



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

### PORTO DE ABRIGO PARA O POSTO DE SOCORROS A NÁUFRAGOS DO AEROPORTO DA MADEIRA

Alexandre Ferreira da Costa (1)

Miguel Robert Lopes (1)

Consulmar – Projectistas e Consultores, Lda.  
Av. Joaquim António de Aguiar, 27-9º  
1099-062 Lisboa

**Resumo:** O Aeroporto da Madeira fica situado na orla costeira Sudeste da ilha da Madeira, com a área de segurança aeroportuária com o hemisfério noroeste condicionado pelo relevo acentuado da ilha, e com o hemisfério sueste cobrindo a faixa de mar adjacente.

Este condicionamento impõe que as manobras de aproximação e descolagem das aeronaves sejam efectuadas sobre o oceano, sendo necessário dotar o aeroporto com os meios adequados para o salvamento no mar, para cumprimento dos requisitos de segurança exigidos pela categoria operacional do Aeroporto da Madeira.

Com essa finalidade, foi instalado o Posto de Socorros a Náufragos (PSN), implantado no canto sudoeste do aterro marítimo criado pela ampliação do Aeroporto e existente sob a estrutura do prolongamento da pista, que dispõe de acesso viário a partir da via rápida regional e para o qual foi necessário criar uma área molhada abrigada para a operação das embarcações de socorro e o desembarque de sinistrados.

O presente artigo visa apresentar as Obras Marítimas desta instalação.

## 1. EVOLUÇÃO E SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

### 1.1 Aeroporto e Aterro da Baía de Sta.Catarina

O prolongamento da pista do Aeroporto da Madeira foi conseguido com a construção de uma estrutura de betão armado e pré-esforçado, apoiada em pilares de grande altura, que atravessou a baía que recortava este trecho da costa. Para apoio da construção desta estrutura foi executado um Aterro Marítimo permanente ocupando o interior da baía, protegido por um Dique ao longo da sua orla marítima.

Esta solução permitiu dar destino ao grande volume de escavação a realizar para o alargamento da plataforma da pista, tendo o dique de protecção marítima sido constituído por uma solução de perfil "Berm Breakwater", caracterizado por utilizar uma gama extensa de enrocamentos (de 5 a 40kN), numa camada de grande espessura, sendo estes enrocamentos obtidos por selecção nas operações de escavação.



Fotos 1 e 2 – Vistas da Baía de Sta. Catarina, para NE (esq.) e SW (dir.), na situação de referência

O PSN localiza-se no extremo SW da baía de Santa Catarina, no encontro entre a base da falésia e o aterro marítimo construído para o Aeroporto.

A baía de Santa Catarina é limitada pelas pontas rochosas de Santa Catarina e da Queimada, constituindo o limite SW da extensa enseada que se prolonga até à ponta de S. Lourenço. Na sua primeira metade, a enseada desenvolve-se para NE, até à povoação do Caniçal, encurvando depois para E e ESE, até S. Lourenço. A extensão deste troço costeiro é de cerca de 8 milhas, sendo em geral limpo e fundo para fora da batimétrica dos 20 m, a qual dista menos de 0,5 milha da linha de costa.

O aterro marítimo cobre a metade NE da baía e é composto por materiais provenientes maioritariamente das escavações efectuadas no talude para alargamento da pista, apresentando o coroamento a cotas variáveis, superiores à cota (+3,5 m)NM, na zona de intervenção, sendo atravessado por duas valas de drenagem, de NW para SE, por onde se escoam as ribeiras que anteriormente desaguavam directamente sobre o mar.

O aterro é atravessado pelos pilares de suporte do tabuleiro da pista, os quais se dispõem segundo uma malha quadrada com 32 m de lado, a eixo dos pilares. Os pilares têm 3,0m de diâmetro e fundam ou directamente no terreno rochoso através de sapatas, ou sobre maciços de encabeçamento de oito estacas cravadas sobre o firme rochoso, pelo que são estruturalmente e funcionalmente independentes do aterro circundante.

A protecção marítima do aterro é feita por um dique com quase 1 km de comprimento, paralelo à pista, com pé de talude em geral acima da batimétrica (-15 m)NM e, na área de intervenção, acima da (-10 m)NM.

O dique de protecção, designado na literatura da especialidade por “berm breakwater”, é uma estrutura especial de comportamento dinâmico, dotada de um manto de protecção de elevada espessura, constituído por enrocamentos de dimensão normalmente inferior à requerida por uma obra “clássica” em taludes. Nestas obras, o perfil inicial “deforma-se” ao longo do tempo, sob a acção da agitação marítima, tendendo para uma configuração de equilíbrio em forma de “S”, em que o troço menos inclinado do perfil (maior capacidade resistente) se localizará na zona activa, em geral uma zona intermédia, próxima do nível médio do mar, aquela onde a solicitação (sobretudo a rebentação) será superior.

O perfil-tipo do dique é constituído por um núcleo de enrocamento ToT com taludes a 4(H):3(V), protegido por manto de enrocamento seleccionado na gama 5 a 40 kN e com espessuras entre 11 m e 9 m. O manto de protecção do coroamento estende-se até à primeira fiada de pilares, com uma espessura de 2 m, formando uma extensa berma de coroamento à cota (+4.10 m)NM.

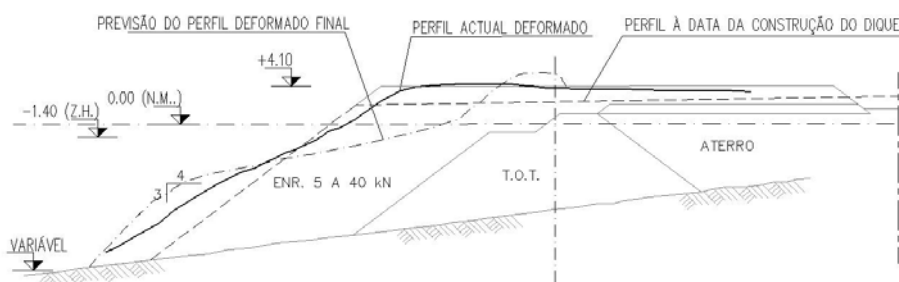


Fig. 1 – Perfil tipo do Aterro e seu dique de protecção

## 1.2 Condições naturais

O Porto de abrigo do PSN situa-se no canto SW do aterro marítimo do prolongamento da pista do Aeroporto da Madeira, o qual preenche totalmente a baía de Sta. Catarina, sobre área de fundos superiores a (-15m)NM.

As marés no Arquipélago da Madeira apresentam nível médio a (+1,4 m)ZH. Para efeitos deste artigo, seguir-se-á a referência adoptada no projecto desta obra, o nível médio, (0,00m)NM. De

acordo com as previsões do IH, com base em registos maregráficos realizados no Porto do Funchal, as preia-mares e baixa-mares médias têm alturas de água de ( $\pm 0,8$  m)NM. Em águas-vivas estes valores têm variação média de  $\pm 0,3$  m e máximos relativos de ( $\pm 1,4$  m)NM. Estes valores podem ainda sofrer variações mais ou menos pronunciadas, quando se verificam condições meteorológicas anómalas ou durante a actuação de estados de agitação muito intensos, junto à costa. Variações acima de 0,3 m, quando associadas a depressões, podem ser consideradas raras.

Segundo o IH, durante a enchente a onda de maré vem do quadrante SW, enquanto na vazante ela vem de NE. As correntes de maré são mais fortes em marés vivas e próximo da meia-maré, mas apenas assumem alguma importância em zonas localizadas, como são os casos das pontas mais salientes da ilha, onde estas correntes produzem, ao estabelecerem-se, “encrespados e “encontros de águas”, por vezes perigosos para as pequenas embarcações. Junto à obra, porém, estas correntes deverão tomar valores desprezáveis.

O regime anual de ventos é diferente na Costa Norte e na Costa Sul da ilha da Madeira, sendo predominantes, na Ponta do Pargo, os ventos de NE, de E em Ponta Delgada e de SW no Funchal. Na Ponta de S. Lourenço, os ventos predominantes são de N. Tendo por base os registos de ventos medidos na Estação Meteorológica do Funchal (1961-90), foi definido o regime de ventos local, onde predominam os rumos de SW e NE, seguidos do N e W. A velocidade média anual dos ventos é reduzida, inferior a 10,5 km/h em todos os quadrantes.

A localização do Posto de Socorros a Náufragos (PSN) junto ao “canto” SW da baía de Santa Catarina, na costa sul da Ilha da Madeira, confere ao local abrigo natural face a temporais provenientes de NW-W-SW e NE-N-NW, mais frequentes e intensos. Para caracterização do regime de agitação ao largo da Madeira recorreu-se a resultados do modelo de “hindcast” do Instituto Meteorológico Britânico (UKMO), abrangendo cerca de 9 anos de dados (1986 a 1994), previamente validado através da comparação com os resultados obtidos pelos registos de bóia-ondógrafo e observações a bordo de navios, assim como pela comparação de regimes de ventos. Estes dados foram transferidos, por refração espectral, para um ponto representativo da zona de aproximação ao Porto, assim se definindo as condições de agitação que o poderão atingir e propagar para o seu interior.

O regime de ondas é sazonal, exibindo maiores alturas e períodos no Inverno marítimo. Este local apenas é atingido pelas componentes de ondulação e vaga ao largo, em cerca de 70 e 80 % dos casos, respectivamente, a menos de uma percentagem correspondente a vaga de ventos estritamente locais (não abrangidos pelo modelo de “hindcast”). Os rumos mais frequentes concentram-se num leque de direcções muito estreito entre E e ENE, mas com picos secundários para rumos de S e SSE.

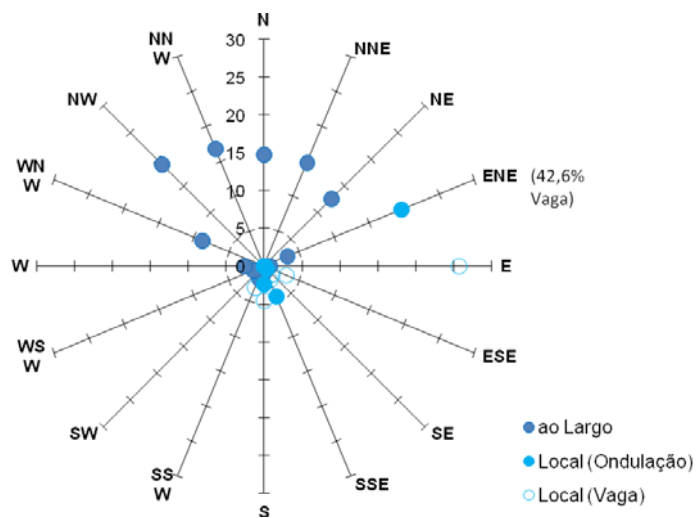


Fig. 2 – Frequência dos rumos da agitação (%)

O regime de extremos, pelo contrário, apresenta-se igualmente repartido no local por aqueles dois sectores de rumos, embora verificando-se que no sector S-SSE àquelas ondas extremas correspondam períodos superiores, mais marcadas portanto por condições de ondulação. Em média, cerca de 77 e 94 % das ondas locais têm altura significativa inferior a 0,5 m, para condições de vaga e ondulação, respectivamente. Ondas com alturas superiores a 1,5 m apenas ocorrem em 2% do tempo. Os períodos de pico inferiores a 7 s têm frequências da ordem de 75%, verificando-se valores acima de 11 s, em cerca de 5% dos casos.



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

As maiores alturas anuais distribuem-se por sectores alargados de rumos de Sul e E, associadas a períodos de pico entre 8 e 12 s. Para análise de valores extremos foram ajustadas distribuições de amostras de valores máximos anuais e de frequências de alturas significativas (Hs) a diversas distribuições teóricas, por sectores de rumos. Os valores extremos obtidos são praticamente iguais para Sul e E, com Hs ligeiramente inferior a 4,5 e 5,5 m, para períodos de retorno de 50 e 100 anos, respectivamente. Dada a reduzida dimensão da amostra disponível, a estes valores foi depois adicionada uma margem de incerteza, levando à adopção de uma onda de projecto com Hs de 6,0 m.

As condições de propagação na aproximação ao dique do aterro marítimo deverão ser mais desfavoráveis junto ao seu canto SE, dada a configuração apertada (concentradora) e totalmente reflectora que a vertente da baía aí apresenta, em oposição à porosidade (dissipação) que caracteriza o dique.

### 2. CONCEPÇÃO E ESTUDO DE SOLUÇÕES

#### 2.1 Localização, necessidades e condicionantes

O Posto de Socorros a Náufragos (PSN) localiza junto ao “canto” SW da baía de Santa Catarina, cuja orientação costeira lhe proporciona abrigo natural face a temporais provenientes de NW-W-SW e NE-N-NW. Nesta zona, a batimetria, em geral profunda, apresenta-se mais elevada, pelo que o volume de construção (cuja principal parcela é o molhe de abrigo) é aqui menor quando comparado com outras localizações.

Para o estabelecimento do “lay-out” das obras marítimas do PSN, procurou-se compatibilizar o exigente programa fixado para as obras terrestres (edifícios, acessibilidades, relações funcionais com as infra-estruturas marítimas, etc.) com as necessidades operacionais e de abrigo requeridas para a frente marítima, tendo em conta as restrições impostas por diversas condicionantes topo-hidrográficas.

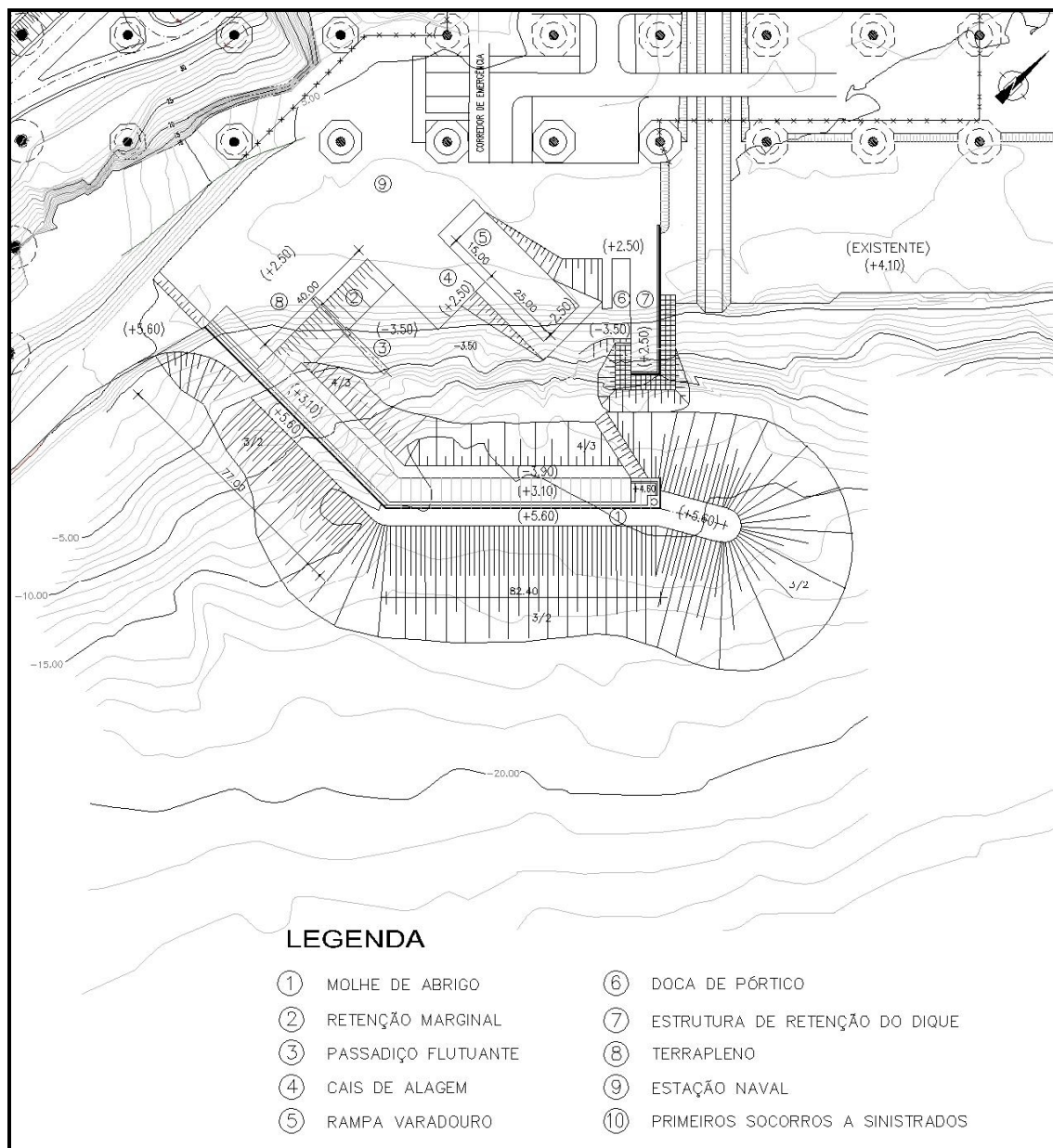
No que respeita aos condicionamentos topo-hidrográficos, salientam-se os seguintes:

- A “apertada” malha de pilares que suportam o tabuleiro do prolongamento da pista do Aeroporto do Funchal, dificultando a articulação (física e funcional) entre as diversas obras envolvidas;
- O “dique” de protecção (“berm breakwater”) do terraplino, cuja constituição de elevada espessura de enrocamentos pesados e comportamento *dinâmico* (o perfil inicial “deforma-se” no tempo, tendendo para uma configuração de equilíbrio em forma de “S”) não se adequa à fundação de obras terrestres e coloca problemas quanto ao tratamento das zonas de remate com obras de características praticamente *estáticas*, como é o caso;
- a encosta rochosa a SW e seus aterros de construção, exibindo uma elevada declividade e fazendo um pequeno ângulo em planta com o alinhamento do “dique” de protecção, limitam a “área útil” para a implantação das obras terrestres, sob risco da instabilização das suas vertentes ou, em alternativa, obrigando a dispendiosas obras para sua contenção;
- a “barreira” imposta pela canalização das ribeiras, atravessando o terraplino de NW para SE, limitando, ainda mais, o espaço livre para SW;
- as elevadas profundidades e inclinações exibidas pelos fundos naturais, obrigando ao máximo recuo do molhe de abrigo, à custa do estreitamento da bacia portuária, por forma a minimizar-se os volumes de construção.

As diversas alternativas estudadas demonstraram que, para viabilizar qualquer “lay-out” do conjunto das obras marítimas e terrestres, será necessário proceder a algumas intervenções na topografia local, por forma a reduzir os condicionamentos existentes, como é o caso do dique: obrigando à concepção de uma obra que contenha e estabilize o seu perfil na zona de remate NE.

No programa de acção estipulado para este porto preconizava-se um molhe de abrigo e um conjunto de obras interiores comuns, desenvolvendo-se de SW para NE, envolvendo:

- Retenção e terraplano marginal;
- Rampa Varadouro;
- Cais de alagem e infra-estrutura-flutuante;
- Doca de Pórtico e Cais de serviço;
- Estrutura de retenção do dique do Aterro Marítimo (Esporão).



• Fig. 3 – Planta inicial do Porto de abrigo do PSN

O molhe será atingido por tempestades com rumos locais oscilando no sector S-SSE e E com intensidades semelhantes. Por outro lado, enquanto que, a SW, a agitação será quase completamente reflectida pela encosta rochosa, aumentando os índices de agitação locais e gerando um “gradiente” de transporte de água no sentido do dique, a NE, pelo contrário, a



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

constituição altamente porosa e em talude do dique contribuirá, como se pretende, para a diminuição daqueles índices e níveis de água.

Assim, tendo em conta as favoráveis condições de reflexão exibidas pela orla costeira a NE e ainda que a agitação local, sobretudo em termos dos seus valores extremos, apresentará rumos sensivelmente centrados na perpendicular ao molhe (SE), optou-se por localizar a sua entrada virada para NE. O abrigo proporcionado será assim crescente de E para S.

Considerando que a utilização prioritária deste Porto será o socorro a náufragos, apenas se prestando um serviço de alagem a embarcações de recreio náutico a título muito secundário, optou-se por condicionar, em primeiro lugar, as dimensões portuárias face às condições de abrigo e operacionalidade necessárias para as lanchas de salvamento previstas para o porto e respectivas balsas salva-vidas, no caso da ocorrência de um acidente aéreo sobre o mar. Assim, fixou-se uma largura mínima de 20 m para o canal de acesso, a (-4,5 m)NM, e de 30 a 40 m no interior da bacia, para cotas de serviço variando entre (-3,5 m)NM e (-2,5 m)NM.

Dada a pequena dimensão da bacia interior, o seu perímetro terrestre deverá ser dotado do maior número possível de taludes porosos, dando-se-lhe sempre que possível uma configuração irregular em planta, de maneira a promover o desfazamento entre as ondas incidentes e reflectidas e assim, diminuindo as condições de reflexão e ressonância, limitar os níveis de agitação interiores.

A rampa varadouro, antes dimensionada para uma taxa de ocupação máxima de quatro balsas, viria mais tarde, já em fase de projecto, a ser eliminada e substituída pela instalação de dois pontões flutuantes, em vez de um.

O cais de alagem, primeiro dimensionado para uma coluna de elevação das lanchas salva-vidas, veio mais tarde a evoluir, considerando-se que estas seriam lançadas através de vigas em consola dotadas de carrinhos de guiamento, abrigados dentro de um hangar. Para minimização dos tempos de saída destas embarcações, o cais seria orientado a 45° com o plano de água interior. Esta orientação tem ainda vantagens no que respeita ao ataque da agitação interior (vante-ré), à diminuição da sua reflexão, amplitude de ressonância na bacia, e no melhor aproveitamento do corpo do dique para a fundação da infra-estrutura do cais.

A doca de pósito deveria situar-se imediatamente a NE da rampa, por forma a evitar qualquer tipo de cruzamento entre os percursos marítimos (e terrestres) das embarcações (e veículos e pósito) que demandarão aquelas infra-estruturas. Com efeito, em caso de acidente, as instalações do PSN deverão ser totalmente isoladas das restantes utilizações.

Para estabilização do troço de dique imediatamente a NE da entrada do Porto, recorrer-se-ia a um pequeno “esporão” vertical, prolongando-se da distancia mínima necessária para contenção do perfil deformado previsível para o dique, nessa zona. Esta estrutura conferirá uma protecção adicional ao plano de água interior face à agitação proveniente de leste, aproveitando-se o seu tardo simultaneamente como cais de serviço, apoio terrestre às manobras de guiamento das embarcações à doca de pósito e para instalação de um farolim de guiamento.

Para onda de projecto das obras de abrigo, foram considerados períodos de retorno entre 70 e 100 anos, de que resultou uma altura significativa de 6,0 m. Para fixação do galgamento admissível, considerou-se uma altura significativa de 3,0 m, associada a uma probabilidade de excedência inferior a 2 ‰. Esta altura de onda, quando proveniente de rumos mais rodados a leste (probabilidade de excedência inferior a 1 ‰), penetrará no porto dando origem a níveis de agitação interiores que inviabilizarão a operacionalidade na bacia portuária, pelo que se poderá admitir o início do galgamento do molhe para essas condições. Este estado de mar está igualmente associado às condições limites de navegabilidade das lanchas salva-vidas do PSN.

### 2.4 Ensaios em modelo físico reduzido e melhoramentos ao projecto

O Porto de abrigo do PSN foi sujeito a ensaios em modelo reduzido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, nos quais se reproduziu a totalidade das suas obras marítimas, exteriores e interiores, incluindo o dique existente a NE. Nestes ensaios foi avaliado o comportamento do



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

Porto no que respeita à estabilidade, galgamento e agitação, incluindo a sobreelevação do nível interior.

Os ensaios foram realizados à escala de 1:47,5, num tanque de ondas no qual se reproduziram os fundos existentes até sensivelmente à batimétrica (-30 m)NM, tendo-se simulado dois níveis de maré extremos: preia-mar máxima a (1,4 m)NM e baixa-mar mínima a (-1,4 m)NM. Foi ensaiada agitação irregular, caracterizada por um espectro empírico de JONSWAP, períodos de pico de 8 e 12 s e alturas significativas entre 2 e 7 m, associada aos dois rumos locais mais desfavoráveis, E e SSE. A agitação interior foi medida por sondas, sendo a agitação de referência gerada aproximadamente sobre a batimétrica (-22 m)NM.



Fotos 3 e 4 – Ensaio em Modelo Reduzido do PSN

Os resultados obtidos nos ensaios mostraram que o molhe de abrigo é estável face à onda de projecto, caracterizada por uma altura significativa de 6,0 m (período de retorno de 100 anos).

Os ensaios confirmaram igualmente que o início do galgamento do molhe por lâmina de água ocorre para alturas significativas de 3 a 4 m, em preia-mar. O primeiro limite é o nível fixado no projecto e corresponde a uma probabilidade de excedência inferior a 2 ‰. Em baixa-mar, o galgamento é muito inferior, apenas ocorrendo para alturas próximas da onda de projecto. O galgamento aumenta com o período e varia ao longo do molhe, sendo a cabeça mais sensível ao rumo Este e o remanescente à agitação proveniente de SSE. No interior, verificou-se o galgamento incipiente de algumas obras, mas em regra associado a particularidades locais, sem repercussões nas actividades portuárias previstas ou passíveis de melhoramento.

A análise dos ensaios de agitação evidenciou que a maré desempenha um importante papel no que respeita ao abrigo deste porto, obtendo-se índices sistematicamente inferiores para o nível de maré mais baixo, sendo a diferença tanto maior quanto mais exposto estiver o Porto. Para o rumo Este, os índices em baixa-mar mínima são aproximadamente metade dos obtidos em preia-mar máxima. Verificou-se ainda que, em geral, os índices de agitação diminuíam com o aumento das alturas de onda exteriores e que os índices de alturas máximas apresentavam valores ligeiramente inferiores aos índices de alturas significativas. Não foram registadas sobrelevações mensuráveis e “significativas” no nível de água interior nos ensaios.

As configurações ensaiadas correspondem a versões muito próximas daquela que foi construída e cuja principal diferença consiste no prolongamento do troço principal do molhe no sentido do enraizamento e da cabeça de cerca de 15 e 30 m, respectivamente, e na subida da cota geral dos terraplenos. Com esta medida, espera-se obter melhorias sensíveis no que respeita a galgamentos localizados e índices de agitação interiores. A retenção marginal SW foi ainda dotada de murete de 0,5m, para protecção adicional ao galgamento. Para os pontões foram especificadas condições de amarração ainda mais exigentes.

### 2.5 Melhoramentos e alteração ao Projecto

Uma importante alteração foi introduzida na infra-estrutura do troço principal do molhe, envolvendo uma extensão de aproximadamente 125 m. Naturalmente, mantiveram-se as cotas, geometria e constituição de toda a envolvente exposta à acção directa da onda, assim se

mantendo o seu comportamento hidráulico, verificado nos ensaios em modelo reduzido realizados.

Tirando partido das grandes profundidades em presença, substituíram-se as colunas de aduelas antes previstas por fiada de caixotões, o que permitiu, através do alargamento da base, aprofundar a sua cota de fundação e conseguir assim uma importante economia nos materiais do prisma de fundação do muro-cais no tardo do molhe. A própria solução em caixotões resultou mais económica, reduzindo substancialmente os ciclos de trabalho e minorando os riscos construtivos, dispunha-se ainda da proximidade do Porto do Caniçal para as operações de apoio indispensáveis à execução e transporte em flutuação deste tipo de estruturas.

A fundação, originalmente com 8 m de largura e à cota (-4,9 m)NM, passou a ter 12 m à cota (-10,8 m)NM, sendo o alargamento realizado para o exterior, pelo que se ocupou uma faixa de 3,0 m do prisma de dissipação em enrocamento ToT.

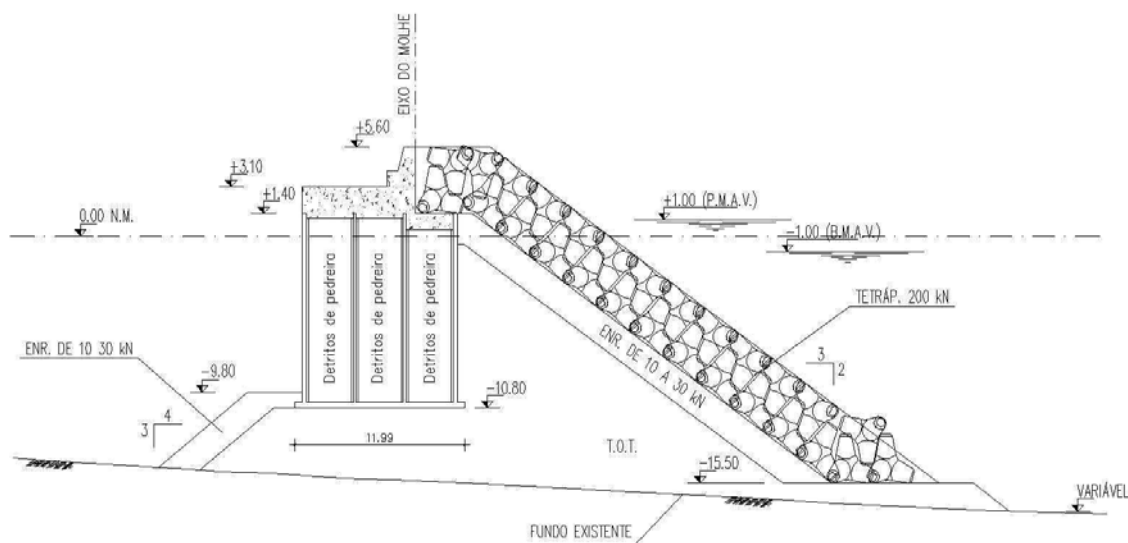


Fig. 4 – Novo Perfil tipo do Molhe

Tem interesse mostrar o método de F.L. Martín, utilizado nos cálculos de pressões realizados para verificação da estabilidade da nova secção do molhe e recomendado para estruturas mistas.

Este método apenas é aplicável a ondas que atingem a parede vertical da estrutura em estado rebentado, pelo que se tem previamente de verificar que rebentam sobre os fundos vizinhos ou sobre o talude da obra, como é o caso presente.

O método tem em conta de uma forma explicita, é dos primeiros a fazê-lo neste tipo de estruturas, o carácter dinâmico da actuação da onda, através da consideração de dois “instantes” da actuação da onda (e sua interacção com a estrutura):

- Num primeiro momento, a massa de água rebentada atinge a estrutura dando origem a pressões muito elevadas nas cotas superiores, distribuídas de uma forma aproximadamente uniforme numa certa altura e depois rapidamente se “degradando” em profundidade, consoante diminui a permeabilidade dos materiais. São as chamadas pressões de impacto ou impulsivas (Pd);
- Num segundo momento, quando a acumulação de água é máxima junto à parede vertical, iniciando-se o seu movimento de descida, gera-se um segundo pico de pressões, com uma distribuição aproximadamente triangular em altura, pouco sensível às diferenças de permeabilidade dos materiais situados acima do nível da água, mas que se atenua para cotas inferiores, onde funciona mais como uma “sobrecarga”. São as denominadas pressões flutuantes ou reflectidas (Pr).

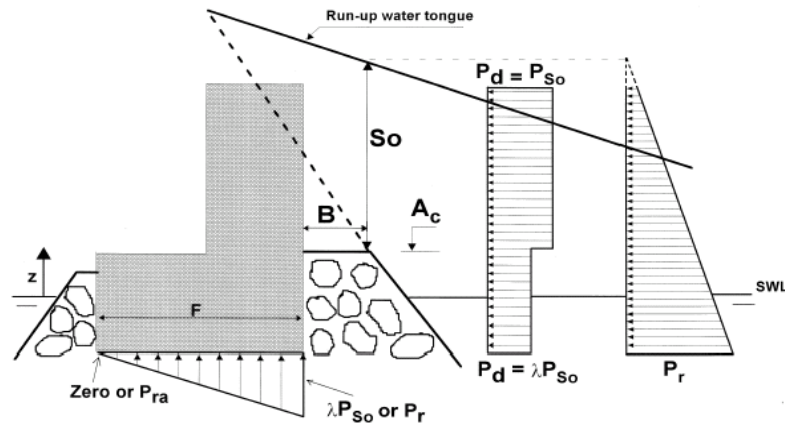


Fig. 5 – Pressões de cálculo do Método de F.L. Martín (extraído de PROVERBS)

Os dois momentos de actuação da solicitação são calculados separadamente, devendo-se considerar o mais desfavorável. É de salientar que ambas as pressões são de carácter estritamente dinâmico, pelo que se lhes deve sempre somar as pressões hidrostáticas correspondentes ao nível de água em repouso ou, o que é equivalente, considerar o peso submerso dos elementos resistentes.

No caso de superestruturas correntes em quebra-mares, em regra fundadas acima do nível da água em repouso, quanto maior a extensão de muro coberta pelos materiais do manto e das camadas inferiores, menores serão as pressões de impacto, mas as flutuantes manter-se-ão aproximadamente iguais, para igual onda de projecto, pelo que, quando integradas ao longo da estrutura, podem resultar mais desfavoráveis.

No caso presente, dada a cota de fundação dos caixotões, bem abaixo do nível da água, assim como a dimensão e características do prisma de material colocado à sua frente – ToT pouco permeável – as pressões flutuantes foram as mais desfavoráveis.

Nos cálculos realizados que incluíam para além da onda de projecto, um desnível hidrostático e os impulsos em repouso induzidos pelo prisma de material encostado aos caixotões, foi verificada a estabilidade destes, em termos do seu equilíbrio ao derrubamento e escorregamento, assim como o nível de tensões no prisma de enrocamentos da fundação e sua distribuição ao longo da base.

### 3. PROJECTO E CONSTRUÇÃO DAS OBRAS

#### 3.1 Implantação e perfis tipo

O Posto de Socorros a Náufragos (PSN) localiza-se no extremo SW da baía de Santa Catarina, no encontro entre a base da falésia e o aterro marítimo existente. A localização e orientação deste troço costeiro conferem-lhe um abrigo natural face a agitação marítima proveniente de SW-NE, por Norte.

O porto é protegido de tempestades com rumo local do quadrante S-E, por um Molhe e um Esporão, disposto em “contra-molhe”, definindo uma entrada virada a NE, com cerca de 16 m e 20 m de largura, às cotas (-4,5 m)NM e (-1,4 m)NM, respectivamente. Ambas as obras de abrigo têm faces acostáveis no seu interior.

As obras interiores incluem uma Doca de Pórtico, Cais de alagem e lançamento, Retenções marginais e dois Pontões flutuantes, com cotas de serviço a (-3,9 m)NM, sendo a cota geral dos terraplenos a (+3,1 m)NM. A bacia portuária tem uma área abrigada de 0,6 ha.

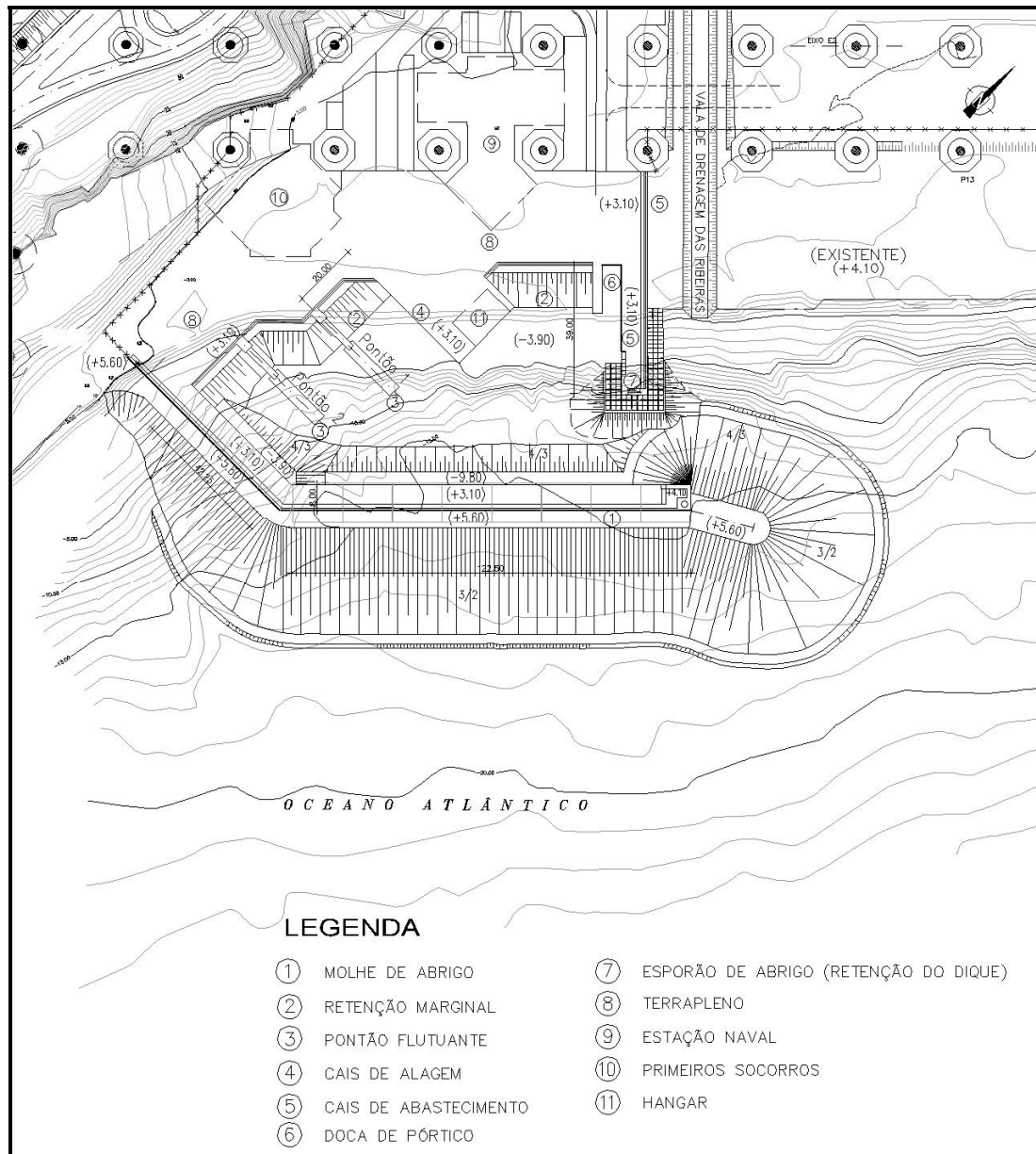


Fig. 6 – Planta final das Obras marítimas do PSN

Para fundação do Esporão de Abrigo e obras interiores, assim como para a criação da área molhada correspondente, foram realizados trabalhos de escavação e dragagem envolvendo a remoção de enrocamentos de revestimento do dique existente. Estes materiais foram depois seleccionados e reaproveitados, incorporando-os na construção da obra e reutilizando o volume sobranter na recarga do dique existente.

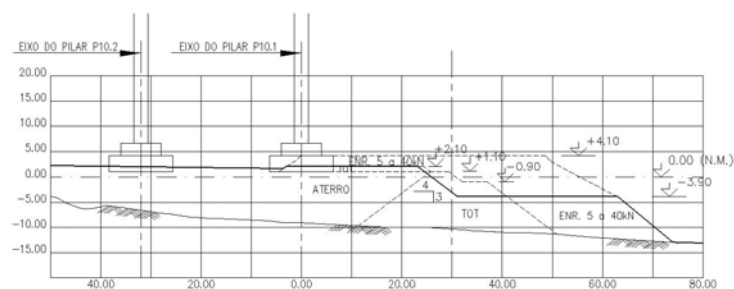


Fig. 7 – Perfil de escavação no Dique do Aterro Marítimo

O Molhe de Abrigo tem um comprimento de aproximadamente 210 m, apresentando o seu troço principal orientado segundo SW-NE, paralelo ao dique do aterro marítimo existente, inflectindo para W no enraizamento, para remate com a falésia contígua, e sensivelmente para E-NE na cabeça para abertura do canal do acesso marítimo, sendo acostável pelo interior.

A estrutura do Molhe é mista, composta por uma base em taludes de enrocamentos e um coroamento em estrutura vertical, revestido exteriormente pelo talude do prolongamento superior do prisma da base, protegido por manto de Tetrápodos de 200 kN e inclinado a 3(H):2(V).

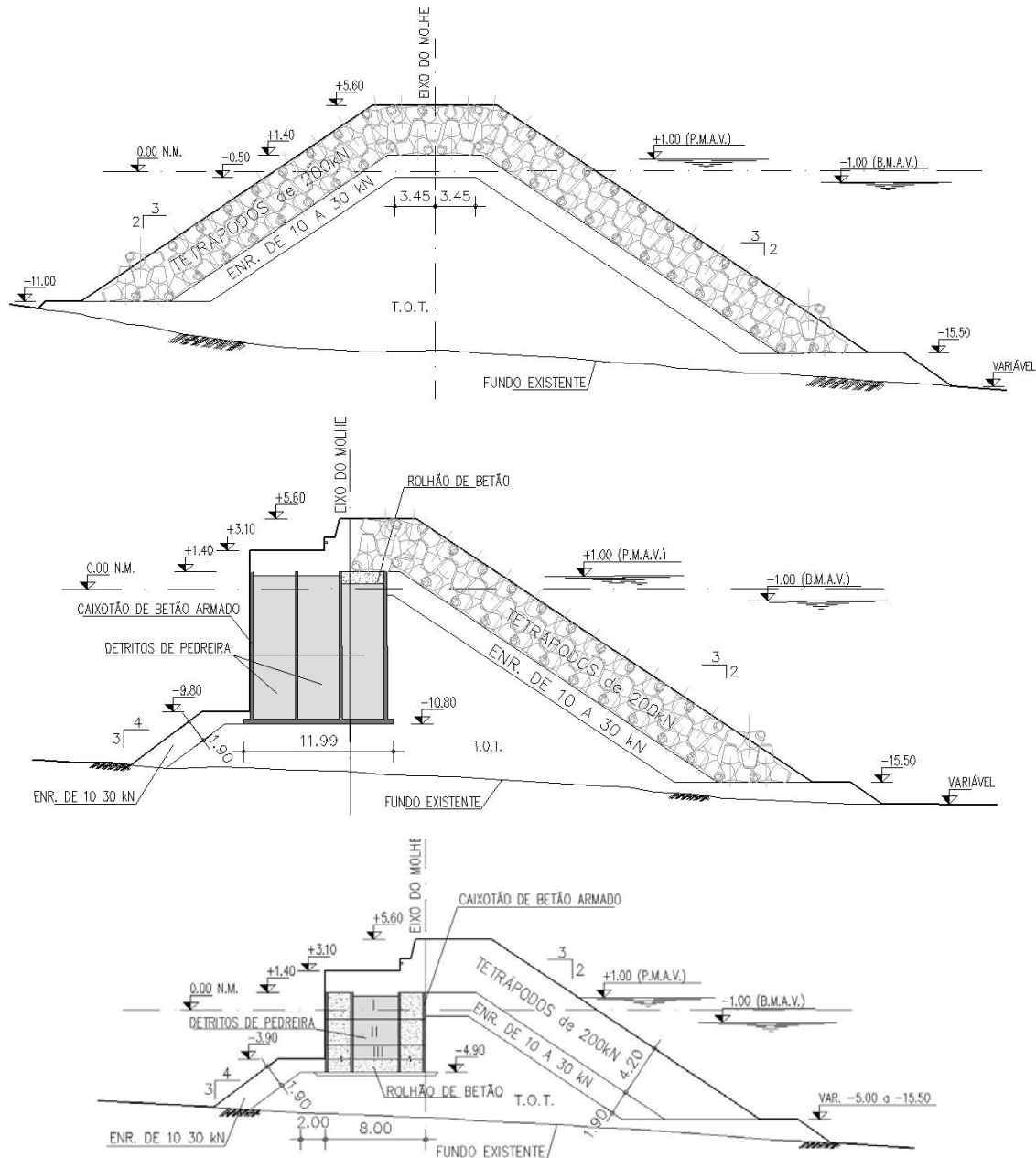


Fig. 8 – Perfis tipo do Molhe, na cabeça (sup.), troço corrente (meio) e no enraizamento (inf.)

A estrutura vertical é constituída por colunas de aduelas, no troço do enraizamento, e por oito caixotões de betão armado, pré-fabricados, transportados para o local em flutuação e afundados a (-10,8 m)NM, no corpo do molhe. Na cabeça, o molhe tem um perfil típico clássico de quebra-mar de taludes, simétrico e idêntico ao perfil exterior do troço anterior.

Os caixotões de betão armado têm dimensões em planta de 15,2 m x 12,0 m e 12,2 m de altura, 12 células quadradas no interior e 3 poços de selagem em cada face de justaposição com os outros caixotões. As células são cheias com detritos de pedra, os poços com enrocamentos seleccionados e, no do meio, com betão.

A superestrutura desenvolve-se entre as cotas (+1,40 m)NM e (+3,10 m)NM, dispondo de plataforma de circulação com 6 m de largura e muro cortina com o coroamento à cota (+5,6 m)NM. Todas as juntas verticais e horizontais da superestrutura asseguram a transmissão de esforços horizontais, através de encaixes macho-fêmea, dentes de travamento e ferrolhos de ligação.

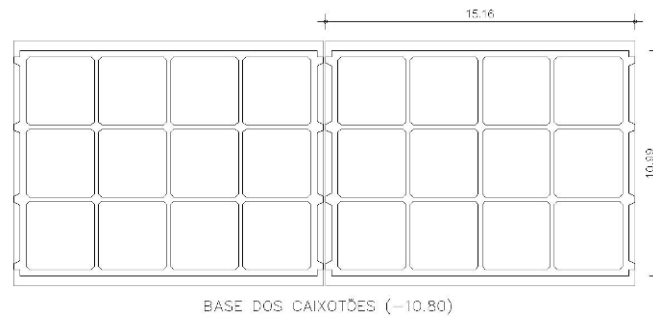


Fig. 9 – Geometria em planta dos caixotões do Molhe

O Esporão de Abrigo é perpendicular ao Molhe, estando implantado imediatamente a SW da Vala de Drenagem das ribeiras aí existente e em posição suficientemente destacada, de maneira a garantir a retenção do dique na sua posição mais deformada. A estrutura do esporão é vertical e monolítica, sendo acostável do lado interior (cais e doca de pósito).

A infra-estrutura é constituída por colunas de aduelas de betão armado prefabricadas com 8 m de largura e uma superestrutura em betão simples, numa extensão total de cerca de 40 m. A fundação realiza-se sobre o material dragado do dique e regularizado, protegido por manto em blocos de betão tipo Antifer com 80 kN. Este mesmo manto de blocos reveste e protege o talude exterior do dique que remata contra o Esporão.

A Doca de Pósito situa-se no tardoz do Esporão, cujo lado interior suporta um dos caminhos de rolamento do Pósito. O outro caminho é suportado por uma estrutura vertical destacada, em aduelas, com 3 m de largura e cerca de 15 m de comprimento, dimensionada para Pósito com capacidade de 350 kN.

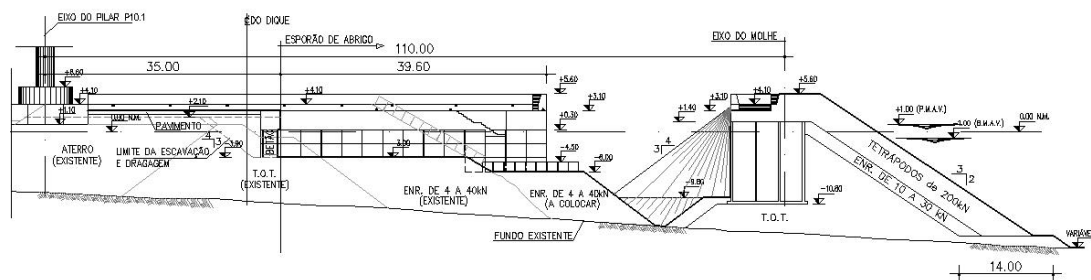


Fig. 10 – Alçado e Planta da Doca de Pósito, Esporão e entrada do Porto



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

O Cais tem infra-estrutura em aduelas e superestrutura de betão, apresentando dois troços distintos, dispostos em “L” e rematando com as Retenções marginais do terrapleno:

- o Cais de alagem, virado a Sul e com cerca de 35 m de comprimento, no qual será instalada uma grua de coluna com 70 kN de capacidade de elevação;
- o Cais de lançamento, virado a Leste, apontado para a entrada do porto, com aproximadamente 24 m de comprimento, sobre o qual se dispõe o equipamento de lançamento das lanchas salva-vidas, abrigadas sob um hangar.

As Retenções marginais têm como função complementar a dissipação da energia das ondas, sendo constituídas pelos taludes resultantes da escavação e dragagem do dique existente, protegidos por manto de enrocamentos de 10 a 30 kN e dotados de bloco de coroamento com murete para resguardo da área de circulação e protecção aos galgamentos.

As infra-estruturas flutuantes são constituídas por dois Pontões de estrutura robusta, em betão, com cerca de 3,5 m de largura por 20 m de comprimento cada, instalados paralelamente ao Cais de Alagem e amarrados com um sistema de correntes e poitas reforçado. As pontes de acesso são dotadas de apoios com dupla liberdade de rotação e dispositivos especiais para amortecimento dos deslocamentos induzidos pelas ondas. Os pontões destinam-se ao desembarque de sinistrados, devendo permitir a acostagem de embarcações semi-rígidas, insufláveis e balsas salva-vida.

Para além das obras marítimas, o Posto de Socorros a Náufragos compreende também uma importante componente de obras terrestres, envolvendo acessos e parqueamentos de viaturas, redes técnicas de água, esgoto, electricidade e comunicações, e ainda edifícios destinados ao apoio das tripulações, das embarcações salva-vidas, e dos primeiros socorros dos sinistrados.

### 3.2 Aspectos construtivos e da empreitada

A construção de Obras Marítimas apresenta uma especificidade própria em relação aos meios a utilizar quer em equipamentos quer em materiais, traduzindo-se no emprego de equipamentos de elevação (gruas) de grande capacidade, meios de transporte pesados para enrocamentos e blocos préfabricados de betão, e também a utilização de equipamentos flutuantes para o transporte e colocação de materiais em obra.



Foto 5 – Vista geral da obra



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

No que respeita ao molhe, cuja secção foi otimizada para conduzir ao mínimo volume de enrocamentos a colocar na obra, o fabrico e a colocação dos elementos pré-fabricados, aduelas, caixotões e tetrápodos, não apresenta nenhuma particularidade e são trabalhos correntes da especialidade. A partir da análise da secção corrente consideraram-se os seguintes processos construtivos:

Por via marítima

- 1) - Colocação da base do prisma de enrocamento ToT por mar com o emprego de batelões até ser atingida a cota de fundação da infra-estrutura, a (-10,80 m)NM, sendo igualmente colocado o enrocamento da banquetta de protecção;
- 2) - Colocação dos caixotões do corpo do molhe, prefabricados e transportados em flutuação a partir do Porto do Caniçal;
- 3) - Colocação dos enrocamentos ToT no talude exterior e na cabeça até ao limite do calado do batelão;
- 4) - Colocação dos enrocamentos do Submanto (10 a 30 kN) na base do talude.

Por via terrestre

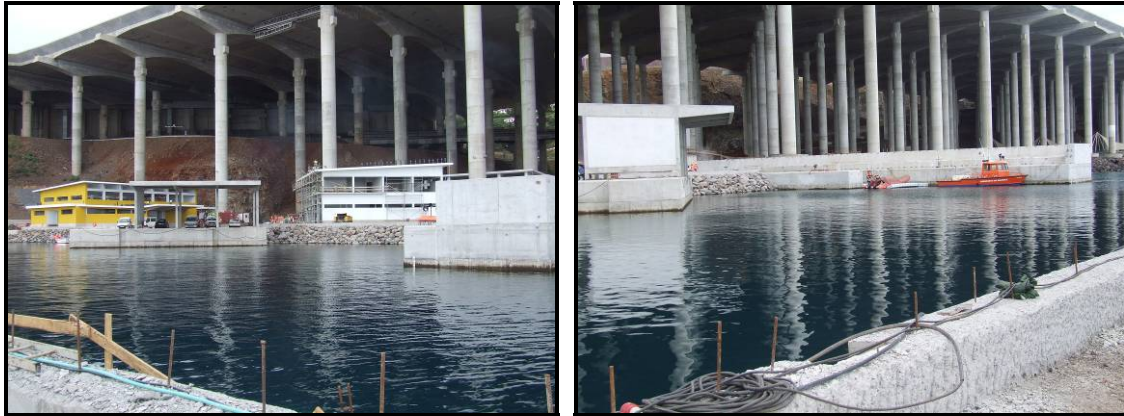
- 1) - Colocação das aduelas do troço do enraizamento a partir de aterro construtivo, seu enchimento e colocação dos enrocamentos ToT e do submanto completando o talude exterior;
- 2) - Avanço sobre o coroamento, à cota (+1,40m)NM no sentido da cabeça, dispondo da largura de 8m da aduela, ou 11m do caixotão, mais a berma do coroamento do enrocamento;
- 3) - Colocado a partir desta plataforma do manto de Tetrápodos até à cota do coroamento e do manto interior até se atingir a cabeça;
- 4) - Completagem do enrocamento previamente colocado na cabeça estendendo-o até ao coroamento, incluindo o submanto, avançando sobre ele até ao final, dispondo da largura de cerca de 8m;
- 5) - Colocação dos tetrápodos da cabeça no talude exterior e interior e na rotação da cabeça, completando o coroamento da frente para trás;
- 6) - Execução da betonagem da superestrutura, com início na cabeça e caminhando para o enraizamento, completando ao mesmo tempo o manto de tetrápodos no coroamento após a betonagem do muro cortina, à medida que vai recuando.



Fotos 6 a 8 – Pormenor da construção da cabeça do Molhe

Salienta-se que o avanço da colocação dos caixotões era acompanhado de perto pela colocação dos enrocamentos exteriores, de maneira a evitar a situação de exposição e reflexão que uma obra vertical sempre tem.

Os processos construtivos associados às restantes obras são também os correntes na especialidade, similares aos acima referidos.



Fotos 9 e 10 – Vistas do Cais de alagem e lançamento, Doca de Pórtico e Esporão

As principais quantidades envolvidas em obra foram as seguintes:

• Dragagens e escavações (enrocamentos do dique)	30 000 m <sup>3</sup>
• Detritos de pedra	13 600 m <sup>3</sup>
• Enrocamentos ToT	62 000 m <sup>3</sup>
• Enrocamentos seleccionados	14 400 m <sup>3</sup>
• Betões “in situ”	9 700 m <sup>3</sup>
• Betões pré-fabricados	25 300 m <sup>3</sup>
• Armaduras	740 t

No cômputo geral das obras marítimas, ao molhe e esporão de abrigo corresponde cerca de 75 e 7 % do custo total, respectivamente.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dados os requisitos de segurança exigidos pela categoria operacional do Aeroporto da Madeira, por força das manobras de aproximação e descolagem das aeronaves serem efectuadas sobre o oceano, foi projectado e construído o correspondente Posto de Socorros a Náufragos, com acesso viário a partir da via rápida regional e dotado dos meios adequados para o salvamento no mar.

O Posto inclui um Porto de Abrigo, implantado no canto sudoeste do aterro marítimo criado pela ampliação do Aeroporto e existente sob a estrutura do prolongamento da pista, no qual foi criada uma área molhada para a operação das embarcações de socorro e o desembarque de sinistrados.

As obras projectadas foram verificadas através de ensaios em modelo físico reduzido, no LNEC, estando em fase de exploração desde há cerca de 3 anos, evidenciando um bom comportamento. Esta obra, à semelhança de qualquer obra marítima exposta, deverá ser monitorizada através de um programa de observação sistemática.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradece-se à ANAM – Aeroportos e Navegação Aérea da Madeira, SA, a oportunidade de apresentar o trabalho desenvolvido.

## BIBLIOGRAFIA

Consulmar, Ivan Maia de Freitas, Segadães Tavares e Assoc., 1992, Projecto de Ampliação do Aeroporto do Funchal (1<sup>a</sup> Fase), Aterro Marítimo



## **6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009**

Consulmar, Ivan Maia de Freitas, Segadães Tavares e Assoc., 1998, Projecto de Ampliação do Aeroporto do Funchal (1<sup>a</sup> Fase), Comportamento do Dique de Protecção do Aterro Marítimo

H. Oumeraci, et all, 2001, PROVERBS - Probabilistic Design Tools for Vertical Breakwaters

Consulmar, 2003, Obras Marítimas do Posto de Socorros a Náufragos do Aeroporto da Madeira, Estudo Prévio

LNEC, 2003, Porto de Abrigo do Posto de Socorros a Náufragos do Aeroporto da Madeira, Ensaios em Modelo Reduzido

Consulmar, 2004, Empreitada de Construção do Posto de Socorros a Náufragos do Aeroporto da Madeira, Projecto Base

Consulmar, 2005, Obras Marítimas do Posto de Socorros a Náufragos do Aeroporto da Madeira, Projecto de Execução