinal apresentou uma variação predominante devido à maré, com alternância de fluxo e refluxo. A componente transversal, geralmente muito pequena, mostrou variação temporal irregular, sem relação aparente com a maré, e não foi considerada.

A corrente residual de um ou mais ciclos de maré pode englobar vários efeitos, devidos à circulação gravitacional, bombeamento de maré, desigualdade diurna da maré, vento, etc, e pode variar de um ciclo a outro, e com o ciclo sizígia-quadratura da maré.

Para cada profundidade amostrada, a

corrente residual foi calculada por integração gráfica da curva de velocidade em função do tempo, dividindo-se o valor resultante pelo período considerado, de um ou dois ciclos de maré.

A corrente residual calculada para uma vertical numa secção transversal do canal, como é feito neste trabalho, não representa, a rigor, a direção e magnitude do fluxo residual seccional, mas permite fazer, em primeira aproximação, uma análise da circulação nos diferentes canais do sistema, razão pela qual é feita uma discussão apenas qualitativa dos fluxos.

b.1) Estação da Ponta do Arrozal (Mar de Cananãia)

Essa estação, relativamente próxima à Barra de Cananãia, está sujeita a uma influência das águas oceânicas mais acentuada do que as demais estações fixas.

A relação entre a salinidade e a velocidade de corrente durante dois ciclos de maré é vista na Figura 8. Os valores máximos de salinidade ocorreram próximo à estufa da preamar, e os mínimos próximo à estufa da baixamar, quando ocorreram as inversões na direção das correntes.

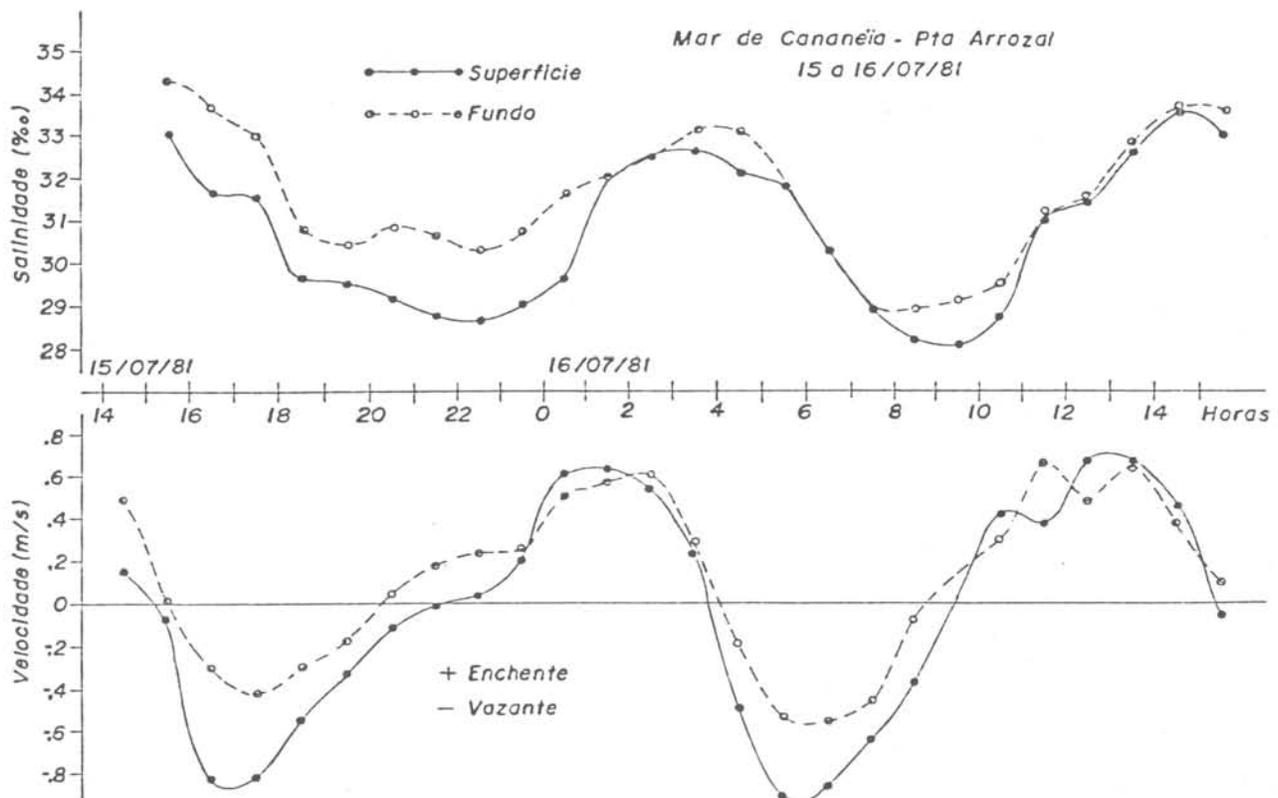


Fig. 8. Variação temporal da salinidade e da velocidade de corrente na estação da Ponta do Arrozal (jul./81).

As isohalinas indicaram condições bem misturadas em torno das correntes máximas de enchente (salinidade crescente) e vazante (salinidade decrescente), e uma ligeira estratificação nas estofas (Fig. 9). A salinidade média vertical variou no período observado de 28,5‰ a 33,5‰.

As velocidades máximas na superfície ocorreram na vazante (> 0,8 m/s). Próximo ao fundo, as velocidades máximas de enchente e de vazante foram de cerca de

0,6 m/s. A duração da enchente e da vazante foi diferente na superfície e fundo, o que produziu, para os dois ciclos observados, um fluxo residual de duas camadas: de saída na superfície e de entrada na camada de fundo.

Velocidades obtidas com correntôgrafo a 2 m do fundo num ponto mais interior desse canal (estação 15) indicaram a ocorrência de fluxo residual de fundo predominante de saída (no sentido da Barra de Cananãia). Tal fato sugere que

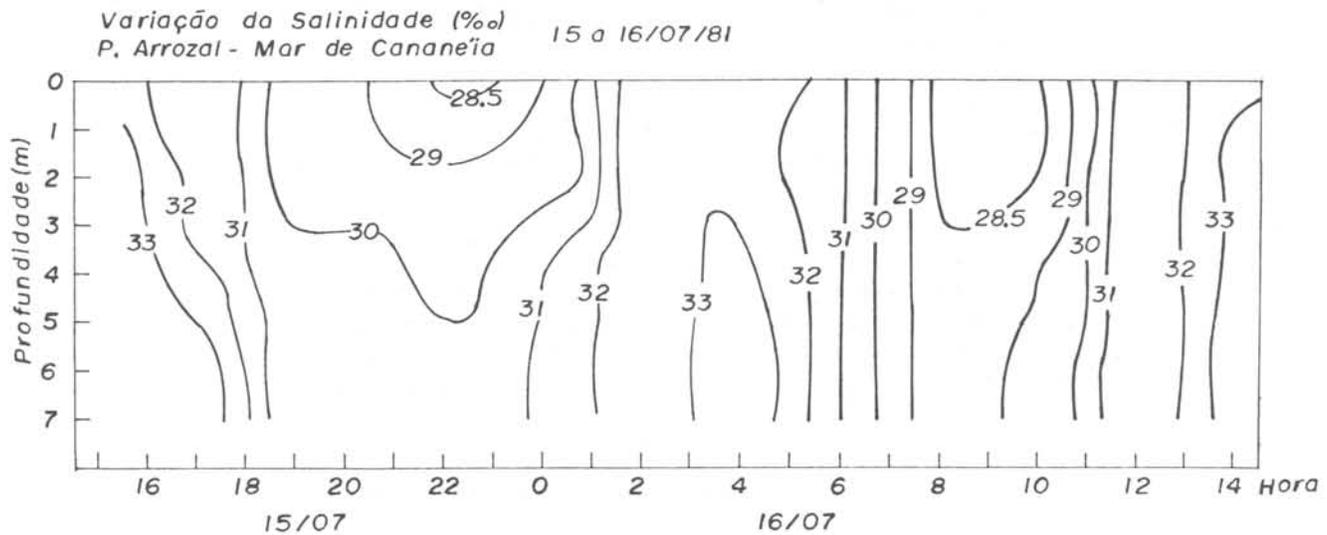


Fig. 9. Variación vertical da salinidade durante dois ciclos de maré na estação da Ponta do Arrozal (jul./81).

ou o fluxo residual de duas camadas se restringe a uma extensão parcial do Mar de Cananéia, e/ou que esse padrão varia, em função das condições de maré e de entrada de água doce.

b.2) Estação da Balsa (Mar do Cubatão)

Medidas efetuadas em jul./79 na estação (Balsa) no Mar do Cubatão (Fig. 1) indicaram uma variação muito pequena da salinidade durante o ciclo de maré ($\Delta S < 1\text{‰}$) em toda a profundidade (Fig. 10).

A relação entre a salinidade e a velocidade de corrente (Fig. 10a) mostra que os valores máximos de salinidade foram encontrados próximo à estufa da preamar, e os mínimos próximo à estufa da baixamar.

A pequena variação da salinidade nessa estação está associada ao baixo gradiente longitudinal de salinidade nesse trecho do Mar do Cubatão (Figs 4 e 7).

Nesse particular ciclo de maré, a corrente residual observada foi de entrada, em toda a profundidade. Dados de velocidade a 2 m do fundo foram comparados com registro de correntógrafo à mesma distância do fundo, fundeado no Mar de Cananéia (estação 15) no mesmo período (Fig. 10b).

As velocidades máximas são aproximadamente iguais, mas a duração da enchente no Mar do Cubatão é maior do que no Mar de Cananéia. Como resultado, tem-se para o mesmo período correntes residuais nessa profundidade em sentidos opostos nas duas estações, sendo de entrada no

Mar do Cubatão e de saída no Mar de Cananéia.

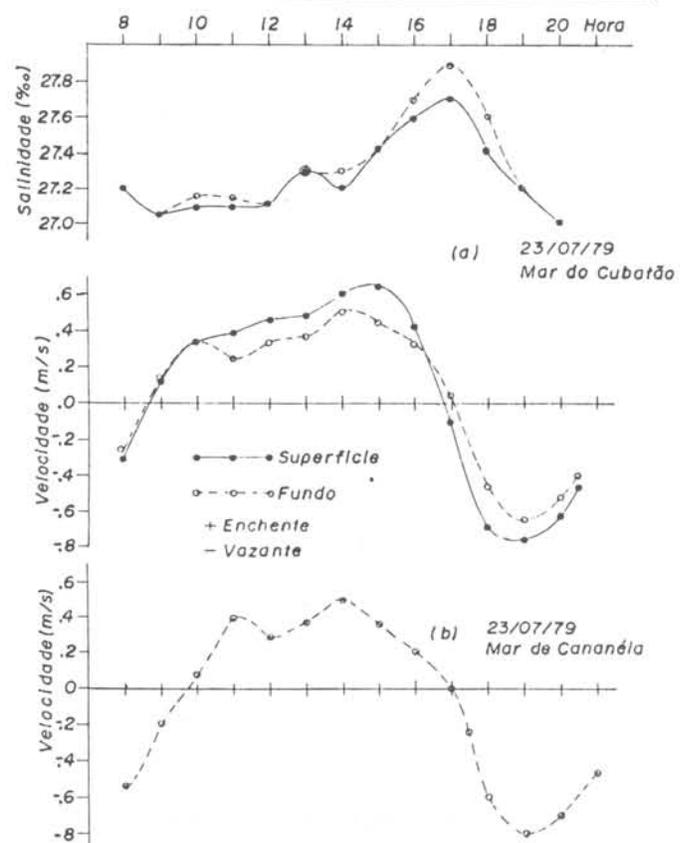


Fig. 10. a) Variação temporal da salinidade e da velocidade de corrente na estação Balsa no Mar do Cubatão.
b) Variação da velocidade de corrente na estação 15 no Mar de Cananéia - (valores para jul./79).

Medições realizadas em dez./81 próximo a esta estação da Balsa mostraram a ocorrência de fluxo residual em duas camadas: de saída na camada superficial e de entrada na camada de fundo. O fluxo residual de fundo, no sentido de entrada nesse trecho do Mar do Cubatão, pode portanto ser um aspecto de ocorrência freqüente da circulação local.

b.3) Estação de Pedrinhas (Mar Pequeno)

Essa estação do Mar Pequeno (estação 11), amostrada em nov./79, e localizada próximo à junção do Mar de Cananêia e Mar do Cubatão, apresentou uma variação de salinidade em função da maré, mais irregular do que a observada no Mar de Cananêia (Fig. 11).

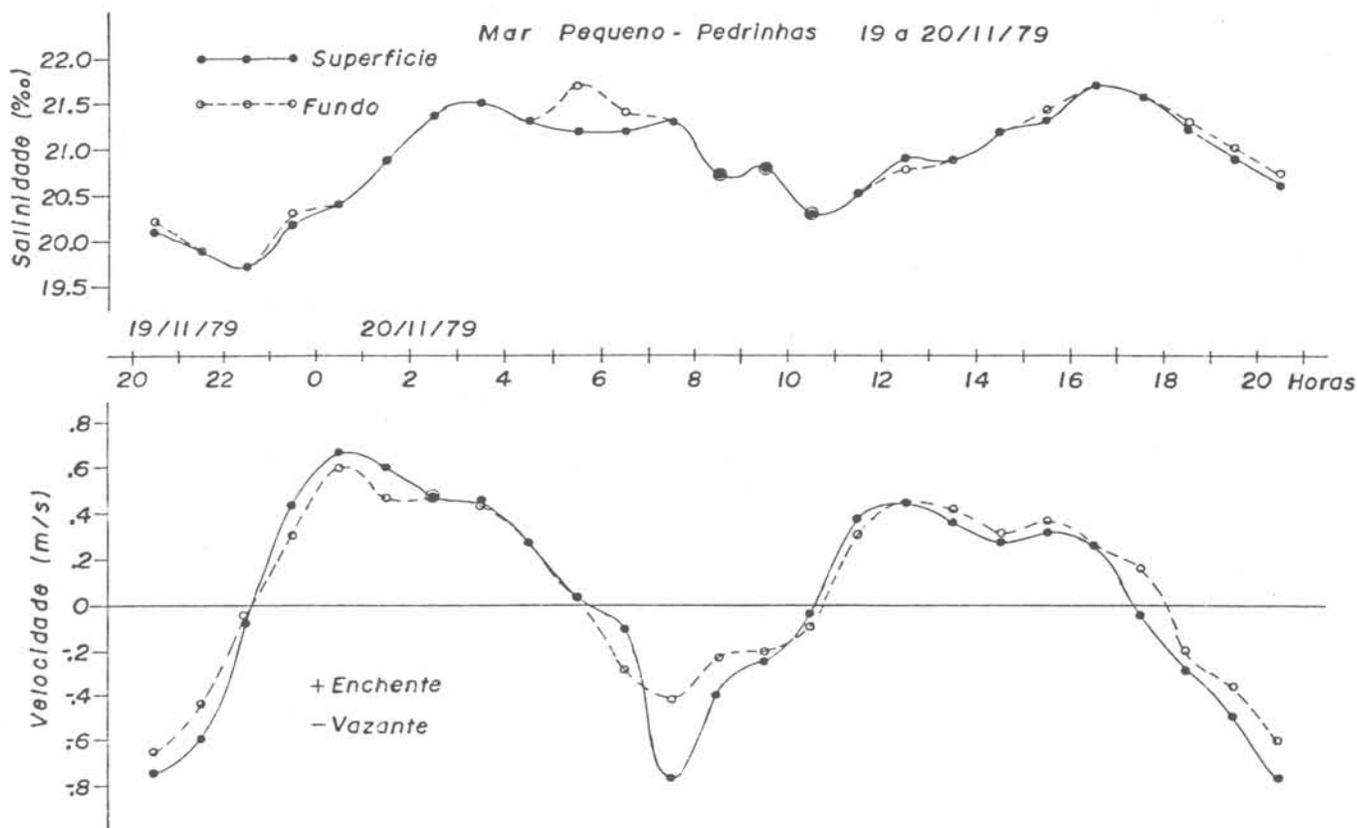


Fig. 11. Variação temporal da salinidade e da velocidade de corrente na estação Pedrinhas no Mar Pequeno (nov./79).

Bastante homogênea verticalmente, a salinidade variou no período entre $19,7\text{‰}$ e $21,7\text{‰}$, sendo os valores extremos observados próximo às estofas da maré.

A corrente nesta estação é na direção de Iguape na enchente, e em direção a Cananêia na vazante. Devido à localização da estação, nota-se na vazante uma componente lateral acentuada, por efeito da corrente proveniente do Mar do Cubatão, defletindo a direção da corrente de vazante, em relação à enchente, o que dificultou a avaliação da corrente residual. Esta apresentou uma direção predominante de entrada, ou seja, em direção a Iguape.

b.4) Estação de Iguape (Mar Pequeno)

Essa estação na parte norte do sistema

estuarino, amostrada em jan./80, apresentou uma variação de salinidade muito pequena, tanto em função do tempo como da profundidade ($\Delta S \approx 0,5\text{‰}$) (Fig. 12).

Como além disso, os valores observados de salinidade foram baixos ($S \approx 18\text{‰}$) considerando a distância à Barra, pode-se supor que a incursão da água oceânica na enchente não alcançou esse ponto, nas condições observadas de maré e vento no período.

Esse fato se deve possivelmente às pequenas profundidades encontradas nessa parte do sistema, e à existência, pouco a jusante dessa estação, de um estrangulamento do canal, junto a uma mudança de direção do mesmo. Dessa forma, o volume do prisma de maré que entra pela Barra de Icapara é bastante reduzido, se comparado ao da Barra de Cananêia.

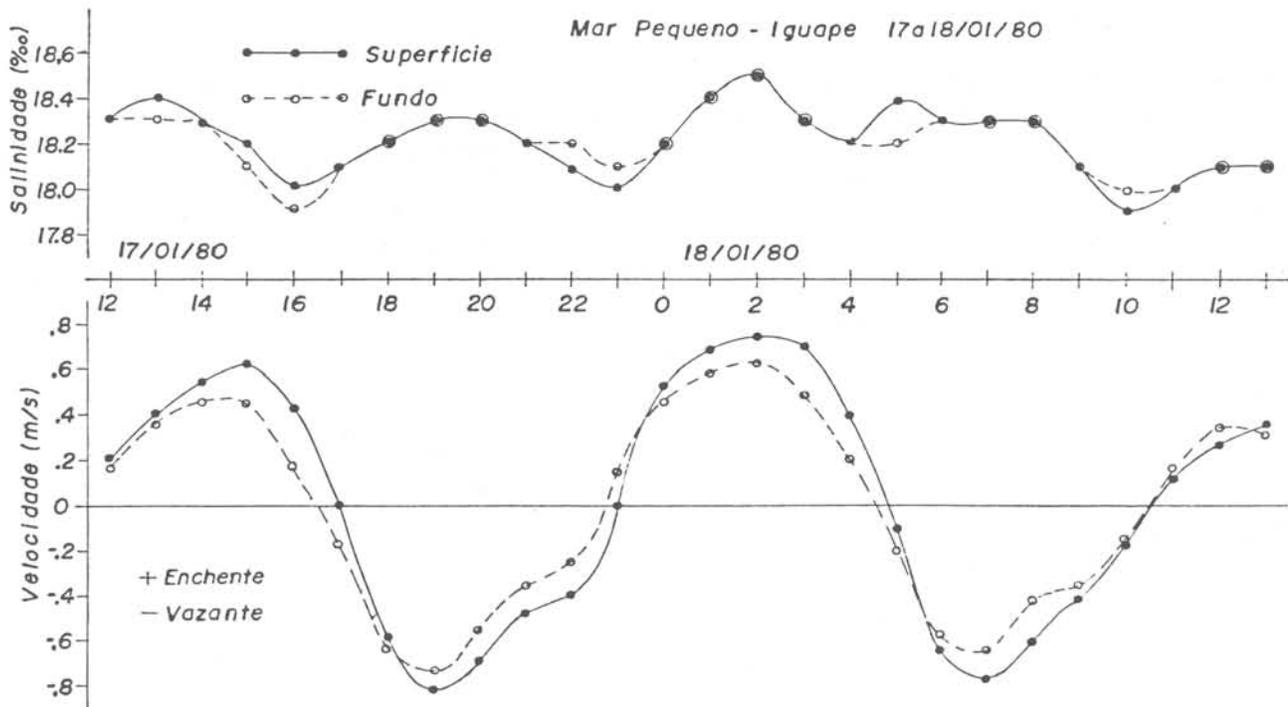


Fig. 12. Variação temporal da salinidade e da velocidade de corrente na estação de Iguape no Mar Pequeno (jan./80).

A componente longitudinal da corrente (Fig. 12) apresenta velocidades máximas de enchente e vazante bastante próximas, com cerca de 0,7 m/s. A corrente residual desta estação apresentou valores muito pequenos, de saída (no sentido da Barra de Icapara), na superfície e no fundo.

Aspectos químicos

a) Oxigênio dissolvido

No Mar de Cananéia, o oxigênio dissolvido observado em jan./82, expresso em porcentagem de saturação, apresentou valores entre 80 e 90%. A distribuição longitudinal do oxigênio é irregular (Fig. 13), variando de uma estação a outra, possivelmente em função da influência de águas de gamboas próximas ou da predominância local de processos de consumo ou produção de oxigênio.

Na Baía de Trapandê, à mesma época, os valores de porcentagem de saturação foram superiores a 85% (Fig. 14), enquanto que no Mar do Cubatão estiveram geralmente entre 75 e 80%. Esses valores devem ser decorrentes da quantidade de material orgânico carregado pelos rios e gamboas, presentes em grande número nessa região.

No Mar Pequeno, os valores de porcentagem de saturação de oxigênio observa-

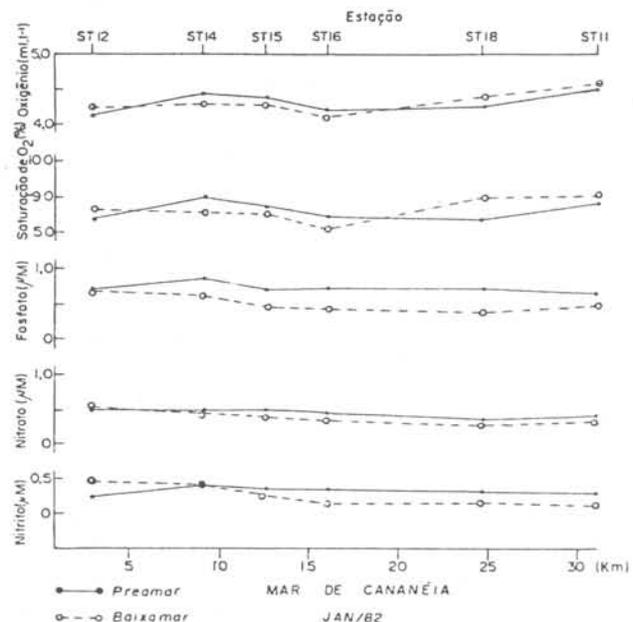


Fig. 13. Oxigênio dissolvido e nutrientes no Mar de Cananéia (9/jan./82).

dos em nov./79 foram altos, geralmente acima da saturação, devido possivelmente a processos biológicos locais (Fig. 15).

Tal influência pode ser notada na estação fixa de Pedrinhas (Fig. 16): a

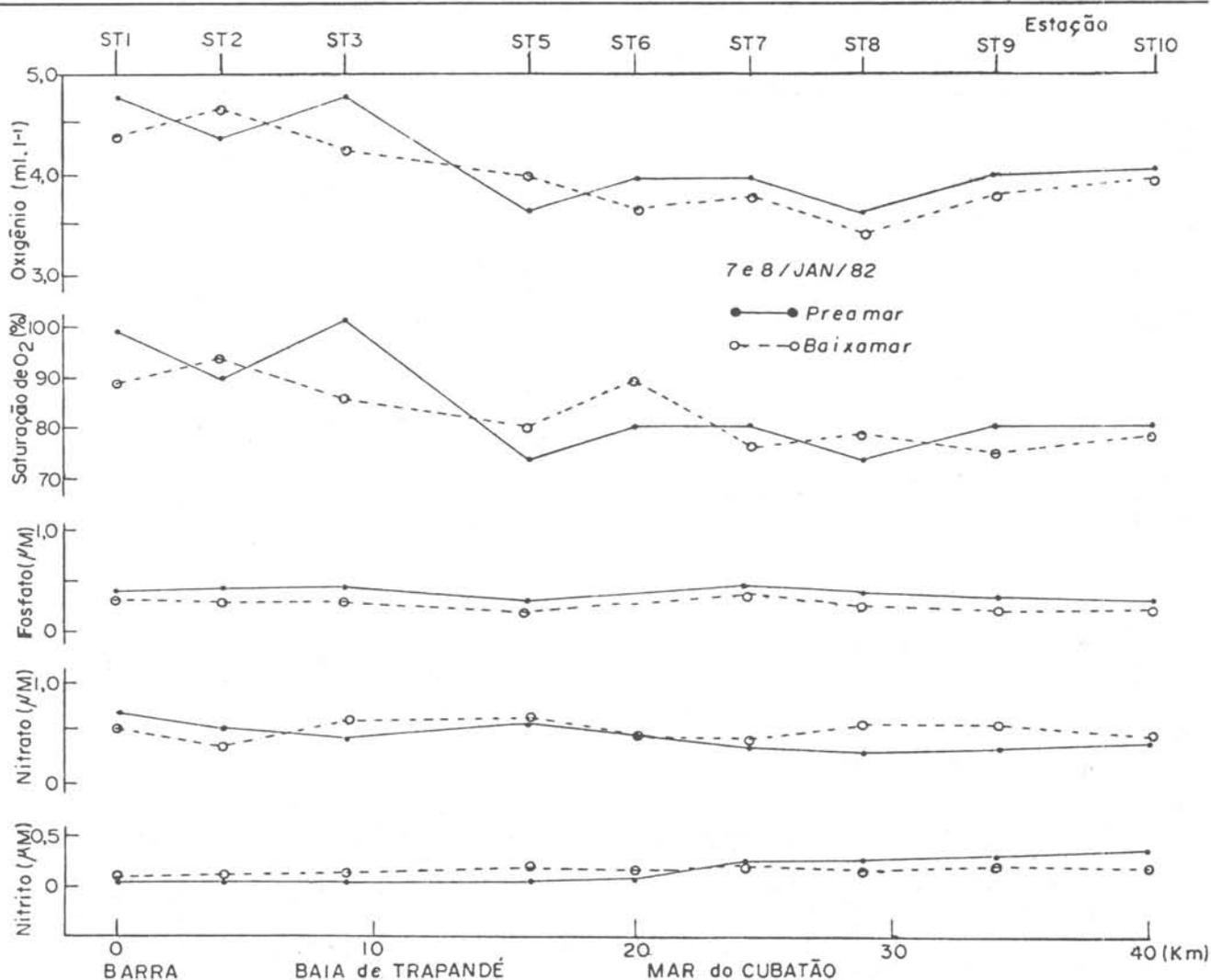


Fig. 14. Oxigênio dissolvido e nutrientes na Baía de Trapandê-Mar do Cubatão (7 e 8/jan./82).

atividade fotossintética provoca supersaturação em oxigênio durante o dia, em contraste com a insaturação verificada no período noturno. Essa variação diurna do oxigênio não é evidente, por exemplo, na estação do Arrozal, devido à predominância no local, do efeito da água oceânica da enchente nos teores de oxigênio.

b) Nutrientes

b.1) Mar de Cananêia

As medições realizadas ao longo do Mar de Cananêia nas duas estofas da maré em jan./82, portanto no verão, mostram distribuição longitudinal semelhante para o fosfato, nitrato e nitrito (Fig. 13).

Os valores representados referem-se à média das concentrações de superfície e fundo.

As variações longitudinais são pequenas, mas as concentrações são geralmente maiores na preamar. Os valores médios observados nas estações mais próximas à Barra foram de cerca de 0,7 μM para o fosfato, 0,5 μM para o nitrato e 0,3 μM para o nitrito, ocorrendo uma ligeira diminuição em direção ao interior do estuário.

As medições feitas em jul./81, portanto no inverno, indicaram concentrações médias menores: cerca de 0,25 μM para o fosfato, 0,25 μM para o nitrato e 0,1 μM para o nitrito (Fig. 17). Nessa ocasião, as diferenças nas concentrações de baixamar e preamar foram menos nítidas.

A estação fixa na Ponta do Arrozal, amostrada nessa ocasião (Fig. 18) apresentou pequena variação nos teores de nutrientes durante o ciclo de maré,

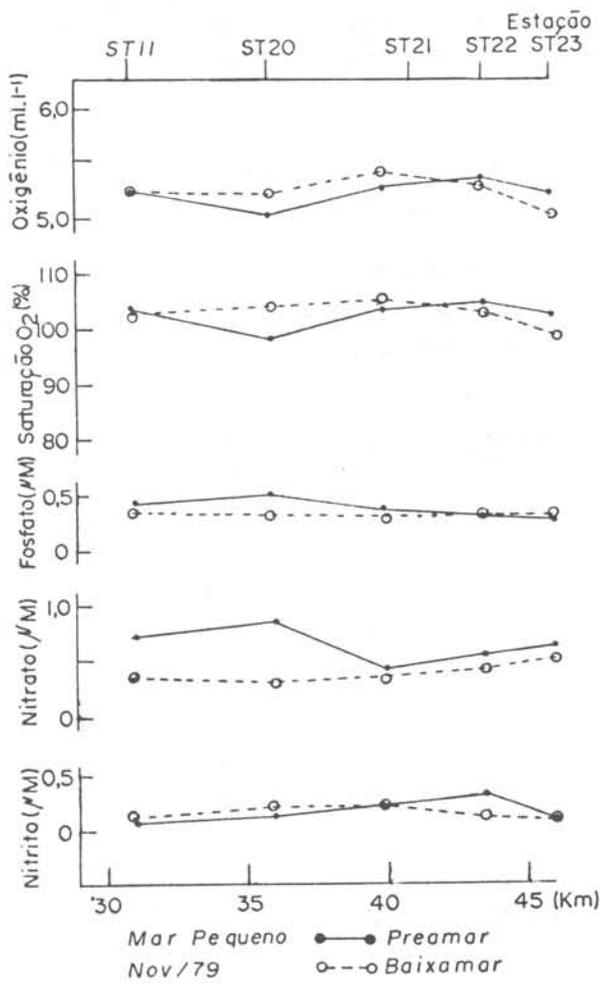


Fig. 15. Oxigênio dissolvido e nutrientes no Mar Pequeno (22/nov./79).

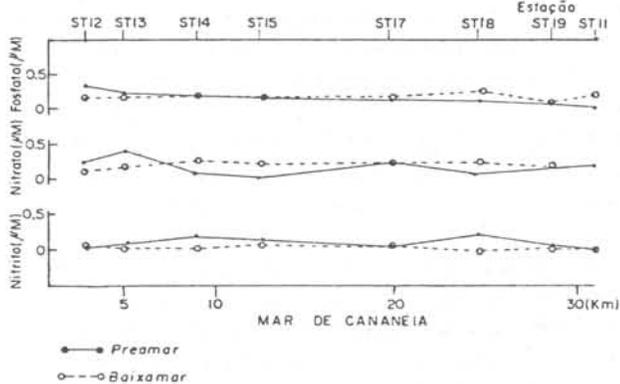


Fig. 17. Nutrientes no Mar de Cananéia (14/jul./81).

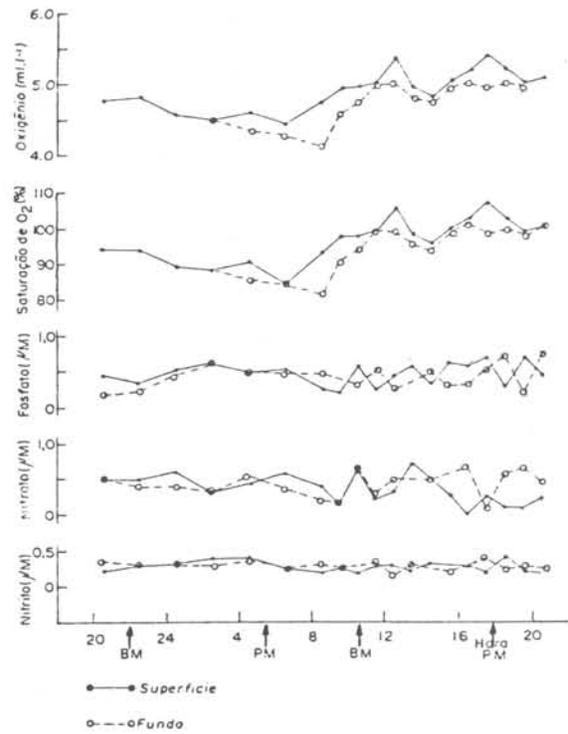


Fig. 16. Variação temporal do oxigênio dissolvido e nutrientes na estação Pedrinhas (19 e 20/nov./79). PM - preamar, BM - baixamar

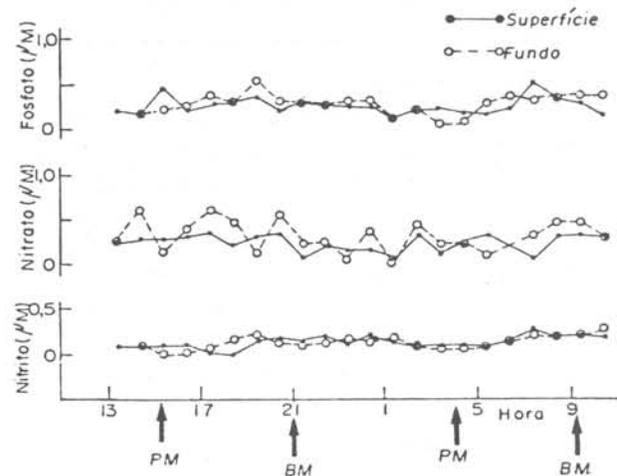


Fig. 18. Variação temporal dos nutrientes na estação Ponta do Arrozal (15 e 16/jul./81). PM - preamar, BM - baixamar

com os valores de fundo quase sempre ligeiramente superiores aos da superfície, porém sem uma variação nítida com a maré.

b.2) Baía de Trapandê-Mar do Cubatão

A distribuição de fosfato em jan./82 na Baía de Trapandê - Mar de Cubatão foi semelhante à verificada no Mar de Cananéia, com concentrações maiores na preamar; já o nitrato e nitrito não seguiram esse padrão (Fig. 14). As concentrações dos nutrientes foram em geral menores do que as encontradas no Mar de Cananéia, apresentando também pequena variação longitudinal; os valores médios foram de cerca de 0,4 μM para o fosfato, 0,5 μM para o nitrato e 0,2 μM para o nitrito.

b.3) Mar Pequeno

No trecho amostrado do Mar Pequeno em nov./79, com exceção do nitrito, os valores encontrados na preamar foram maiores do que na baixamar. Os valores médios foram de cerca de 0,3 μM para o fosfato, 0,5 μM para o nitrato e 0,2 μM para o nitrito (Fig. 15).

b.4) Relação entre a concentração dos nutrientes e a salinidade

Para se fazer uma avaliação do grau de associação entre os valores de salinidade e nutrientes, foram calculados os coeficientes de correlação linear (R). A significância da relação é expressa em termos de nível de probabilidade (P) no qual o coeficiente de correlação calculado é maior do que o valor crítico obtido pela relação: $C = t/(N-2) + t^2)^{1/2}$ para um número de amostras N e o correspondente valor da distribuição de Student (t) (Sachs, 1984, p.425).

Os coeficientes de correlação linear entre salinidade e nutrientes para os dados de jan./82 e jul./81 no Mar de Cananéia, e de jan./82 na Baía de Trapandê-Mar do Cubatão apresentados na Tabela 1.

Foram considerados os dados individuais de nutrientes e os correspondentes de salinidade, o que forneceu coeficientes de correlação nem sempre evidentes nos gráficos da distribuição longitudinal dos nutrientes, onde são representados os valores médios de superfície e fundo.

A caracterização de amostras estuárias com relação à salinidade é um proce-

dimento muito utilizado em estudos químicos nos estuários.

A correlação entre a concentração do constituinte dissolvido e a salinidade, para amostras coletadas na faixa de variação da salinidade, permite avaliar o ganho, consumo ou conservação do constituinte, bem como ter uma indicação da contribuição relativa de constituintes provenientes da água doce e salina. Se o constituinte químico está sujeito somente aos processos físicos de mistura (assumindo-se que as águas sejam bem misturadas), ao se plotar os valores deste constituinte em função da salinidade, dever-se-á ter uma linha reta, cuja inclinação vai ser positiva ou negativa, conforme a concentração do constituinte seja maior na água oceânica do que na do rio, ou vice-versa.

Na mistura conservativa, os pontos amostrados vão se situar sobre a reta que une os pontos extremos da série (a linha teórica de diluição). Quando o constituinte se comporta de forma não conservativa, os dados vão se desviar dessa linha teórica, situando-se acima ou abaixo da mesma, indicando respectivamente adição ou remoção do mesmo. Este método de análise, descrito em linhas gerais e conhecido como o método dos reagentes, pode ser visto em Morris (1985), onde é feita uma análise extensa e detalhada.

Os coeficientes de correlação linear obtidos neste trabalho foram muito baixos e o diagrama de dispersão tampouco permitiu uma conclusão quanto à tendência da distribuição, se acima ou abaixo da reta média calculada. No entanto, é significativo o fato dos coeficientes de correlação serem quase sempre positivos. Isso porque é comumente considerado que nutrientes como P, N, Si e outros, têm concentrações maiores nas águas provenientes dos rios do que do oceano (Liss, 1976).

Analisando os coeficientes obtidos para o fosfato, pode-se dizer que os mesmos sugerem que a entrada de água oceânica está associada a concentrações maiores deste nutriente; entre as possíveis explicações para esse fato pode-se aventar a ocorrência de concentração maior deste nutriente na água oceânica em relação à água estuarina, ou então a ação das correntes, principalmente nas proximidades da Barra, onde são mais intensas. Essa ação, provocando a ressus-

Tabela 1. Coeficientes de correlação linear (R) entre salinidade e nutrientes, onde N = número de amostras e P = nível de probabilidade da significância da correlação

Local	Fosfato			Nitrato			Nitrito		
	R	N	P	R	N	P	R	N	P
Mar de Cananãia jan./82	0,51	24	0,01	0,56	22	0,01	0,54	24	0,01
Baía de Trapandê/ Mar do Cubatão jan./82	0,46	34	0,01	0,37	33	0,05	-0,36	34	0,05
Mar de Cananãia jul./81	0,48	49	0,001	0,04	41	NS	0,20	48	NS

NS = não há correlação significativa

pensão do sedimento de fundo e a liberação do nutriente à água, se refletiria mais efetivamente na enchente, quando o transporte das águas é para dentro do estuário.

Os coeficientes de correlação sugerem que são distintas as fontes e taxas de transformação dos compostos de N e P no sistema. Por outro lado, o fato de não haver uma relação linear significativa entre nutrientes e salinidade, pode ser atribuída à existência de várias fontes de água doce, sobretudo na Baía de Trapandê-Mar do Cubatão, e/ou à predominância de processos de consumo ou adição.

Discussão

Os dados analisados, embora limitados, permitem traçar um quadro em primeira aproximação do padrão de circulação e a conseqüente distribuição de propriedades físicas e químicas da região.

A Baía de Trapandê, pela sua dimensão maior, e por se situar em direção frontal à Barra de Cananãia, recebe um fluxo de água oceânica maior do que o ramo do Mar de Cananãia. Como conseqüência, à mesma distância da Barra, os valores de salinidade são maiores na Baía de Trapandê-Mar do Cubatão, do que no Mar de Cananãia.

No Mar Pequeno, nas proximidades da Pedra do Tombo, região onde ocorre o encontro das ondas de maré provenientes das duas barras (Miniussi, 1959), foram observados os menores valores de salinidade, e de mínima variação desta com a fase da maré. A água doce que entra nesse trecho do Mar Pequeno, proveniente

de rios ou de origem subterrânea, parece aí se acumular, devido à baixa taxa de renovação das águas locais, resultante da ocorrência em certo grau, de um represamento por ação das ondas de maré em sentidos opostos.

As estações no início do Mar de Cananãia (Arrozal) e no Mar do Cubatão (Balsa) indicaram a ocorrência, nesses locais, de fluxos residuais em duas camadas; esse padrão, no entanto, pode não ser permanente, podendo além disso, mudar ao longo dos canais.

De particular interesse é a circulação observada em jul./79: a ocorrência de correntes residuais de fundo em sentidos opostos na estação 15 no Mar de Cananãia, e na estação Balsa no Mar do Cubatão. Nessas condições haveria como conseqüência, um transporte resultante canal adentro no Mar do Cubatão, embora não se possa precisar a extensão que atingiria. No Mar de Cananãia, o transporte resultante teria o sentido oposto. Esse resultado concorda com a hipótese levantada por Miyao (1977) de que o fluxo residual observado no Mar de Cananãia seria constituído, além da água doce, de uma parcela de água salina proveniente do Mar Pequeno ou do Mar do Cubatão.

Se essa for a direção predominante das correntes residuais de fundo no Mar de Cananãia e no Mar do Cubatão, tal fato poderia ter implicações importantes, na medida em que estabelece diferenciação nos dois canais, nos mecanismos de transporte de organismos e materiais oceânicos e estuarinos, e nas taxas de

permanência dos mesmos dentro da região estuarina.

Baseado neste padrão de correntes residuais observado no Mar de Cananéia e no Mar do Cubatão, pode-se levantar a hipótese de que as mesmas teriam por causa principal o bombeamento por maré. As diferenças na conformação e na batimetria da Baía de Trapandê-Mar do Cubatão e do Mar de Cananéia se refletiriam em desigualdades no comportamento da onda de maré nos dois canais, criando condições para a indução das correntes residuais nas direções observadas.

Alguns dos resultados desse trabalho, comparados a estudos feitos antes de 1978, mostram diferenças que podem ser atribuídas ao fechamento do Valo Grande naquele ano: Miyao (*op. cit.*) observou valores de salinidade no Mar de Cananéia bastante inferiores aos atuais, bem como a ocorrência de gradientes verticais de salinidade maiores, ou seja, uma estratificação salina maior do que a atual.

Já as medições feitas por Kato (1966) mostram concentrações de oxigênio dissolvido e nutrientes não muito diferentes das apresentadas neste trabalho. Kato enfatiza a importância dos processos de produção orgânica sobre a distribuição dos nutrientes.

No entanto, misturas resultantes da ação da maré podem afetar grandemente as taxas de transformações biológicas e químicas dos nutrientes; a isso se somam processos de adsorção e dessorção pelo material em suspensão e de fundo. A dependência em relação a esses fatores torna difícil a identificação dos mecanismos e processos que condicionam a sua distribuição.

Conclusões

A análise dos dados, embora concentrada mais na parte sul do sistema, principalmente no Mar de Cananéia, Baía de Trapandê e Mar do Cubatão, evidencia a ocorrência de variações espaciais e temporais no sistema estuarino.

Diferenças na conformação e batimetria do Mar de Cananéia e da Baía de Trapandê-Mar do Cubatão, e a presença nesses últimos, de vários rios, produzem aspectos diferenciados nos dois canais. A estrutura salina da Baía de Trapandê-Mar do Cubatão nas

proximidades dos maiores rios é um pouco estratificada, ao passo que ao longo do Mar de Cananéia, ela é bem misturada. As concentrações de oxigênio dissolvido no Mar do Cubatão foram menores do que no mar de Cananéia, possivelmente devido à quantidade de material orgânico trazido pelos rios. No Mar do Cubatão, no período observado, a duração da enchente na camada de fundo foi maior do que no Mar de Cananéia, o que resultou em correntes residuais de fundo em direções opostas nos dois canais.

Algumas diferenças sazonais puderam ser observadas. No inverno, devido ao baixo índice de precipitação, a salinidade no estuário foi maior do que no verão. A concentração de nutrientes no Mar de Cananéia no inverno (jul./81), foi menor do que no verão (jan./82).

Outras variações, de menor período, são função da fase da maré. Tanto no Mar de Cananéia, como no Mar do Cubatão e no Mar Pequeno, a salinidade varia em função da maré, com os valores máximos e mínimos ocorrendo próximo às estofas de preamar e baixamar, respectivamente; contudo, a amplitude de variação da salinidade no ciclo de maré é muito variável ao longo do estuário. No Mar de Cananéia, a concentração de nutrientes no verão (jan./82), apresentou valores mais altos na preamar do que na baixamar; já no inverno (jul./81), esse comportamento não foi observado.

Ao se relacionar linearmente a concentração de nutrientes com a salinidade, os coeficientes de correlação obtidos foram baixos; contudo, eles sugerem a ocorrência de diferentes fontes e taxas de transformação para os compostos de nitrogênio e fósforo. Os coeficientes de correlação linear para o fósforo, embora baixos, foram positivos; para explicar esse comportamento não comum, foi levantada a possibilidade de que a entrada de água oceânica no estuário estivesse associada a concentrações mais altas de fósforo.

Este trabalho, apresentando uma análise preliminar da circulação e da distribuição da salinidade e dos nutrientes no estuário, levanta hipóteses explicativas sobre o comportamento observado. A complexidade dos processos

envolvidos, contudo, deixa clara a necessidade de se estabelecer, em estudos futuros, amostragens mais intensivas, tanto espacial como temporal, dos parâmetros bióticos e ambientais. Tais amostragens permitiriam não só caracterizar qualitativa e quantitativamente os processos físicos, químicos e biológicos, mas também as suas interações.

Agradecimentos

Agradecemos aos colegas do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo que participaram das diferentes etapas do trabalho, e que deixamos de citar nominalmente por serem muitos; mas não podemos deixar de expressar um especial agradecimento ao Sr Orlando Argentin e aos funcionários da Base de Cananéia, pelo valioso auxílio nos trabalhos de campo. Agradecemos também o apoio dado pelo Prof. Dr Luiz B. de Miranda, como coordenador do Projeto Multinacional de Ciências do Mar - OEA, e o auxílio financeiro concedido por esse órgão, para a compra de equipamentos e execução das viagens.

Referências bibliográficas

- KATO, K. 1966. Chemical investigations on the hydrographical system of Cananéia Lagoon. Bolm Inst. oceanogr., S Paulo, 15(1):1-12.
- KOROLEFF, F. & GRASSHOFF, K. 1983. Determination of nutrients. In: Grasshoff, K.; Ehrhard, M. & Kremling, K., eds - Methods of seawater analysis. 2., rev. and extended ed. Weinheim, DEU., Verlag Chemie, p.125-187.
- LISS, P. S. 1976. Conservative and non-conservative behaviour of dissolved constituents during estuarine mixing. In: Burton, J. D. & Liss, P. S., eds - Estuarine chemistry. London, Academic Press, p.93-130.
- MESQUITA, A. R. de & HARARI, J. 1983. Tides and tide gauges of Cananéia and Ubatuba-Brazil (Lat. 24°). Relat. int. Inst. oceanogr. Univ. S Paulo, (11):1-14.
- MESQUITA, H. de S. L. 1978. Taxa de consumo de oxigênio pelo plâncton nas águas de superfície da região de Cananéia (25°S, 48°W) Estado de São Paulo. Tese doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências. 244p.
- MINIUSI, I. C. 1959. Propagação da maré em torno da Ilha de Cananéia. Contrções Inst. oceanogr. Univ. S Paulo, sér. Oceanogr. fís., (2): 1-5.
- MIYAO, S. Y. 1977. Contribuição ao estudo da oceanografia física da região de Cananéia (25°S, 48°W). Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 87p.
- MORRIS, A. W. 1985. Estuarine chemistry and general survey strategy. In: Head, P. C., ed. - Practical estuarine chemistry: a handbook. Cambridge, GB., Cambridge University Press, p.1-60.
- SACHS, L. 1984. Applied statistics: a handbook of techniques. 2nd ed. New York, Springer-Verlag. 707p.

(Recebido em 05-09-86;
aceito em 15-12-86)