

II JORNADAS TÉCNICAS DA APRH  
 ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E SANEAMENTO  
 EM ZONAS COSTEIRAS TURÍSTICAS  
 PLANEAMENTO E GESTÃO DE SISTEMAS DE ÁGUAS RESIDUAIS  
 DOMÉSTICAS EM ZONAS COSTEIRAS  
 ESTABILIDADE DE EMISSÁRIOS SUBMARINOS SOB A ACÇÃO DAS  
 ONDAS E CORRENTES

PITA, C.; RITA, M.; FIGUEIRA, P.  
 Engenheiros Cívís, Especialistas em Hidráulica Marítima pelo  
 LNEC  
 Consultores de "WW-Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, Lda"

RESUMO

Um dos aspectos a ter em conta no projecto de emissários submarinos é o da sua estabilidade sob a acção das solicitações a que podem estar sujeitos. A principal solicitação que actua um emissário em costa aberta resulta das velocidades induzidas pelas ondas junto da estrutura. Daí a necessidade de se conhecerem as características da agitação marítima ao largo, para se determinarem as velocidades junto da estrutura. Há ainda que tomar em consideração o carácter irregular da agitação.

Para o estudo da propagação da agitação desde o largo há que conhecer a configuração dos fundos, sendo importante na escolha da solução a adoptar o conhecimento da natureza desses fundos. Deve ainda ter-se em conta a variabilidade dos agentes hidrográficos (ondas, correntes) em consequência da configuração dos fundos.

As acções sobre os emissários dependem da profundidade a que se situam e do tipo de solução adoptada (enterrada ou directamente apoiada no fundo).

As velocidades orbitais das partículas de água diminuem com a profundidade, sendo o seu máximo atingido na rebencação, cuja localização depende da altura e do período da onda e da inclinação dos fundos.

Os emissários submarinos podem ser apoiados no fundo ou enterrados. No primeiro caso o efeito das ondas e das correntes exerce-se directamente sobre a estrutura, que deve ser fixada por forma a não sofrer deslocamentos que prejudiquem a sua função. No caso de estruturas enterradas surgem problemas diferentes, relativos à estabilidade do material de enchimento das valas ou do enrocamento de protecção contra a erosão provocada pelos agentes hidrográficos.

## 1 - GENERALIDADES

Um dos processos utilizados na eliminação final dos esgotos em zonas costeiras é o da utilização de emissários submarinos que lançam esses esgotos a uma distância e profundidades convenientes.

Um dos pontos fundamentais a considerar no projecto de um emissário submarino é o da verificação da sua estabilidade para as acções a que vai estar sujeito e que resultam da agitação marítima e das correntes.

Na costa portuguesa a acção da agitação marítima é em geral predominante. As correntes tornam-se importantes nos estuários e zonas adjacentes.

## 2 - CARACTERIZAÇÃO E EFEITOS DA AGITAÇÃO MARÍTIMA

O estado da agitação marítima num dado intervalo de tempo pode ser descrito como uma sucessão de ondas de altura e período variáveis que se propagam dentro duma certa gama de direcções. A forma mais completa de caracterizar esse estado é através do chamado "espectro direccional", cuja determinação é sempre dificultada pelas limitações do equipamento de recolha.

É por isso mais frequente a recolha de dados através de bóias-ondógrafos, com as quais é possível caracterizar a distribuição das alturas e períodos num ponto, num dado intervalo de tempo. O rumo dominante da agitação durante esse intervalo pode ser determinado, por exemplo, pela observação com radar, ou pela simples observação visual. Com estes elementos recolhidos durante um período suficientemente longo é possível caracterizar o regime de agitação num dado local.

É a partir do conhecimento desse regime que se pode prever a intensidade dos maiores temporais que poderão actuar a obra durante a sua vida útil.

Na propagação desde o largo até à costa as ondas sofrem deformações por influência da configuração dos fundos e da interposição de obstáculos. Os consequentes fenómenos de refração, empolamento, difracção e rebentação das ondas provocam ou alterações na distribuição da energia ao longo da crista da onda ou a sua dissipação. Também a direcção de propagação das ondas é alterada, tendendo a ser normal às batimétricas.

Existem métodos analíticos e numéricos que permitem prever com algum rigor a importância das deformações sofridas pela onda, as quais para além de dependerem da configuração dos fundos tal como se disse, dependem também das características da agitação ao largo: direcção, período e altura.

Durante a passagem de uma onda, as partículas de água deslocam-se segundo trajectórias que são circulares em grandes profundidades e elípticas em pequenas profundidades. As amplitudes dessas trajectórias diminuem da superfície para o fundo sendo praticamente nulas abaixo de uma profundidade correspondente a meio comprimento da onda ao largo, (fig. 1). No caso de pequenas profundidades, a excentricidade das trajectórias aumenta da superfície para o fundo, onde estas se tornam rectilíneas. O transporte da massa é desprezável.

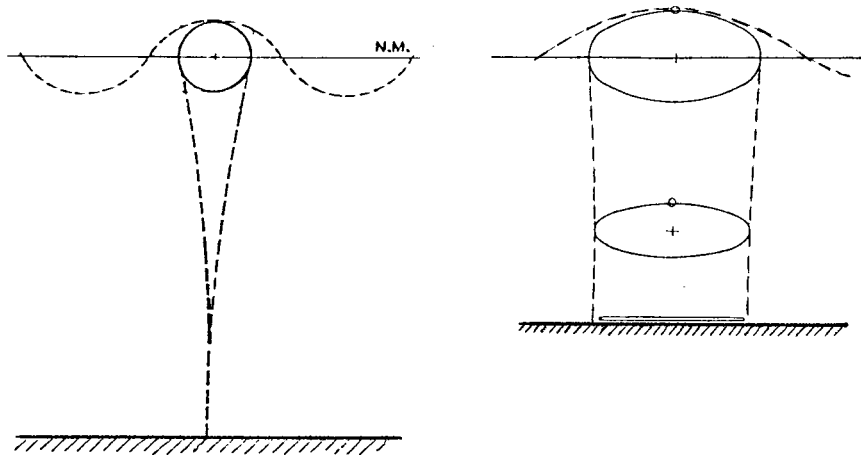


Fig. 1

A caracterização cinemática das trajetórias das partículas pode ser feita através das "teorias de onda". Dentro dos domínios de validade de cada uma dessas teorias, essas trajetórias são definidas em função da profundidade local, período e altura de onda.

Na rebentação, as velocidades das partículas de água atingem o valor máximo e as características do movimento alteram-se, passando a haver transporte de massa. As condições em que uma onda rebenta e o tipo de rebentação dependem da configuração dos fundos, da profundidade, do período e da altura da onda. No caso de a rebentação ser do tipo mergulhante podem ocorrer pressões importantes no fundo.

### 3 - CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

Como já se referiu, a agitação marítima num dado local e num dado intervalo de tempo é constituída por uma sucessão de ondas de altura e período variáveis (fig. 2). Essa irregularidade não é considerada explicitamente nos métodos de cálculo, utilizando-se, no entanto, um artifício para a ter em

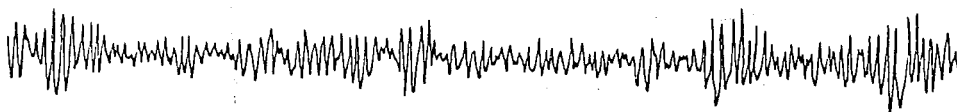


Fig. 2

conta no dimensionamento. Assim, admite-se que os efeitos da agitação real são equivalentes aos de uma agitação regular (sucessão de ondas com altura e período constantes) de altura e período iguais a parâmetros obtidos a partir das distribuições de alturas e períodos de agitação real.

Os parâmetros a considerar dependem da deformabilidade da estrutura. Assim, se o comportamento da estrutura é caracterizado por uma fase de ruína abrupta, como seja o caso de um quebra-mar vertical, ela deve ser dimensionada para a onda máxima que a pode actuar durante a sua vida útil. Por outro lado, se a ruína for um processo de degradação lento, caso dos quebra-mares de talude, é economicamente vantajoso dimensionar a estrutura para um nível de solicitação com maior probabilidade de excedência.

No caso dos emissários submarinos expostos directamente à acção das ondas, há que ter em conta as características do material de que é constituído. Um emissário de material frágil (por exemplo, fibrocimento) deve ser dimensionado para uma altura de onda superior à de um emissário com as mesmas características geométricas, colocado no mesmo local, mas constituído por um material deformável (por exemplo, plástico). Para estes emissários aconselha-se a utilização dos seguintes parâmetros de distribuição de alturas e períodos:

a) Emissários de material frágil:

- Altura de onda igual à média do centésimo mais alto das ondas do temporal de projecto
- Período igual ao período médio das mesmas ondas

b) Emissários de material deformável:

- Altura de onda igual à média do décimo mais alto das ondas do temporal de projecto
- Período igual ao período médio das mesmas ondas

O dimensionamento dos elementos acessórios de protecção deve também seguir critérios adequados. Assim, no dimensionamento dos enrocamentos de protecção deve ser considerada uma altura e um período correspondentes à média do terço mais alto das ondas do temporal de projecto.

#### 4 - CORRENTES

A intensidade e direcção das correntes não induzidas pelas ondas, depende das características da maré na zona de interesse. Aquelas características podem ser avaliadas por medição na natureza, ou em modelos físicos, ou recorrendo a modelos matemáticos.

Como já se referiu, e exceptuando zonas situadas no interior de estuários que sejam muito abrigadas da agitação marítima, a velocidade das correntes de maré é bastante menor que a velocidade máxima induzida pelas ondas consideradas no projecto. É usual adicionar as duas velocidades para o dimensionamento de estruturas como são os emissários submarinos, apesar das grandes diferenças das características dos dois es-

coamentos.

## 5 - MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

O método a utilizar no dimensionamento de um emissário submarino depende da solução adoptada em cada troço da estrutura.

Nos troços enterrados há que dimensionar o revestimento de protecção (betão, enrocamento, areia, etc.), existindo métodos analíticos mais ou menos empíricos adequados. No caso de os fundos e o recobrimento serem de areia deve ser analisada a estabilidade dos fundos, tendo em conta que essa estabilidade tem características dinâmicas traduzidas por uma variabilidade sazonal da cota do fundo. O emissário deverá ser colocado sob uma espessura de areia suficiente para que eventuais erosões não o exponham directamente à acção das ondas, e para que ele próprio não seja um elemento perturbador do caminhamento das areias. Na zona de rebentação, o revestimento deverá resistir às pressões que o jacto de rebentação sobre ele exerce.

Nos troços em que o emissário assenta directamente no fundo, as forças sobre ele exercidas em consequência da acção das ondas e correntes têm duas componentes: componente horizontal correspondente às forças de inércia e de arrastamento e componente vertical correspondente à força de sustentação.

A intensidade das forças de inércia provocadas pelo escoamento da água em torno de um corpo, é proporcional ao volume do corpo e à aceleração das partículas de água. As forças de arrastamento e sustentação dependem da forma do corpo, sendo proporcional ao quadrado da velocidade das partículas e à área exposta ao escoamento.

A intensidade máxima da resultante das forças induzidas pela passagem da onda sobre um emissário apoiado no fundo ocorre quando é máxima a componente horizontal da velocidade das partículas. Corresponde, portanto, ao instante em que a aceleração das partículas é nula (i. é, em que as forças de inércia são nulas).

Os coeficientes correspondentes à forma do corpo imerso são obtidos de forma empírica, variando os seus valores com os números de Reynolds e de Keulegan-Carpenter do escoamento. Para os valores mais frequentes daqueles números os coeficientes de arrastamento e sustentação variam entre 0 e 4. Os trabalhos de diversos autores que têm conduzido estudos experimentais, apresentam resultados bastante díspares, o que provavelmente se pode atribuir a dificuldades experimentais. Na prática e para os temporais que usualmente ocorrem na costa portuguesa, supõe-se que é aceitável tomar valores entre 0 e 2 para esses coeficientes.

Em geral, um emissário assente directamente no fundo não tem por si só peso suficiente para resistir à acção combinada das ondas e correntes. É necessário, por isso, dimensionar dispositivos que permitam absorver aquelas forças. Esses dispositivos consistem em geral em maciços de betão ligados ao tubo por dispositivos adequados. No dimensionamento do emissário deve-se tomar em conta que tais maciços constituem tam -

bém obstruções ao escoamento, e, como tal, estão também sujeitos às forças atrás referidas.

Também no caso de emissários assentes directamente no fundo a movimentação dos sedimentos deve ser analisada, pois o tubo pode constituir um obstáculo ao seu caminhamento, provocando alterações na fisiografia local, com consequências na própria obra ou na linha de costa adjacente.

## 6 - CONCLUSÕES

Pretendeu-se com a apresentação desta comunicação chamar a atenção para a importância que deve ter a consideração dos efeitos da agitação marítima no projecto de emissários submarinos. A não consideração desses efeitos comprometerá o funcionamento dos sistemas de saneamento em zonas costeiras, com todas as consequências no bem-estar das populações, no turismo e na economia nacional.