

# Dinâmica e Natureza das Águas Adjacentes às Praias do Rio de Janeiro tendo em vista o Lançamento Submarino de Esgotos

DR. INGVAR EMILSSON

## I — INTRODUÇÃO

A contaminação das praias de banho por efluentes dos esgotos sanitários lançados ao mar constitui, há muito, motivo de preocupação por parte das autoridades encarregadas da saúde pública, considerando-a um fator latente de transmissão de doenças contagiosas. A essa circunstância se acresce o aspecto anti-estético das águas poluídas, com sua côr alterada, e que, pelo seu mau cheiro, freqüentemente atormentam as populações que procuram as praias cariocas.

O Departamento de Águas e Esgotos, da Secretaria da Viação e Obras do Estado da Guanabara procurando estabelecer as bases de um processo eficiente e econômico para a eliminação desses inconvenientes, providenciou a elaboração de um projeto visando o lançamento das águas servidas no fundo do mar, em pontos afastados das praias, previamente escolhidos para esse fim de acôrdo com os princípios da engenharia hidráulica e da oceanografia da região. Esse projeto estêve a cargo dos Engenheiros Sanitaristas Alvaro Cunha e José M. de Azevedo Netto.

Verificando-se a necessidade, para a elaboração técnica do projeto, de um estudo detalhado da dinâmica das águas adjacentes às praias, solicitou o DAE a colaboração do Instituto Oceanográfico para a realização de tais pesquisas. Foram assim efetuadas, pelo autor, as presentes investigações, cujos resultados também constam do relatório geral apresentado, em 1956, pelos encarregados do projeto.

Aproveitamos esta oportunidade para agradecer aos drs. Alvaro Cunha e José M. de Azevedo Netto que, de várias maneiras, contribuíram para o bom andamento dos trabalhos, e ao dr. Evaldo C. Peixoto, Engenheiro-Chefe da Divisão de Esgotos, que pôs à nossa disposição meios materiais e de pessoal para a execução dos trabalhos no mar. Merece também os nossos sinceros agradecimentos e elogios

a colaboração prestada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação, do Ministério da Marinha, que, por intermédio do seu então diretor, Almirante Jorge Leite, colocou à nossa disposição uma lancha (a DHN 26) com a respectiva tripulação, bem como parte dos diversos equipamentos indispensáveis à realização das observações no mar.

## II — INSTRUMENTOS E MÉTODOS

Os instrumentos utilizados nessas observações pertenciam, na maioria, ao Instituto Oceanográfico. Os mais importantes foram:

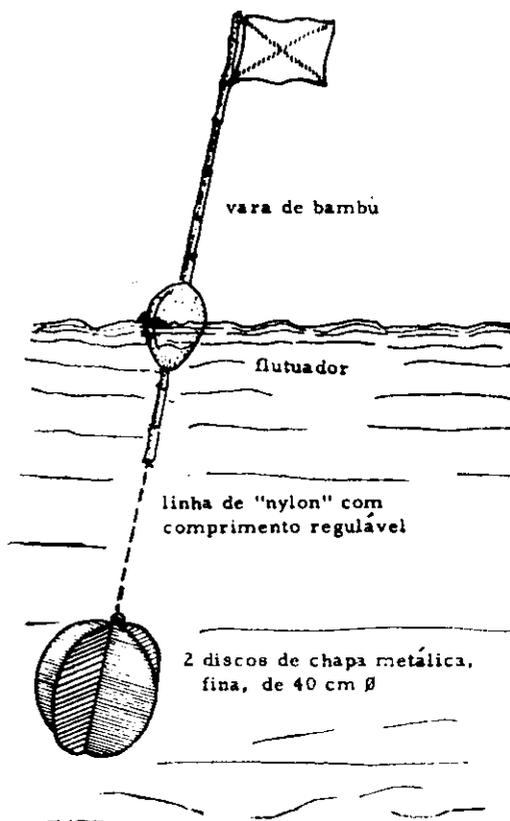


Fig. 1 — Corpo de deriva para determinação de corrente em profundidade

- a) 3 aparelhos para a coleta da água do mar em diferentes profundidades (Garrafas de Nansen).
- b) 6 termômetros de reversão para observação de temperatura em profundidade.
- c) 1 correntômetro Ekman para a indicação da direção e velocidade das correntes (Ekman, 1932).
- d) 1 polia conta-metros, medidor de profundidade.
- e) 1 guincho para sondagens tipo Kelvin.

Foram construídos, pelas oficinas do DAE, seis corpos de deriva, sendo que cada um destes consistia

A Figura 1 apresenta o conjunto. Sendo a resistência da água contra o elemento de deriva muito maior do que contra as demais partes do conjunto, supõe-se que o mesmo se desloque na direção das águas que arrastam esse elemento. Fazendo variar o comprimento da linha de nylon, foi possível observar a direção e a velocidade da corrente em diferentes profundidades simultaneamente, acompanhando os movimentos horizontais da água. A parte inferior do elemento de deriva foi untada com um ponco de graxa para indicar um eventual contato com o fundo, caso no qual aparecem sinais de grãos de areia ou lodo.

As dosagens de salinidade foram efetuadas no laboratório da Secção de Oceanografia Física deste Instituto pelo método de Mohr-Knudsen, usando-se

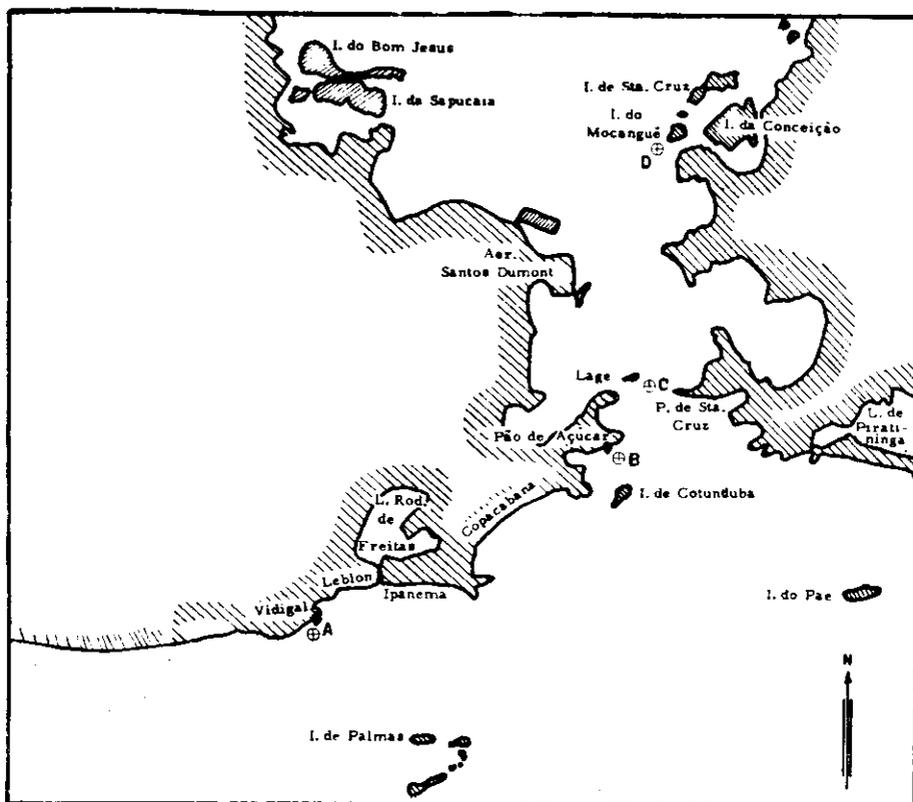


Fig. 2 — A região estudada.

legenda: ⊕ ponto de observação  
◆ terminal de esgoto.

de uma vara de bambú, tendo numa de suas extremidades uma bandeira, cada uma de cor diferente, para facilidade de identificação. Perto da outra extremidade da vara foi adaptado um flutuador. Dois discos de chapa fina de ferro, com diâmetro de 40 cm e encaixados ortogonalmente um no outro, funcionavam como elemento de deriva. Esse elemento inferior da vara por uma linha fina de nylon de comprimento regulável.

como padrão a "Água do Mar Normal", preparada nos Laboratórios do Conselho Internacional de Pesquisas Oceanográficas de Copenhague, Dinamarca (Oxner, 1920). No total foram colhidas e analisadas 25 amostras de diferentes pontos e profundidades. Foram feitas 25 observações de temperatura e 45 de correntes por meio do correntômetro Ekman e 22 pelos corpos de deriva. A Figura 2 mostra os pontos onde foram efetuadas as observações.

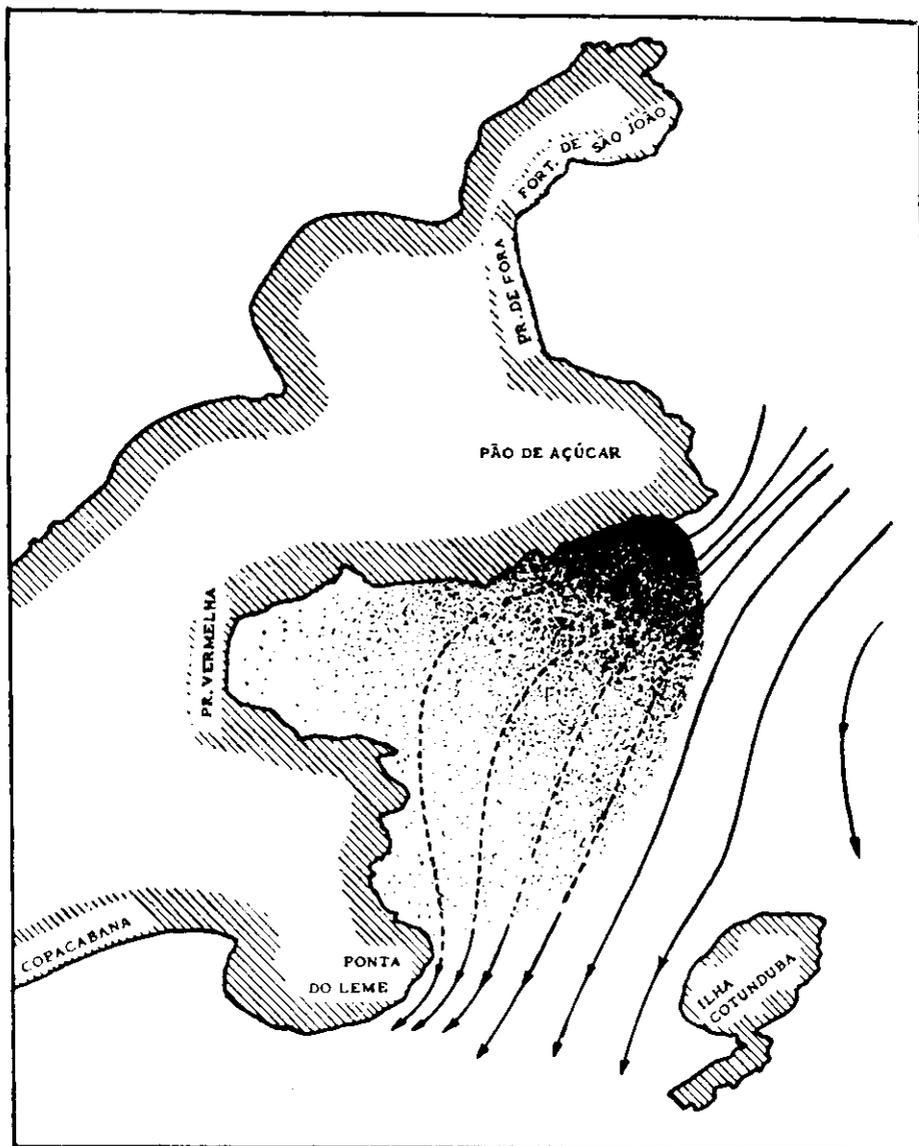


Fig. 3 — Região do Pão de Açúcar — Mancha do esgoto e linhas das correntes na ocasião da maré enchente.

Devido à diferença das condições topográficas e oceanográficas no estreito entre a ilha de Cotunduba e o Pão de Açúcar, num lado, e às da região situada em frente ao terminal do esgoto do Vidigal, de outro, tratamos a seguir cada zona separadamente.

### III — A REGIÃO DO PÃO DE AÇÚCAR

Essa região foi visitada seis vezes, tendo sido então efetuadas observações de temperatura e coletadas amostras de água em várias profundidades. Foram ainda executadas observações de correntes tanto pelo aparelho de Ekman, com a embarcação ancorada, como por meio de corpos de deriva, e, além disso, observações da distribuição de águas contaminadas pelo efluente dos esgotos.

Sendo o efluente despejado diretamente na superfície, tornou-se fácil observar a distribuição das águas contaminadas por serem essas de cor acastanhada, deixando na superfície uma camada fina de gordura. A extensão evidenciava-se, também, pela presença de flocos de cor cinza em suspensão. Usávamos, por isso, a cor castanha do deflúvio e a distribuição dos flocos como indicador da extensão e da concentração relativa da água contaminada na área, bem como para acompanhar o percurso desta, durante as diferentes fases da maré. Baseados nestes dados foram feitas as Figuras 3, 4 e 5, que mostram a distribuição e a concentração relativa durante as três fases principais da maré.

Verificou-se que a camada contaminada alcançava cerca de 0,5 m de profundidade nos arredores

do terminal. Afastando-se dêste, a espessura aumentava, enquanto a concentração diminuía. Esse fenômeno explica-se pela diferença de densidade entre a água natural do mar e a do esgoto, que sempre é menos densa e, portanto, tende a flutuar, resistindo à difusão para profundidades maiores, o que resulta numa acumulação e, conseqüentemente, numa concentração muito elevada na superfície próxima ao terminal. Durante períodos de correnteza forte a zona de concentração elevada alcança freqüentemente a Praia de Fora ou, conforme a direção da corrente, a Praia Vermelha, enquanto que a extremidade do

Mórro do Leme evita que as águas superficiais, fortemente poluídas, alcancem a Praia de Copacabana.

Durante o período de corrente fraca ou inexistente (Fig. 4), a água poluída se acumula diante do terminal, penetrando lentamente na região. De qualquer forma, quando as águas servidas são lançadas na superfície, verifica-se a acumulação das mesmas causadas pela diferença de densidades. Convém assinalar a importância do lançamento das águas servidas no fundo, o que provocará a diluição imediata das mesmas com a água oceânica, evitando-se, assim, acumulações na superfície.

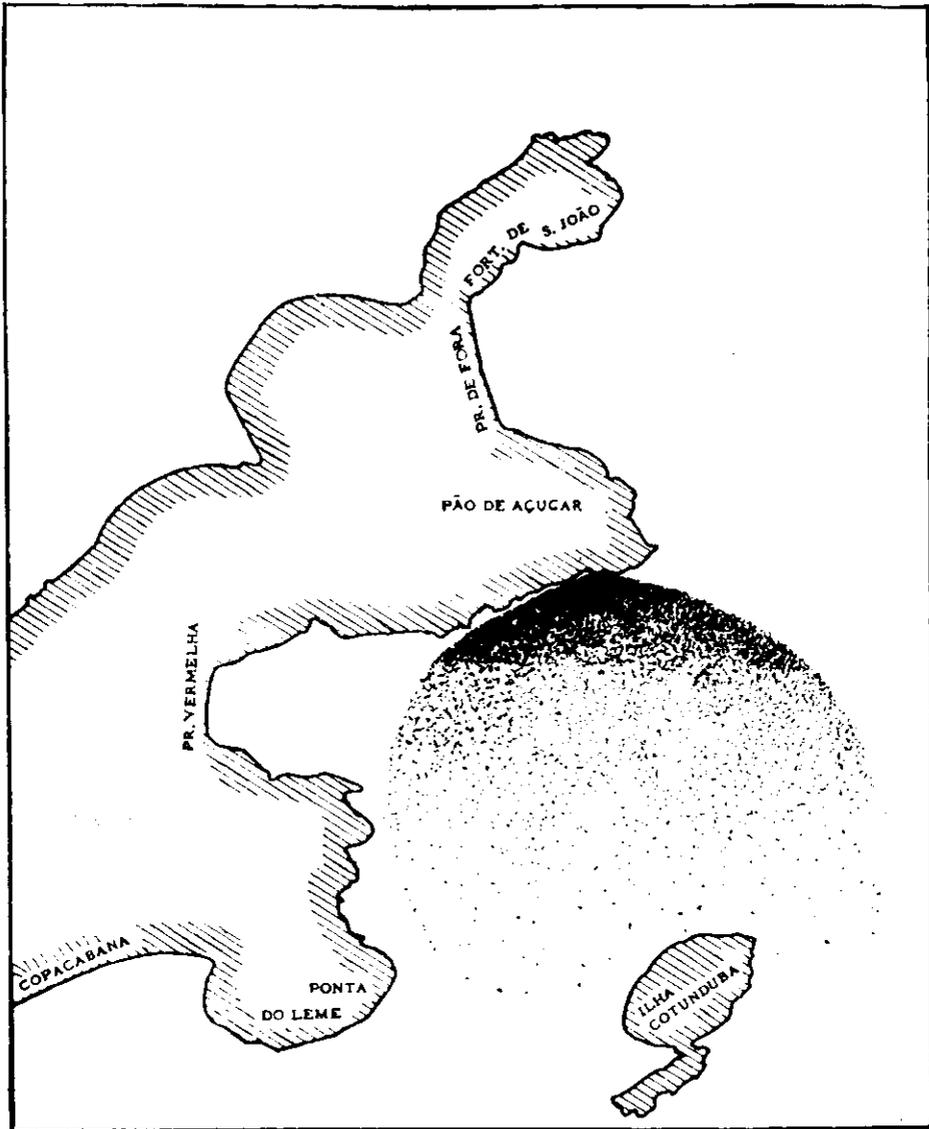


Fig. 4 — Região do Pão de Açúcar — Mancha do esgoto na ocasião de maré parada.

**Correntes** — Os resultados das observações das correntes realizadas com o correntômetro fixo, acham-se representados na Figura 6 e as que foram efetuadas por meio dos corpos de deriva, na Figura 7. O resumo dos resultados está representado nas Figuras 3 e 5 pelas linhas de corrente, sendo a velocidade

relativa inversamente proporcional à distância entre essas. Notamos que a corrente alcança sua velocidade máxima bem em frente ao terminal do esgoto. No dia 6 de julho, observações efetuadas pelo correntômetro revelaram, perto da Praia Vermelha, uma corrente de sentido contrário ao do canal situado

em frente ao terminal do esgôto, que nessa ocasião corria em direção à baía de Guanabara devido à maré enchente. Apesar de ter sido efetuada uma única observação, a própria topografia da enseada sugere que esse remoinho ocorre freqüentemente durante a maré enchente, quando há formação de fortes correntezas em direção a baía da Guanabara. Não havendo, entretanto, oportunidade de repetir a experiência durante a maré vazante, as linhas de corrente foram traçadas com menor segurança dentro da enseada (Fig. 5), baseando-nos, apenas, nas observações efetuadas por meio dos corpos de deriva e da extensão da mancha de água poluída na superfície, durante essa fase da maré.

As observações com auxílio dos corpos de deriva permitiram-nos verificar que estes nunca tocaram o fundo durante os seus percursos, ficando evidenciado, assim, que as águas de profundidade correm sempre

ao longo das isóbatas. Do ponto de vista hidrodinâmico, isto também é uma conclusão lógica, uma vez que a estabilidade vertical resiste aos deslocamentos em sentido vertical da água.

Na Figura 6 estão representados os resultados da correntometria em frente ao terminal do esgôto no dia 6 de julho. Notamos que a velocidade máxima na superfície (3 metros) em direção norte alcançou 70 cm/s às 12:30 h., enquanto que a velocidade na profundidade de 15 m atingiu o máximo de 50 cm/s uma hora mais tarde, sofrendo, porém, variações menores do que a velocidade em superfície.

Sem entrar, aqui, em maiores detalhes sobre os resultados da correntometria, podemos tirar as seguintes conclusões gerais:

1 — A direção da corrente depende inteiramente da fase da maré, correndo a água em direção

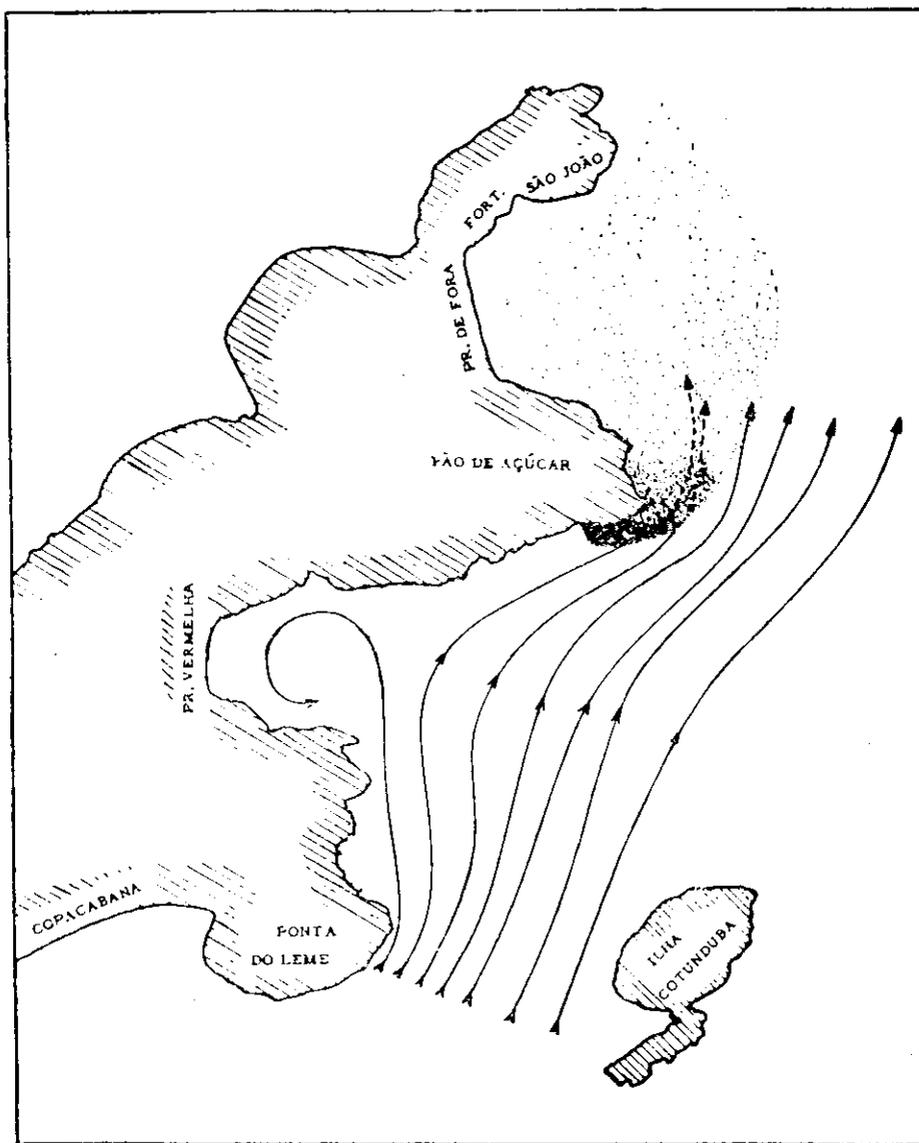


Fig. 5 — Região do Pão de Açúcar — Mancha do esgôto e linhas de correntes na ocasião de maré vazante.

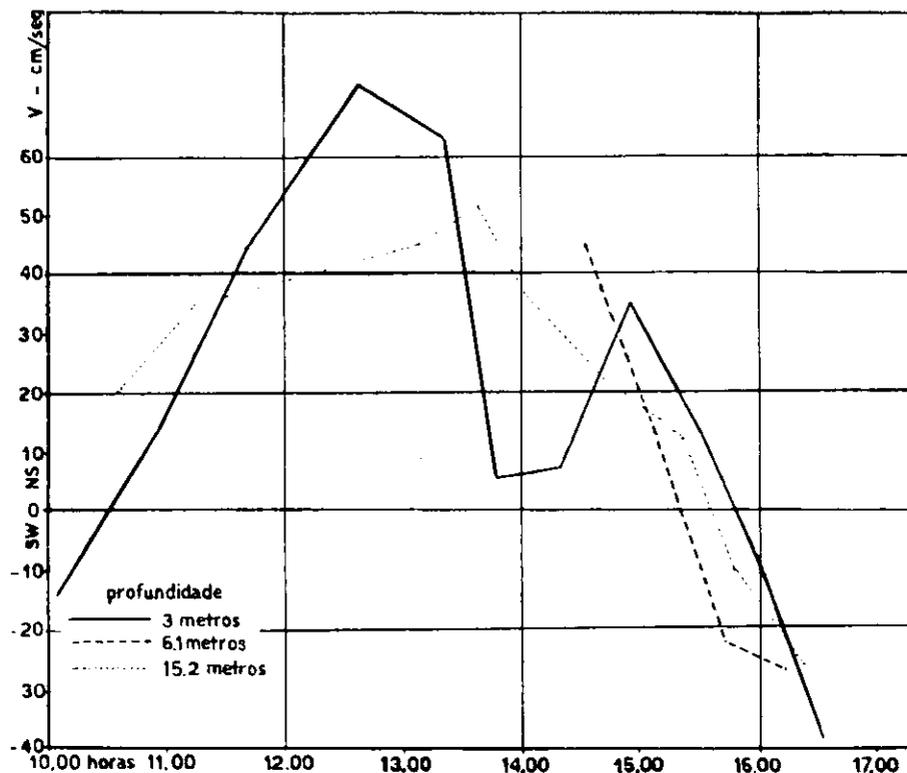


Fig. 6 — Valores das correntes entre o Pão de Açúcar e a ilha de Cotunduba, no dia 6 de julho de 1955.

à baía de Guanabara no período da maré enchente e em sentido contrário durante a maré vazante.

2 — A velocidade alcança valores máximos no meio do período, entre os níveis extremos semi-diurnos da maré.

3 — Nas camadas mais profundas a velocidade é menor do que na superfície, sendo, porém, mais uniforme.

4 — As maiores velocidades na região são encontradas sobre a parte mais profunda do estreito.

5 — As águas na parte mais profunda do estreito tendem a manter seu nível, não atingindo, portanto, a costa durante a sua passagem.

**Salinidade, temperatura e densidade** — A distribuição da salinidade entre o Pão de Açúcar e a ilha Mocangüê acha-se representada na Figura 8. O canal que passa em frente ao Pão de Açúcar é a ligação mais profunda entre a baía e o oceano com uma profundidade de 21 metros sobre a “soleira”. Perto da Lage a profundidade aumenta até 50 metros, formando, assim, uma bacia de máxima profundidade logo atrás da entrada da baía. Devido à diluição por águas pluviais, a salinidade diminui da entrada da baía para dentro.

As observações, tendo sido efetuadas na estação invernal, época em que a afluência das águas pluviais é mínima, nos levam a concluir que essa diferença de salinidade deve aumentar considera-

velmente no verão, devido às maiores precipitações ocorrentes nessa estação.

A alta salinidade, encontrada na região profunda da baía, é devida à penetração de água do oceano durante a maré enchente.

Sendo essa água mais densa do que as águas diluídas da baía, tende a ocupar a parte mais profunda da bacia. Durante a maré vazante, a água de superfície corre com maior intensidade para fora da baía do que a água mais densa que se acumula nas camadas profundas, onde a sua passagem para fora é barrada pela “soleira”. (Vide, por ex., Pritchard 1952). O transporte de água de alta salinidade para a camada superficial se dá principalmente por meio de processo de mesclagem, mantido pela maré. Esse mecanismo se acha apresentado esquematicamente na Figura 9.

A temperatura da água na região investigada é muito uniforme, variando entre 21,8 e 22,8° C. Sob essas condições, tendo em vista a avaliação da estabilidade e estratificação da coluna vertical, a densidade da água pode ser considerada, aqui, como sendo função da salinidade, unicamente.

**Lançamento do esgoto junto ao fundo** — Já mencionamos que as águas servidas, lançadas na superfície do mar, formam uma camada de alta concentração, delgada e conseqüentemente de grande extensão horizontal. A condução do esgoto para

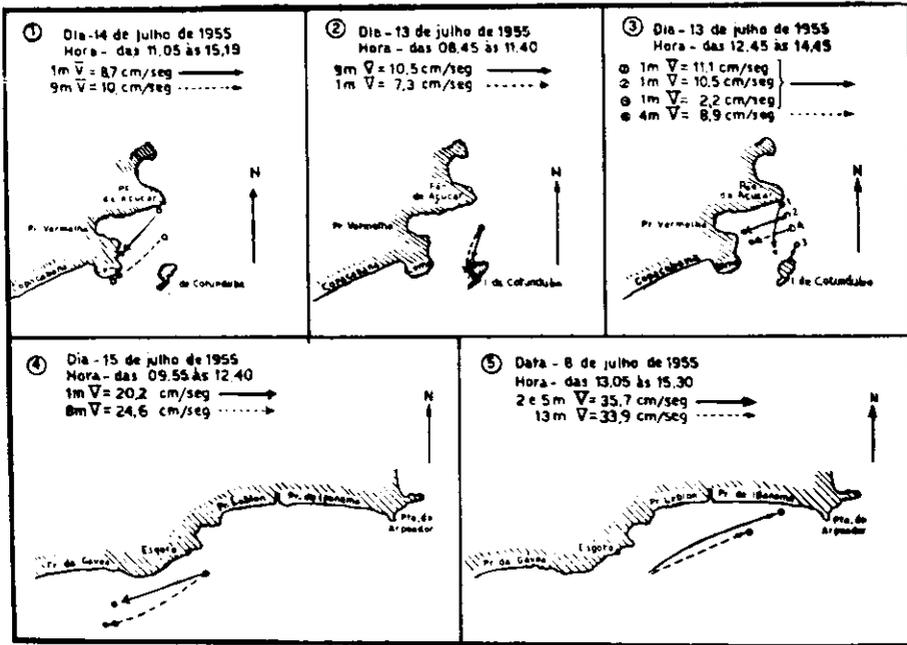


Fig. 7 — Observações de correntes por meio de corpos flutuantes

legenda: ○ ponto de lançamento  
 ● ponto de recolhimento.

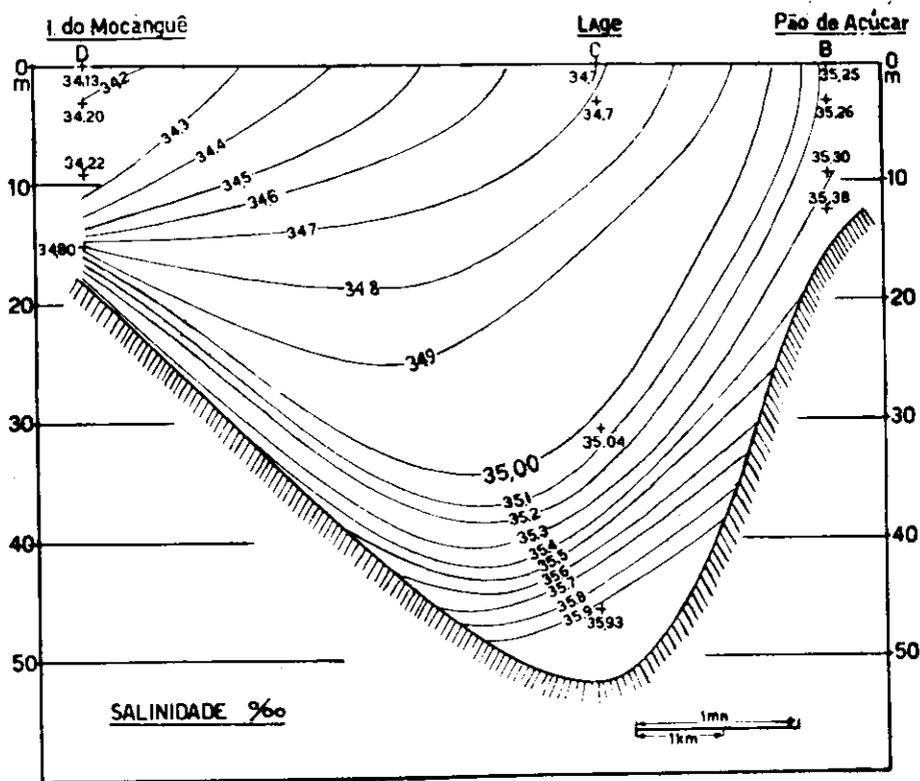


Fig. 8 — Secção vertical de salinidade entre a ilha de Mocangê e o Pão de Açúcar, no dia 13 de julho de 1955, das 9 às 12 horas, maré vazante.

o leito do mar tem por finalidade precípua a diluição mais intensa do efluente pela água do mar, eliminando, desta forma, a acumulação excessiva na superfície, perto dos terminais. Passaremos, a seguir, a examinar alguns aspectos dêsse procedimento, tendo em vista o lançamento do esgôto no estreito entre o Pão de Açúcar e a ilha de Cotunduba.

Devido à densidade inferior do efluente em relação à água do mar, êsse tenderá a ascender ao sair do terminal situado no fundo. Imediatamente,

porém, sofrerá diluição pelas águas do mar, que se encontram perto do fundo, de densidade mais elevada. A densidade  $S$  dessa mistura seria, em termos aproximados:

$$S = \frac{S_e E + S_m M}{M + E}$$

onde  $S_e$  e  $S_m$  significam a densidade do efluente e da água do mar, respectivamente, sendo  $E$  a vazão

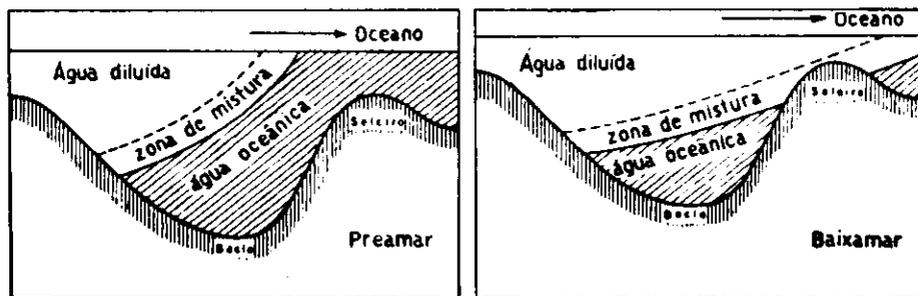


Fig. 9 — Demonstração esquemática do efeito da maré na distribuição de massas de água, na entrada da baía de Guanabara.

de esgôto e  $M$  o volume de água do mar que se mistura com o efluente por unidade de tempo. No caso da densidade da camada superficial ser inferior ao valor de  $S$ , o efluente não alcançaria a superfície por empuxo, salvo a parte insolúvel de densidade inferior, como, por exemplo, matérias gordurosas.

As condições necessárias para que a densidade  $S$  da mistura seja maior do que a das águas de superfície são: 1 — que a densidade das águas de superfície seja consideravelmente inferior à das águas de profundidade; 2 — que o volume  $M$  da água do mar com que se mistura o volume  $E$  do efluente seja, pelo menos, da ordem de  $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Seria difícil, entretanto, provocar uma mistura imediata tão intensa. Além disso, as observações revelam que a diferença de densidade entre as águas perto do fundo e as de superfície é insignificante, pelo menos durante a maré enchente. Devido a essa circunstância, uma certa proporção da água poluída inevitavelmente alcançaria a superfície, porém, em concentração muito inferior à atual (Rawn & Palmer, 1930).

A superfície de água dentro da baía de Guanabara pode ser avaliada em  $400 \text{ km}^2$ , aproximadamente. Sendo de 1 metro a amplitude média da maré, o transporte de água, através da entrada da baía, necessário para produzir um deslocamento de nível desta ordem, seria de  $4.10^8 \text{ m}^3$  durante meio período da maré (aproximadamente 6 horas). (\*). A vazão do terminal do Pão de Açúcar atinge, normalmente, o valor de  $800 \text{ l/s}$ . Durante a maré enchente, as águas poluídas se deslocam em direção

à baía e, devido à forte correnteza, podemos supor que o processo de mistura seja completo na altura da Lage. A concentração  $C$  de efluente nesse ponto, seria:

$$C = \frac{800 \times 6 \times 3600}{4.10^8} = 0,043\% \text{ (litros de água do mar).}$$

Sob essas condições, devido à baixa concentração de efluente, a densidade elevada da água oceânica manter-se-á praticamente inalterada e, ao confrontar-se com as águas mais leves na superfície da baía, submergirá para maiores profundidades, levando assim as águas contaminadas para as camadas inferiores da região. Devido ao alto teor de exigênio dissolvido e à alcalinidade elevada ( $\text{pH} = 8$ ) da água oceânica, bem como à ação de bactérias e do plâncton, a água contaminada retornará ao seu estado natural, nessas camadas. Sendo ainda o período de estôfa, na ocasião da preamar e da beira-mar, muito curto em relação aos períodos da maré enchente e vazante, a acumulação de água contaminada será insignificante quando o lançamento fôr feito no fundo do estreito.

Durante o período de maré vazante a região perto do terminal recebe águas superficiais, vindas

\* — Podemos deixar de considerar, nesta avaliação aproximada, a quantidade de água doce proveniente da bacia hidrográfica da baía, pois será inferior a  $0,1\%$  do total necessário para produzir 1 metro de amplitude.

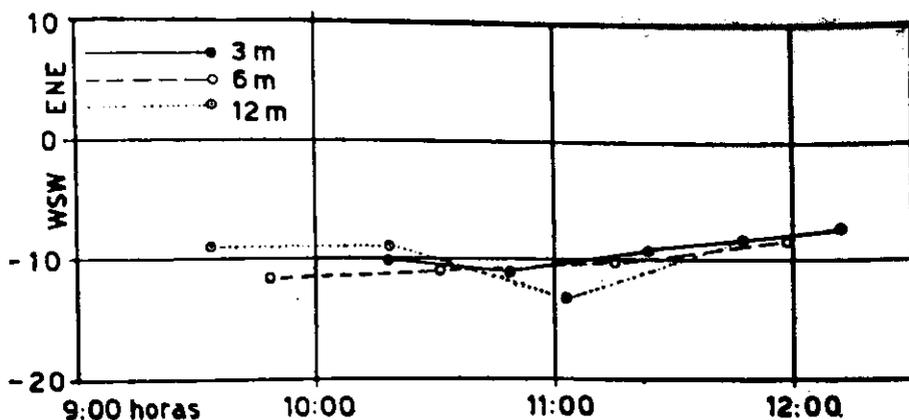


Fig. 10 — Velocidade da corrente em cm/s, durante a maré vazante, em frente ao terminal VIDIGAL, no dia 15 de julho de 1955.

da baía, com densidade inferior à das águas que ocupam as camadas profundas. Nessa situação, são encontradas as condições necessárias para impedir a penetração do efluente até a superfície. A água contaminada será, neste caso, transportada mar adentro, através das camadas inferiores, evitando assim a contaminação da praia de Copacabana.

Estas considerações nos levam a concluir:

1 — Por ocasião da maré enchente e da preamar, haverá, nas proximidades do terminal, uma certa penetração do efluente do esgôto até a superfície.

2 — Durante a maré enchente o efluente, misturando-se com a água do mar, é transportado para as camadas profundas da baía de Guanabara.

3 — A concentração de efluente na água que entra na baía é inferior a 0,1‰ (litros de efluente por m<sup>3</sup> de água do mar) e, devido às condições favoráveis, volta ao estado natural.

4 — Durante a maré vazante o efluente dificilmente alcançará a superfície na região do terminal e será transportado diretamente ao oceano, através das camadas inferiores.

#### IV — A REGIÃO DO VIDIGAL

A zona situada em frente ao terminal do Vidigal foi visitada cinco vezes, sendo então efetuadas observações semelhantes às feitas na região do Pão de Açúcar.

Atualmente, o esgôto desemboca através de um poço terminando na rocha, aproximadamente 2 metros abaixo do nível médio do mar. Foram observadas altas concentrações de água contaminada nas proximidades do terminal, o que, junto com os corpos de deriva, nos servia para indicar o percurso das águas ao longo da costa.

Durante a maré enchente, quando as águas se deslocam em direção à baía de Guanabara, foi possível acompanhar a mancha até o canal da Lagoa Rodrigo de Freitas. As observações por meio dos corpos de deriva mostraram que as correntes têm direções tangenciais à costa com velocidade média de 35 cm/s na camada superficial e 25 cm/s junto ao fundo (Fig. 7). Na fase da preamar e da baixamar houve acumulação de água contaminada nas proximidades do terminal, difundindo-se o efluente lentamente para as adjacências. Durante a maré vazante, a mancha tendeu a afastar-se da costa e os corpos de deriva lançados na ocasião correram para sudoeste com velocidade média de 20 a 24 cm/s.

Devido às condições de tempo desfavoráveis, por ocasião da realização dos trabalhos, não tivemos possibilidade de estacionar durante o tempo necessário para obtermos uma boa série de medições de correntes pelo correntômetro de Ekman. As poucas observações que foram feitas por meio do correntômetro (representadas na Figura 10) coincidiram com o período da maré vazante. As águas nessa ocasião correram em direção sudoeste, com a velocidade aproximada de 10 cm/s em toda a extensão vertical da camada. Os resultados da correntometria nos levam às seguintes conclusões:

1 — A velocidade da corrente em frente deste terminal é menor do que a observada em frente ao terminal do Pão de Açúcar.

2 — A velocidade é uniforme desde a superfície até as proximidades do fundo.

3 — A corrente tem direção tangencial à costa.

Como só acontece numa costa aberta, a diferença de densidade entre o fundo e a superfície foi insignificante e será, portanto, difícil evitar que o efluente do esgôto alcance a superfície.

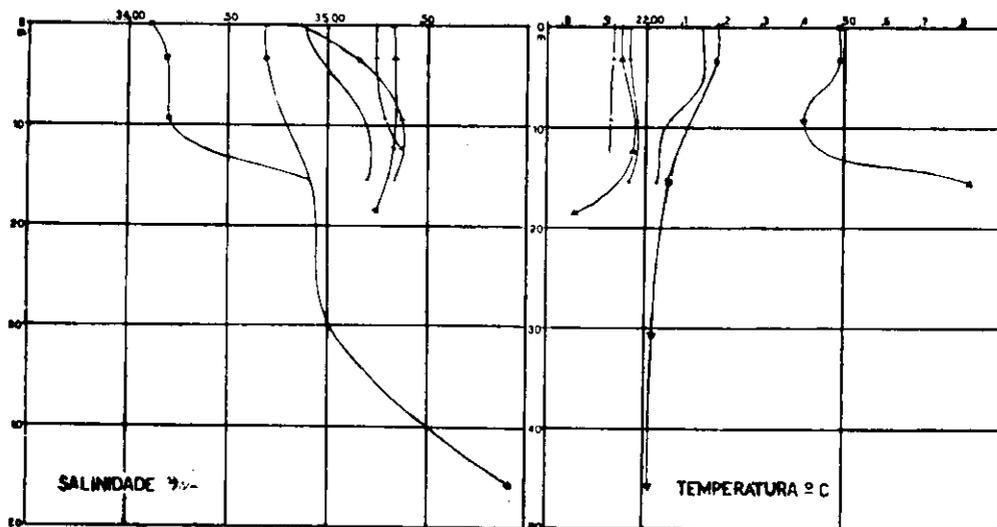


Fig. 11 — Salinidade e temperatura na região estudada

- estação n.º 1 — 5/VII/55 — 09,40 h — em frente ao Pão de Açúcar.
- estação n.º 2 — 5/VII/55 — 10,50 h — em frente ao esgôto do Leblon.
- + estação n.º 4 — 13/VII/55 — 09,00 h — em frente ao Pão de Açúcar.
- △ estação n.º 5 — 13/VII/55 — 09,55 h — em frente ao esgôto do Leblon.
- estação n.º 6 — 13/VII/55 — 12,35 h — entre Lage e a Ponta de Sta. Cruz.
- estação n.º 7 — 13/VII/55 — 13,40 h — ilha de Mocanguê.

À vista dos resultados das observações, concluímos que a melhor maneira de evitar concentrações excessivas de água contaminada nas praias do Leblon e Ipanema será a de estender o encanamento em direção ao oceano, tanto quanto fôr tecnicamente possível.

## V — SUMMARY

During June-July 1955 investigations were carried out on the patterns of circulation, stratification and vertical stability near the two ocean sewage outfalls of the city of Rio de Janeiro. One of these lies at the surface near the "Sugar Loaf" and outside the inlet to Guanabara Bay (Rio's harbour). It was found that highly contaminated waters were brought into the bay during rising tide, while during falling tide the contaminated surface waters are directed to open sea.

The investigation seems to indicate that an extension of the sewage line down to the bottom at 30 meters, close to the shore would induce an intense mixing though not free the surface layer from contamination. Due to higher density of the inflowing water with which sewage mixes the contaminated water will penetrate into the bay at subsurface depth and only slowly be brought upwards by diffusion processes in the lighter surface layer.

The second outfall is located some 12 km southwest of the "Sugar Loaf" outfall, near the Leblon Beach, discharging at 2 meters below mean sea level. During rising tide when the current goes in direction of the Guanabara Bay and also when the wind is blowing from the southwest sector the outer bathing beaches are exposed to a strong pollution from this source.

The investigations carried out in this area show that the sewage line should be extended as far out as possible in order to reduce the extension of the sewage field close to the shore.

## VI — BIBLIOGRAFIA

- EKMAN, V. W. — An improved type of current meter. Cons. Perm. Intern. Expl. Mer, Jour. Cons., vol. 7, n.º 1, p. 3-10 — 1932.
- OXNER, M. — Chloruration par la méthode de Knudsen. Bull. Comm. Intern. Expl. Scient. Mer Méditerranée, n.º 3 — 1920.
- PRITCHARD, D. W. — The physical structure, circulation, and mixing in a coastal plain estuary. Techn. Rep. III, Chesapeake Bay Inst. Ref. 52-2, p. 55 — 1952.
- RAWN, A. M. & PALMER, H. K. — Predetermining the extent of a sewage field in sea Water. Trans. Amer. Soc. Civil Eng., vol. 94, p. 1036. — 1930.