



MOLHE EXTERIOR DO PORTO DO CANIÇAL CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO

Teresa Tito

Eng.ª Civil, WW Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, Lda

Cristina Afonso

Eng.ª Civil, WW Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, Lda

RESUMO

Descrevem-se neste trabalho os estudos realizados no âmbito do projecto do molhe exterior do Caniçal, e bem assim os aspectos relevantes para a sua concepção e dimensionamento.

Desenvolveu-se um projecto inicial do molhe cujo objectivo foi o de criar condições de abrigo e de operacionalidade para as instalações do porto do Caniçal, inicialmente vocacionado para a movimentação de contentores e para a pesca.

No decurso da empreitada da primeira fase do molhe ocorreu um acidente que alterou de forma significativa parte das condições naturais de base do projecto, o que inviabilizou a manutenção da solução construtiva prevista.

Houve então que proceder à reformulação do projecto, para o que foram realizados estudos de base complementares. A nova solução proposta teve em conta, para além dos dados de base recolhidos, a decisão entretanto tomada pelas entidades governamentais de transferir para o Caniçal toda a actividade comercial desenvolvida no porto do Funchal.

1 – INTRODUÇÃO

O porto do Caniçal, situado na costa sueste da Ilha da Madeira junto à povoação com o mesmo nome, ocupará, após a construção do molhe de protecção, uma área total da ordem de 19 ha, correspondendo 9 ha a infraestruturas terrestres e os restantes 10 ha à bacia portuária. Actualmente o porto compreende:

- Terminal marítimo da Zona Franca, localizado na zona central, com uma frente acostável de 235 m e fundos de -8 m(ZH) e um terraplano de 24,6 ha;
- Área dedicada à actividade da pesca, localizada na zona poente, dispendo de um cais de descarga com 85 m de extensão, e de um terraplano de apoio onde se localizam a lota e armazéns;
- Cais com 175 m de extensão localizado junto à zona da pesca, onde actualmente se faz a descarga de contentores, podendo vir a tornar-se num cais de aprestos;
- Estaleiro naval, a nascente, com uma área de 29 ha dispendo de um elevador de navios (*Syncrolift*);
- Infraestruturas de apoio à alagem de embarcações, nomeadamente uma rampa varadouro e um caminho de rolamento para um pórtico (*travelift*) com capacidade de 300 tf, localizados junto do núcleo de pesca;
- Áreas destinadas a expansão futura, quer dos terraplenos do terminal marítimo, quer da sua frente acostável.

Com uma frente marítima de cerca de 600 m, o porto tem funcionado em condições de mar aberto, o que traz constrangimentos à operação portuária quando a agitação provém dos rumos SW a E por S. Por este facto, o terminal marítimo da Zona Franca nunca teve a taxa de ocupação que seria desejável, já que as dificuldades se fazem sentir tanto ao nível da acostagem e desacostagem, como da movimentação da carga.

Presentemente está em construção o molhe exterior de protecção que proporcionará as condições de abrigo necessárias à funcionalidade dos terminais portuários existentes e futuros, e bem assim dará suporte, no lado interior, a um terminal de granéis.

A conclusão do molhe associada à ampliação da frente acostável e dos terraplenos de apoio, prevista para finais de 2004, vai permitir a transferência da actividade comercial do porto do Funchal para o do Caniçal, ficando aquele dedicado ao turismo de cruzeiro e actividades de recreio e lazer mais ligadas à cidade.



Figura 1 – Planta geral do porto

O estudo do molhe teve início em 1996 tendo, no seu âmbito, sido realizadas campanhas de prospecção geológico-geotécnica, modelação matemática da agitação marítima e ensaios em modelo reduzido, estes últimos executados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Por questões relacionadas com financiamentos, o projecto do molhe foi elaborado prevendo a sua construção em três fases. Em termos de concretização da obra, estas fases traduzem-se em três empreitadas distintas, encontrando-se duas delas a decorrer em simultâneo e a última em concurso.

No início da construção da primeira fase da obra, e na sequência do temporal que atingiu a costa sul da Madeira nos dias 4 e 5 de Janeiro de 1999, ocorreu um acidente com danos graves nos trabalhos já realizados, que levou à reformulação do projecto, nomeadamente da sua configuração em planta. Esta adaptação exigiu a realização de estudos de agitação complementares, bem como de novas campanhas de prospecção geológico-geotécnica.

2 – O PROJECTO INICIAL

2.1 – Elementos de base

2.1.1 - Condições de agitação

A agitação marítima na zona do porto do Caniçal faz-se sentir quando a agitação ao largo provém dos rumos SW a E por sul e, embora com muito menor intensidade, do rumo NW por efeito de difracção em torno da ponta de S. Lourenço.

Os primeiros estudos do porto do Caniçal, nomeadamente o seu arranjo geral, foram realizados numa fase em que se estava a iniciar a recolha de dados sobre a agitação marítima na costa sul da Madeira, com a instalação de um ondógrafo ao largo do Funchal. Até se dispor desses dados, a informação existente apontava para a predominância clara da agitação proveniente de sudoeste e de sul em toda a costa sul da ilha. Nestas condições, a entrada do porto deveria ficar orientada para leste como aliás sucede com o porto do Funchal. Os dados recolhidos e a experiência do Caniçal mostram que não é essa a realidade, dado que o rumo sueste é claramente o dominante, muito embora os maiores temporais tenham normalmente rumos sul e sudoeste.

Para o projecto de execução propriamente dito, o regime de agitação no local da obra foi já avaliado a partir do regime de agitação ao largo, definido com base nos dados da bóia ondógrafo do Funchal. Tomaram-se os rumos SW, S e SE por serem os que atingem com algum significado a zona em estudo. Aos dois primeiros rumos correspondem as maiores alturas de onda significativa correspondendo-lhes uma ocorrência de 27%. O rumo SE, embora com alturas significativas um pouco inferiores, apresenta uma taxa de ocorrência de 50,9 %. O rumo E tem pouco significado.

Os valores extremos do regime de agitação, que serviram de base ao projecto, correspondem a um período de retorno de 50 anos.

A transposição da agitação ao largo para a zona da obra foi efectuada pelo método clássico através do cálculo dos coeficientes de refração, mediante o traçado de planos de refração, e de empolamento para os diversos rumos.

Os resultados retidos do estudo do regime de agitação e que constituem as condições de projecto são os que se apresentam no Quadro 1

Quadro 1
Condições de projecto seleccionadas

Direcção local	Período (s)	Hs (m)	Direcção ao largo
> 170 °	8	5,7	SW
	12	6,4	SW
	16	—	—
< 170 °	8	3,7	SE
	12	5,1	S
	16	4,5	S

2.1.2 - Morfologia dos fundos

O porto do Caniçal foi implantado numa zona da costa relativamente recortada, tendo vindo a desenvolver-se numa área com fundos variando entre 0 m(ZH) e -9 m(ZH).



Levantamento hidrográfico realizado pelo IH em Nov.-Dez. 1999

Figura 2 – Morfologia dos fundos

Junto às infraestruturas portuárias existentes as batimétricas apresentam um alinhamento sensivelmente paralelo à frente acostável do terminal marítimo (W25°S-E25°N), sendo o declive médio dos fundos inferior a 10%.

Entre as cotas -15 m(ZH) e, aproximadamente, -35 m(ZH) verifica-se uma obliquidade das batimétricas, relativamente às zonas de cotas superiores, associada ao aumento acentuado do declive dos fundos, dando origem a um talude natural com inclinação da ordem de 40%.

Este talude, com orientação W43°S-N43°E, desenvolve-se desde, sensivelmente, o limite nascente do estaleiro naval até cerca de 500 m para SW, deixando de se verificar a sul do actual cais de contentores.

Abaixo da cota -35 m(ZH) as batimétricas mantêm-se aproximadamente paralelas, com declives que não ultrapassam os 5%.

2.1.3 - Condições geológicas e geotécnicas

Para o projecto do molhe foi mandado executar, pelo Dono da Obra, à empresa TREVI, um programa de prospecção mecânica acompanhada da realização de ensaios *in situ*, tendo em vista a caracterização quanto à composição, espessura e compacidade das formações aluvionares marinhas, bem como a determinação da posição do firme rochoso na área de implantação da primeira fase da obra.

Realizaram-se 15 sondagens de furação à percussão segundo o alinhamento previsto para o molhe. A profundidade atingida pelas sondagens foi condicionada pela ocorrência das formações rochosas *in situ*, ou seja as sondagens terminavam após tocar no fundo rochoso, com confirmação através dos resultados nos ensaios SPT.

Os resultados desta campanha concluíram que os fundos apresentavam:

- formações sedimentares arenosas constituídas por areias finas a médias, com espessura variando entre 3 m na extremidade nascente e 10 m a poente.
- camada de argila lodosa acinzentada, com cerca de 3 m de espessura, sobrejacente às areias, apenas na zona da extremidade poente da obra
- formações do Complexo Vulcânico Mio-Pliocénico, constituídas essencialmente por materiais piroclásticos com intercalações de basaltos alcalinos, subjacentes às areias, a partir de cotas variáveis desde -25 m(ZH) (a nascente) a -35 m(ZH) (a poente).

Já durante a execução da empreitada veio a detectar-se, em toda a extensão, uma camada de material silto argiloso sobrejacente às formações arenosas, com espessura variável chegando a atingir 10 m, a qual não tinha sido identificada na campanha de prospecção realizada.

2.2 - Concepção e dimensionamento

A concepção do molhe, quer no respeito à configuração em planta, quer relativamente à solução estrutural, foi condicionada por quatro aspectos importantes: a morfologia dos fundos, o regime de agitação marítima local, a intenção de instalar, futuramente, um terminal de granéis no seu lado interior e a necessidade de faseamento da empreitada. Destes, foi o primeiro o que mais pesou no desenvolvimento da solução preconizada, nomeadamente no que respeita à directriz e solução estrutural.

O declive acentuado dos fundos na área interessada à implantação do molhe levou a que, por um lado este se posicionasse para terra da zona mais declivosa, sem comprometer as áreas e os tirantes de água mínimos exigidos à bacia portuária. Por outro lado houve que evitar um

paramento exterior em talude, pois caso contrário este sobrepor-se-ia ao talude submerso, atingindo na base profundidades demasiado elevadas. Os ganhos em área de bacia portuária não compensavam o acréscimo de custos decorrente das maiores profundidades de fundação.

Este facto associado à condição de se ter uma frente acostável do lado interior do molhe levou a que se optasse por uma solução estrutural de paramento vertical de ambos os lados.

O faseamento da obra teve influência na concepção da solução estrutural, mais propriamente no que respeita ao processo construtivo.

O regime de agitação local, para além do dimensionamento da estrutura, veio condicionar a orientação da entrada no porto.

A verificação preliminar da estabilidade da obra em serviço foi efectuada tendo como principal acção instabilizante a onda de projecto. Posteriormente foram realizados ensaios em modelo reduzido que permitiram aferir com maior rigor o comportamento da obra.

A solução estrutural compreende a aplicação de caixotões de betão armado, pré-fabricados, os quais pela sua rapidez de execução, robustez, estabilidade face às acções de cálculo e facilidade de modulação se apresentaram como a melhor alternativa.

2.3 – Configuração em planta e perfil tipo

Em planta o molhe compõe-se de dois troços rectilíneos com o comprimento total de, aproximadamente, 525 m. Um destes troços com extensão de 415 m e orientação W40°S-E40°N, fica implantado sob fundos que variam entre -14 m(ZH) a nascente e -26 m(ZH) a poente. O segundo troço, perpendicular a este e com extensão de 110 m vai ligar à extremidade do cais onde se faz actualmente a movimentação de contentores, fechando a bacia portuária por SW - Figura 3.

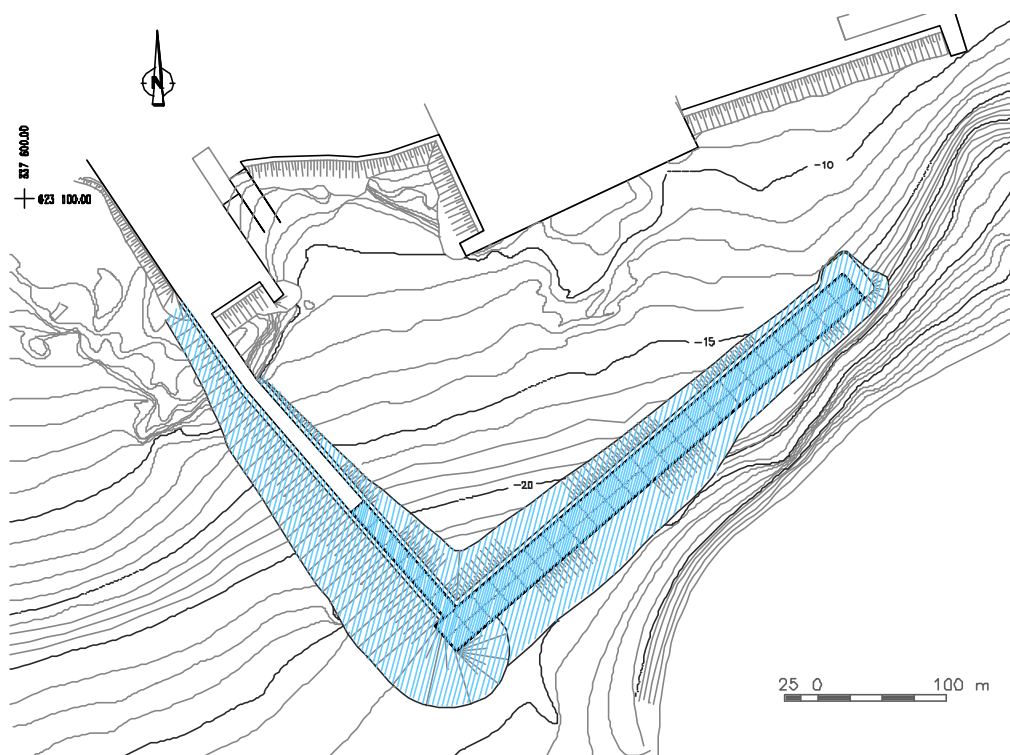


Figura 3 – Molhe exterior. Solução inicial. Configuração em planta

O perfil transversal no trecho principal compreende dois caixotões justapostos, colocados sobre uma cama de enrocamento TOT, regularizada superficialmente com rachão, executada após a dragagem da camada superficial de areia e, na zona da extremidade nascente, a dragagem integral de uma bolsa de material silto-argiloso detectada nas sondagens.

Os caixotões, com as dimensões de 18,1 m (comprimento) x 12 m (largura) x 18,5 ou 17,5 m (altura), são fundados à cota $-15,5$ m (ZH), sendo a sua estabilidade garantida pelo peso do enchimento dos alvéolos com TOT ou betão pobre e de uma superstrutura de betão in situ.

A superstrutura cuja plataforma termina à cota $+6,0$ m (ZH) é dotada de um muro cortina com coroamento a $+10$ m (ZH). Exteriormente ao muro cortina é criada uma superfície em degraus tendo em vista a dissipação da energia das ondas incidentes.

O prisma de TOT é protegido por enrocamento de 1 a 3 tf, tanto do lado interior como do lado exterior.

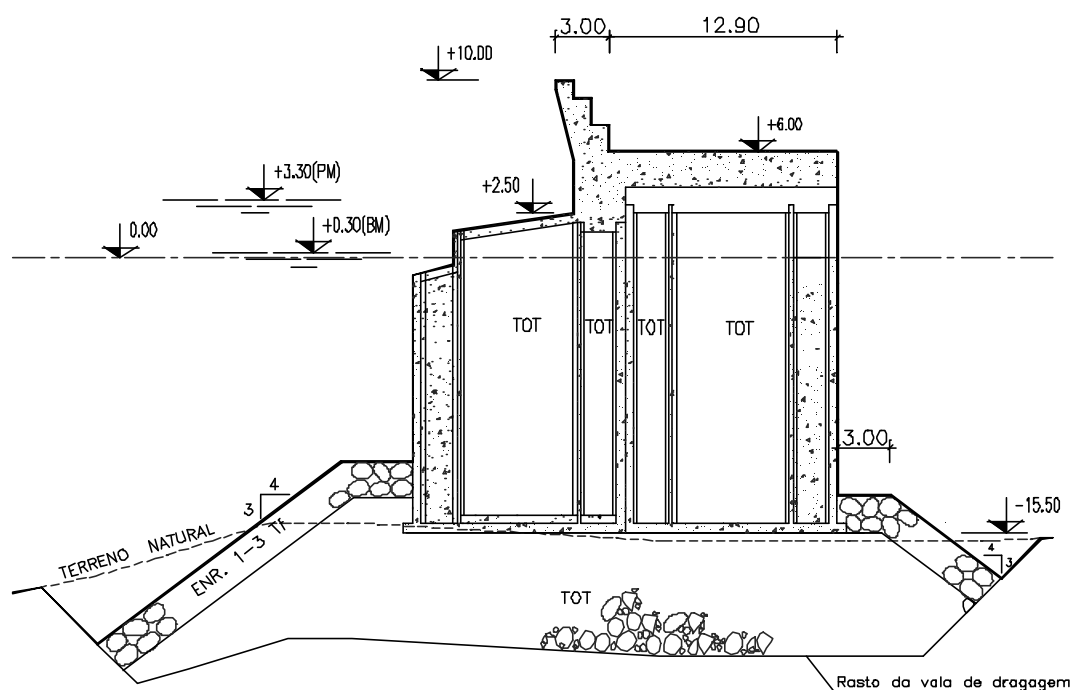


Figura 4 – Troço principal do molhe. Perfil transversal

No trecho SW prevê-se a colocação de uma única fiada de caixotões e a sua eventual protecção exterior, em talude, com um manto de blocos cúbicos antifer assentes sobre um prisma de enrocamentos – Figura 3.

2.4 – Faseamento da obra

A obra foi prevista para ser executada em duas fases – Figura 5. A primeira fase corresponde à aplicação de uma fiada de caixotões no lado interior do trecho nascente do molhe, numa extensão de 325,8 m. Os caixotões são rematados superiormente por um superstrutura de betão com coroamento à cota $+4,0$ m (ZH), dando origem a uma estrutura galgável, destacada. A base do enrocamento de fundação fica desde já com a largura suficiente para permitir, posteriormente, a colocação da segunda fiada de caixotões.

Esta estrutura proporciona o abrigo da zona do terminal marítimo onde se faz a descarga de granéis relativamente aos rumos de S e SE, que são os mais persistentes. A zona dedicada à pesca e à alagem de embarcações fica com um elevado grau de abrigo para todos os rumos.

A segunda fase corresponde à conclusão da obra.

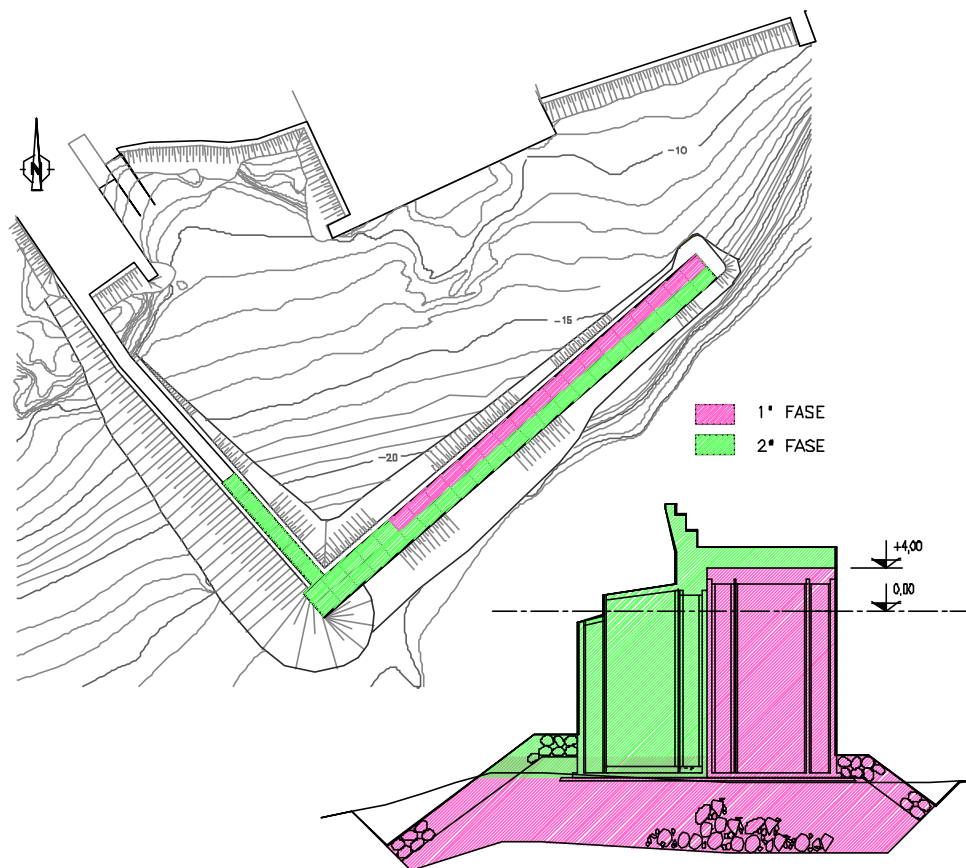


Figura 5 – Faseamento da Obra. Planta e Perfis Tipo

2.5 – Ensaios em modelo físico

Com o objectivo de observar o comportamento global da estrutura em termos de estabilidade e face aos galgamentos, realizaram-se no LNEC ensaios tridimensionais em tanque de ondas irregulares com um modelo reduzido.

Foi ensaiado um troço de 100 m correspondente à extremidade da obra, quer para o perfil transversal completo, quer para o perfil transversal relativo à primeira fase.

Reproduziram-se estados de agitação local com rumos de 150° e 190° , níveis de maré de preia-mar e de baixa-mar e períodos de pico de 12 e 16 s. Para cada período os ensaios foram repetidos com valores de altura de onda de $H_s = 4$ a 7 m na primeira situação e de $H_s = 2$ a 7 m na segunda situação. Nos ensaios relativamente aos quais não se observaram danos significativos, a estrutura foi sujeita a ondas superiores a 7 m até ser registado o seu colapso parcial ou total. No primeiro caso foram ainda efectuadas duas séries de ensaios, uma com a superestrutura solidária à face superior dos caixotões da fiada interior e uma segunda com a superestrutura completamente solta.

Os resultados dos ensaios foram relativamente satisfatórios, não tendo conduzido a qualquer alteração da solução estrutural inicialmente prevista.

3 – O EPISÓDIO DE JANEIRO DE 1999

A empreitada de construção da primeira fase do molhe teve início em 1998, encontrando-se, no início de Janeiro de 1999, os quatro caixotões da extremidade nascente já devidamente colocados. Estava também concluída a cama de TOT para os restantes.

Os caixotões encontravam-se parcialmente preenchidos com TOT. Após o seu fundeamento, que se verificou entre os dias 30 de Setembro e 4 de Dezembro de 1998, a sua posição foi controlada regularmente tendo-se verificado alguns assentamentos de amplitude superior ao que seria de esperar. Estas amplitudes, que em finais de Dezembro de 1998 eram da ordem de 20 cm por metro de espessura do enrocamento de fundação, excediam claramente as verificadas em outras estruturas semelhantes com condições de fundação teoricamente idênticas, nomeadamente no porto do Caniçal.

Na noite de 4 para 5 de Janeiro de 1999 e na sequência do temporal que atingiu a costa sul da Madeira, no qual se registaram ventos de sudoeste muito fortes com rajadas que atingiram os 110 km/h e ondas com a altura máxima de 6,87 m, ocorreu um acidente na obra tendo os quatro caixotões já colocados sofrido deslocamentos significativos.

Após o temporal, o empreiteiro procedeu a diversas inspecções tendo verificado que dois dos caixotões se encontravam em fundos situados abaixo da cota -40 m(ZH) a uma distância igual ou superior a 90 m da sua posição original e um dos caixotões estava a cerca de 10 m da sua posição inicial, em fundos de -20 a -25 m(ZH). Para além da movimentação os caixotões não apresentavam danos visíveis, mantinham-se em posição quase vertical e apresentavam no interior um volume de TOT equivalente ao inicial. Os fundos entre as posições original e final apresentavam uma descida de cotas, aparentemente causada pelo movimento de uma cunha de terreno, no sentido das menores para as maiores profundidades.

Das causas prováveis preliminarmente analisadas, nomeadamente excedência das acções de projecto, erosão dos fundos em torno dos caixotões, embate de qualquer objecto e rotura do terreno de fundação, constatou-se que foi esta última a que esteve na origem do acidente ocorrido.

Os dados recolhidos posteriormente mostraram que se deu uma rotura de fundação provocada pela existência de uma camada de material de muito baixa capacidade de carga sob a cama de fundação que não foi detectada ou foi subavaliada, quer nas anteriores campanhas de prospecção, quer em obra.

4 – A REFORMULAÇÃO DO PROJECTO

4.1 – Situação após o acidente

O porto do Caniçal estava inicialmente vocacionado para a operação de contentores e para actividade da pesca, dispondo de duas áreas principais, cada uma delas especializada nestes tipos de carga.

Entretanto as autoridades da Região Autónoma da Madeira decidiram deslocar para o Caniçal toda a actividade comercial feita no porto do Funchal. Esta decisão, associada ao desenvolvimento da Zona Franca, implicava a necessidade de dispor de áreas vocacionadas para granéis sólidos (cereais e cimentos), líquidos, para além de áreas para a operação de navios de contentores do tipo clássico ou Ro-Ro. Até então este aspecto nunca tinha sido equacionado em termos de definição de áreas.

Entretanto, o acidente deu origem a uma alteração da configuração dos fundos que inviabilizou economicamente a manutenção, quer do alinhamento quer do perfil construtivo inicialmente previstos para o molhe.

A nova campanha de sondagens efectuada após o acidente veio demonstrar a existência, na zona interessada pelo molhe, de uma camada superficial de espessura variável entre 6 e 10 m de material silto-argiloso com SPTs praticamente nulos. Subjacentes a este material foram encontradas camadas de areia e/ou areia silto-argilosa com possanças entre 0 e 14 m, com STPs médios. Sob estas areias foi identificado o tecto do substracto rochoso, de natureza basáltica.

O andamento da batimetria na zona do acidente evidenciava a existência de uma cunha de deslizamento do terreno, com acumulação do material próximo da batimétrica -40 m(ZH) onde também se encontravam os caixotões acidentados. Este material apresentava-se muito remexido e, portanto, com uma capacidade de carga muito duvidosa.

A execução de qualquer solução implicava a remoção de todo o material silto-argiloso, e eventualmente, de parte da camada arenosa. A manutenção do alinhamento inicial obrigaria, na zona remexida, ou a uma solução estrutural complexa ou a volumosos trabalhos de dragagem e conseqüentemente de preenchimento do volume dragado com enrocamentos.

A camada de fundação de TOT já colocada no restante troço do molhe deveria também ser removida já que, a fazer fé nas últimas sondagens, esta se encontrava sobre uma camada de material lodoso de espessura significativa, sendo elevado o risco de voltar a repetir-se o acidente.

4.2 – Nova solução

4.2.1 - Considerações prévias

A inviabilidade de manter a solução que estava projectada levou a que se estudassem alternativas que permitissem aproveitar ao máximo os trabalhos já desenvolvidos, quer a nível do projecto, quer principalmente em relação à empreitada, e que tivessem em conta o recente plano para o desenvolvimento do porto.

Foi, assim, estudada a possibilidade de deslocar a extremidade nascente do molhe no sentido de terra, tirando partido de uma zona ainda “intacta” nos fundos. Esta hipótese conduzia a uma diminuição inaceitável na largura da entrada no porto, pelo que só seria viável se esta entrada fosse deslocada de nascente para poente, servindo o actual cais de contentores de contra-molhe.

Definida uma nova solução contemplando, quer a translação do alinhamento do molhe para terra, quer a abertura orientada a sudoeste, procedeu-se ao estudo, em modelo matemático, das condições de abrigo no interior da bacia para os rumos mais desfavoráveis, partindo da agitação ao largo.

Os resultados obtidos recomendaram que o molhe agora previsto fosse prolongado ligeiramente no sentido do oeste, por forma a aumentar o grau de abrigo conferido, sem pôr em causa as condições de acesso ou saída de navios.

4.2.2 - Configuração em planta e perfis tipo

A configuração em planta do molhe, após a reformulação, e que se encontra em construção é a que se apresenta na Figura 6.

Esta solução trouxe algumas vantagens para o porto relativamente à solução inicial; para além de permitir a transferência de todas as actividades comerciais actualmente existentes no porto do Funchal, possibilita ainda a expansão portuária futura para oeste, qualquer que seja o comprimento dessa expansão.

O molhe com o comprimento total da ordem de 710 m compreende um trecho principal, com cerca de 550 m de extensão, de estrutura vertical, ligado a terra, a nascente, através de um trecho curvo, em talude, com 160 m de extensão.

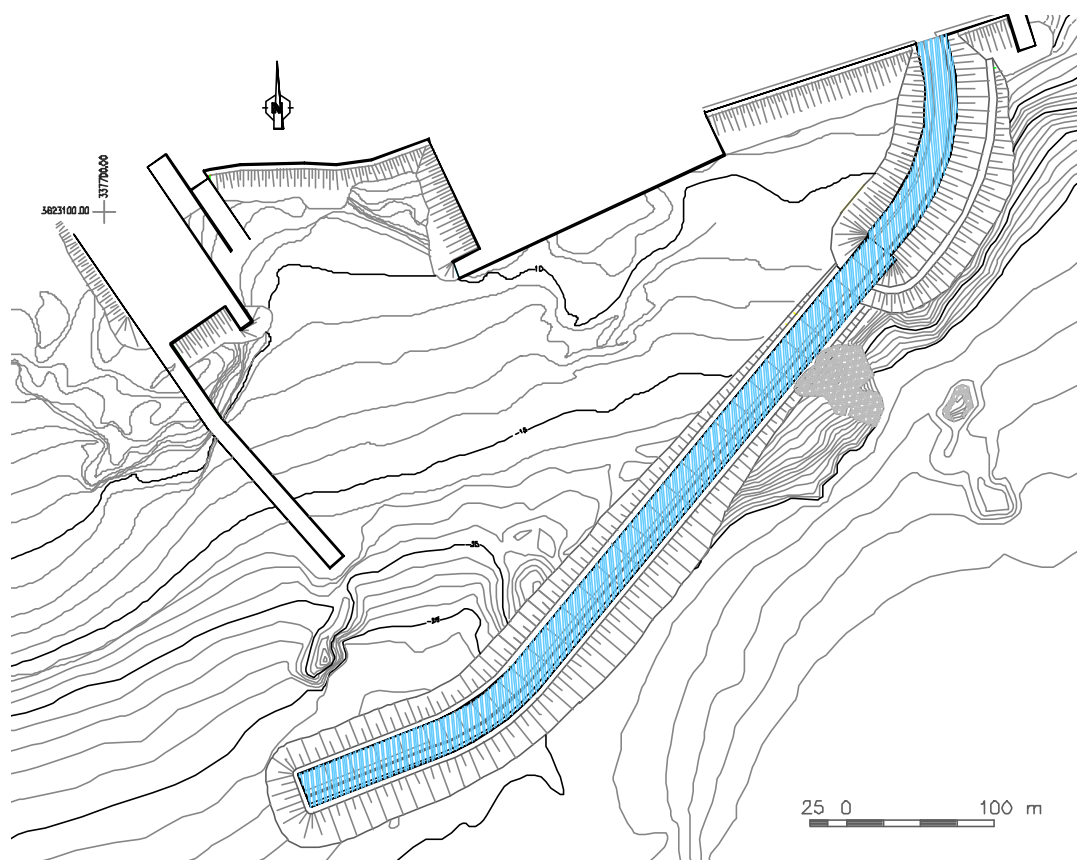


Figura 6 – Molhe exterior. Solução final. Planta

Esta solução será executada em três fases – Figura 7. A primeira corresponde à primeira fase da solução inicial, a menos da translação que foi introduzida no alinhamento do molhe. A segunda corresponde ao trecho de enraizamento, em talude, e a última à conclusão do molhe.

O perfil transversal do trecho principal é idêntico ao previsto na solução inicial embora atingindo maiores profundidades, já que será efectuada a dragagem integral da camada de material lodoso existente na fundação.

De referir que para a terceira fase da obra está em curso uma campanha de prospecção sísmica que poderá vir a ser complementada, caso seja necessário, por prospecção mecânica acompanhada de ensaios *in situ*. A experiência decorrente das empreitadas em curso aponta para que na área correspondente à 3ª fase os fundos apresentem um revestimento superficial de material silto-argiloso com espessura de 6 a 7 m, a remover.

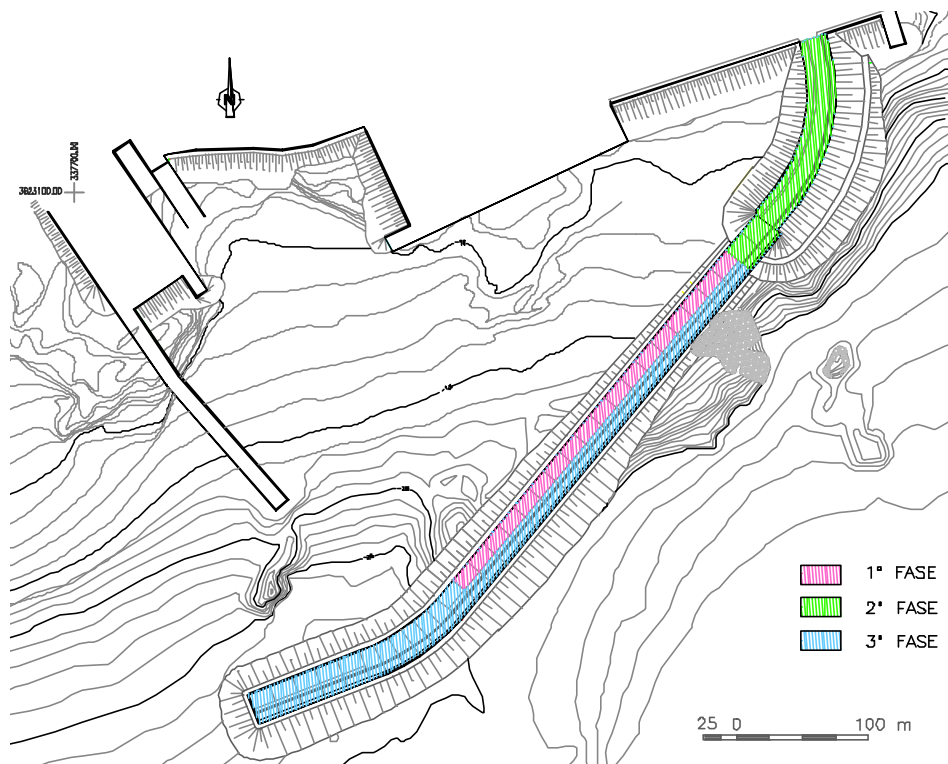


Figura 7 - Faseamento da obra

O troço de enraizamento, em talude, compreende em perfil transversal um núcleo de enrocamentos protegido por um manto de blocos cúbicos Antifer de 20 tf, no talude exterior, e de 7 tf, no talude interior. Superiormente é rematado por uma superestrutura de betão dotada de muro cortina com coroamento à cota +10 m(ZH) - Figura 8

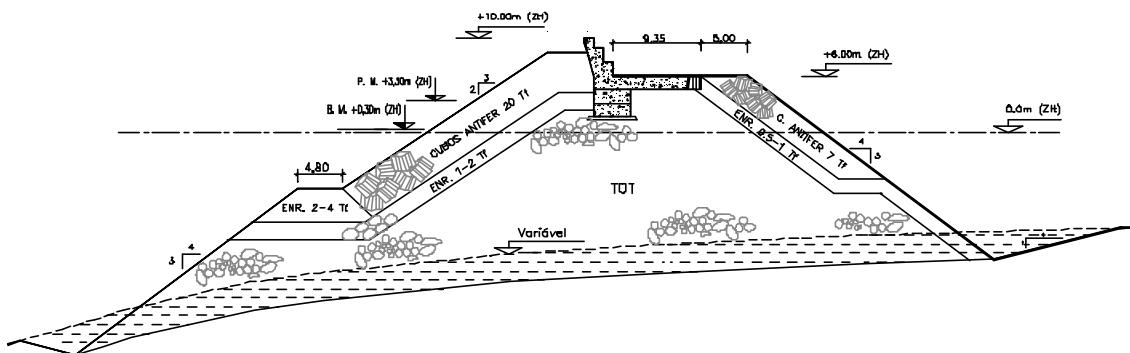


Figura 8 – Troço em talude. Perfil transversal

4.2.3 – Condições de operacionalidade do porto

O alinhamento escolhido para a obra de abrigo dá garantia de que a agitação que entra directamente no porto será diminuta. Houve no entanto algum receio de que a grande superfície de paramentos verticais no contorno da bacia pudesse colocar alguns problemas localizados devido a reflexões.

Estudos em modelo matemático, entretanto realizados, concluíram que a agitação no interior da bacia não é significativa, podendo verificar-se situações desfavoráveis em zonas muito localizadas dos cais acostáveis, com ocorrência muito pouco frequente.

5 - CONCLUSÕES

Os estudos realizados no âmbito do projecto do molhe do Caniçal, que aqui se descrevem sumariamente, são um forte exemplo da importância assumida pelos dados e elementos de base para um projecto de obras marítimas, por forma a que se atinjam as soluções mais adequadas.

De facto estes dados de base são muitas vezes descurados, pouco fiáveis ou mesmo inexistentes, comprometendo dessa forma as soluções projectadas e, mais propriamente, a sua concretização em obra.

No presente caso, foi possível contornar as adversidades que surgiram na empreitada, tirando até partido da situação para introduzir substanciais melhoramentos no projecto inicial, sem acréscimo significativo do custo global da obra.

De salientar que, no que respeita à configuração em planta, a solução final é precisamente o oposto da inicial; para este facto contribui decisivamente o conhecimento mais detalhado do regime de agitação na costa sul da Ilha da Madeira que não existia no início dos estudos.