

# ESTUDO PRELIMINAR DA PROPAGAÇÃO DO MARULHO DE LESTE SÔBRE A PLATAFORMA CONTINENTAL DO E. DE SÃO PAULO, E, EM PARTICULAR DE SUA REFRAÇÃO E ARREBENTAÇÃO EM CANANÉIA.

*Paulo de Castro Moreira da Silva*

Capitão de Corveta — Diretoria de Hidrografia e Navegação

## I

A velocidade de propagação de uma onda líquida é igual a:

$$C = \sqrt{\frac{g L}{2\pi} \tanh 2\pi \frac{d}{L_0}}$$

em que  $L$  é o comprimento da onda,  $d$  a profundidade do mar (“Hydrodynamics’ — Lamb.).

Se a onda está sôbre grandes fundos (na prática, sôbre fundos superiores a meio comprimento de onda ( $a/L \geq 0,5$ ), o fator trigonométrico  $\tanh 2\pi \frac{d}{L_0}$  é muito próximo da unidade, e:

$$C_0 = \sqrt{\frac{g L_0}{2}}$$

em que o índice 0 significa “onda em águas profundas”. Vemos, pois, que a velocidade de propagação de uma onda em águas profundas é função exclusiva do comprimento de onda. Uma onda de  $L_0 = 180$  m, por exemplo, se propaga com uma celeridade  $C_0 = 16,3$  m/s; seu período,  $T_0$ , igual evidentemente a  $L_0/C_0$ , é igual a 10,7 s.

Quando esta onda, em sua propagação, atinge profundidades relativas, ( $d/L_0$ ) iguais e inferiores a 0,5, ela “sente o fundo” (isto acontece à onda de nosso exemplo a partir da isóbata de  $180 \times 0,5 = 90$  metros);  $\tanh 2\pi \frac{d}{L_0}$  varia, reduzindo  $C$  na proporção representada por um ábaco.

Assim, sôbre a profundidade relativa de 0,045, correspondente à isóbata  $d = 0,045 \times 180 = 8$  metros,  $C$ , a velocidade de propagação, é apenas metade de  $C_0$ .

Num diagrama de refração, ou plano de vagas, são representadas posições sucessivas de uma mesma crista de vaga, a intervalos de tempo regulares,  $t$ . Para construí-lo, começa-se por traçar uma crista em águas profundas, isto é, a mais de 90 metros de profundidade; escolhe-se um avanço arbitrário AB, e vai-se dando à crista os avanços correspondentes às isóbatas que alcança, ou seja: com o ponto-de-encontro da crista com a isóbata como centro, traçam-se circunferências de raio igual ao avanço correspondente à profundidade relativa ( $d/L_0$ ), tirado do ábaco I. A envolvente de tais circunferências é a nova posição da crista. O que se faz, em suma, é aplicar-se às ondas líquidas o método que Huygens aplicou à propagação das ondas luminosas.

## II

Na Carta I figuramos vagas de leste, de 180 metros de comprimento, período de 10,7 s, incidindo sobre a costa paulista. Tal marulho é, na prática, o produzido por um anticiclone polar marítimo quando, após uma invasão, estaciona no oceano. Como se pode ver, a vaga, originalmente de leste, tende francamente a incidir, em todos os pontos, normal à costa, tendendo, pois, as cristas, a se pôrem paralelas ao litoral. Ademais, as posições sucessivas são cada vez mais próximas, indicando redução da celeridade, e, pois, já que o período se mantém constante, redução do comprimento de onda.

As linhas tracejadas, equidistantes na crista ao largo, e traçadas perpendiculares às cristas, são as ORTOGONAIS. A importância delas está em que se pode admitir, em primeira aproximação, que a energia da vaga entre as ortogonais se mantém constante: assim, onde há convergência, a energia da vaga vai se distribuir numa menor largura, aumentando a altura da vaga; e onde há divergência a energia se distribui por uma largura maior, reduzindo a altura da vaga.

A Carta I nos mostra que há uma divergência discreta em toda a costa paulista, máxima em Santos, mínima, quase nula, na região de Cananéia.

## III

A Carta II é o transporte, para carta de maior escala, da vaga incidente sobre Cananéia, e propagação da mesma. Observamos, como traços mais interessantes deste plano:

- a) Que a Ilha de Bom Abrigo não oferece proteção para a vaga de leste que, refratada, penetra no ancoradouro pelos dois lados, produzindo entrechoque de vagas;
- b) Que a vaga se adianta tão nitidamente no Canal de acesso a Cananéia que uma simples fotografia aérea indicaria este canal.

#### IV

A altura da vaga é afetada, nas águas rasas, de duas maneiras:

- a) A diminuição do fundo tende a princípio a diminuir a altura da vaga, mas logo a aumenta; finalmente a aumenta muito rapidamente. Quando  $H/L$  (relação entre a altura e o comprimento da vaga, ou “empinamento”) atinge um valor crítico, a vaga arrebenta;
- b) A convergência das ortogonais aumenta a altura da vaga e precipita a arrebentação; a divergência diminui a altura da vaga e retarda a arrebentação.

Imaginemos que nossa vaga de leste tivesse, ao largo, uma altura de 3 metros.

Um ábaco especial, que não reproduzimos, permite, em função de  $H_0/L_0$  (o comprimento original da vaga, igual a  $3/180 = 0,016$ ) e de  $L_0$ , determinar que as vagas arrebentam na profundidade de 4,5 metros e com uma altura de 4,2 metros.

Examinando qualitativamente a convergência e a divergência, concluímos que tais características são atenuadas ao norte e ao sul do canal, e um pouco agravadas à entrada do mesmo. Dispensamo-nos de fazer a análise quantitativa, possível, por ser pouco acentuado o efeito.

#### V

Depois dos modelos hidráulicos reduzidos, extraordinariamente dispendiosos, é o plano de vagas o instrumento oceanográfico mais útil para os estudos de defesa de costas — geológica, bem entendido — trabalhos portuários e correntes litorâneas. É óbvio, também, o seu interesse para a segurança da navegação e para o planejamento das operações militares de desembarque.

#### RESUMO

O estudo do plano de vagas constitui, indubitavelmente, o instrumento mais útil para a defesa geológica das costas, para trabalhos portuários, investigação de correntes litorâneas, bem como para pesquisas relativas à segurança da navegação e planejamentos de operações militares de desembarque.

A teoria do plano de vagas será exposta, em breve, nos seus mínimos detalhes, na publicação do autor “Curso de Oceanografia Dinâmica”, que a Diretoria do Ensino Naval, do Ministério da Marinha, vai editar.

No presente trabalho, trata-se do estudo preliminar da propagação do marulho de Leste sobre a plataforma do E. de São Paulo.

Na Carta I, acham-se figuradas vagas de leste, de 180 m de comprimento, nela podendo-se notar a existência de uma discreta divergência do marulho em tôda a costa bandeirante que se apresenta, em grau máximo, em Santos e em mínimo, na região de Cananéia. Na Carta II, evidencia-se o fato de que a Ilha do Bom Abrigo não oferece proteção para a vaga de leste sendo que esta se adianta nitidamente pelo canal que dá acesso a Cananéia.

Examinando qualitativamente os fenômenos de convergência e divergência dessa vaga, conclue o autor que são êles atenuados ao norte e ao sul do canal, conquanto se apresentem bastante agravados à entrada do mesmo, a ponto de permitir a delimitação do canal por processos aerofotogramétricos.

#### SUMMARY

This is a preliminary study of the wave action over the continental shelf of the State of S. Paulo. Chart I figures a theoretical 180 m. long wave as would be produced by an eastern polar anticyclone. The waves will strike the coast at right angles with a slight divergence along the whole coast of the State; reaching a maximum at Santos and a minimum at Cananeia. Chart II, figures the waves, incidence at Cananeia; it can be pointed out that the island of Bom Abrigo offers no protection against a wave coming from the east and that this wave penetrates easily along the pass leading to the inland waters of the region of Cananeia.

#### BIBLIOGRAFIA

LAMB, H. 1932, "Hydrodynamics", 6.a ed., p. 1-738. Cambridge University Press. London.