



QUEBRA-MAR PRINCIPAL DO PORTO NADOR WEST MED

Hugo Leite¹; Najat Chaouq²

¹MSW, Estudos e Projetos de Obras Marítimas, Lda; WW Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, SA; ²Nador West Med, SA

hleite@msw-consultores.pt; n.chaouq@nadorwestmed.ma

1. Introdução

No âmbito da política que estabeleceu para o desenvolvimento das suas regiões, o Governo do Reino de Marrocos decidiu construir uma nova plataforma industrial e portuária na sua costa mediterrânea oriental, a qual designou de Nador West Med (NWM).

O projeto NWM localiza-se na zona estratégica da baía de Betoja, situada na fachada oeste do cabo *des Trois Fourches*, a menos de 250 milhas do Estreito de Gibraltar e a 25km da cidade de Nador. Trata-se de num local privilegiado pela sua proximidade às principais rotas marítimas este-oeste do tráfego de contentores e do transporte de produtos petrolíferos. O projeto compreende a construção de um porto de águas profundas e uma extensa plataforma logística e industrial a construir nas imediações do porto. A empresa pública Nador West Med, S.A. (NWMSA) foi criada com o objetivo de promover os estudos de base, o projeto e a construção do empreendimento, bem como de assegurar a sua futura gestão. Em novembro de 2016 a NWMSA contratou a WW, Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, SA, para a prestação de serviços de revisão dos projetos de execução de todas obras marítimas e portuárias e para a assistência técnica à equipa da NWMSA no decurso dos trabalhos de construção do porto.

A empreitada relativa à primeira fase de construção do porto encontra-se concluída. Encontra-se em curso a 2^a fase de construção, que implica a ampliação do cais e dos terraços do Terminal de Contentores Oeste em 880m.

A presente comunicação centrar-se-á em aspetos relacionados com o projeto e com a construção do quebra-mar principal do porto. Será dado ênfase ao processo de produção dos caixotões em eira de pré-fabricação, e aos procedimentos de transporte e de colocação na posição final. Serão ainda abordados os aspetos relacionados com o tratamento do solo de fundação do quebra-mar principal. Uma parte significativa do quebra-mar principal foi construída numa zona caracterizada por solos de fraca qualidade, nomeadamente lodos pouco consistentes com espessuras que atingem os 15 metros. Estas condições geotécnicas exigiram a implementação de técnicas de melhoramento do solo, que consistiram na substituição do solo existente por areia de praia proveniente dos trabalhos de dragagem da bacia portuária. A areia de substituição foi posteriormente melhorada através de vibrocompactação.

Serão ainda abordados aspetos relevantes no dimensionamento do quebra-mar principal, desde a modelação física até à verificação do comportamento em situações de serviço e em situações sísmicas.

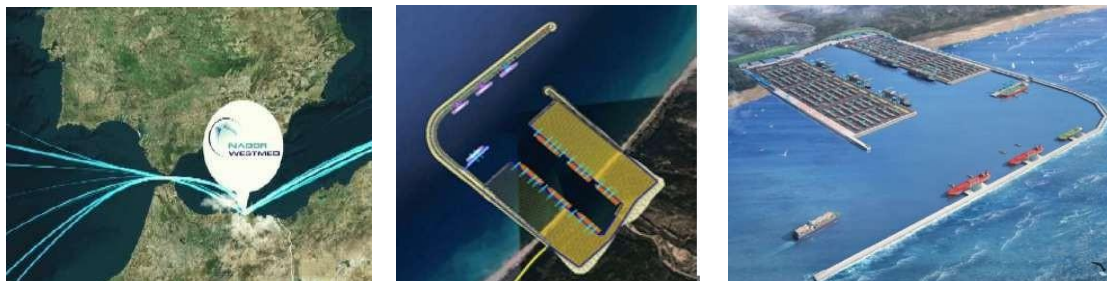


Figura 1 – Localização (esquerda), planta geral (centro) e vista (direita) do porto NWM.

2. Quebra-mar principal

O quebra-mar principal tem 4233 m de comprimento. É composto por um troço em talude de enrocamento com proteção em blocos pré-fabricados do tipo *Accropode* (com 4, 6,3 e 10 m³), com 1500 m de extensão atingindo profundidades de -22,00 m (ZH), e por um troço final com 2733 m de extensão, construído com caixotões pré-fabricados em betão armado, em profundidades variando entre -22,00m (ZH) e -35,00 m (ZH). O coroamento do quebra-mar localiza-se à cota +6,50m (ZH) no troço em talude, e à cota +4,50 m (ZH) no troço em caixotões.

Para a avaliação da eficiência do tratamento da areia de substituição foi implementado um plano de controlo de qualidade que previa a execução de ensaios de penetração estática com leitura de pressões intersticiais do tipo *Cone Penetration Test* (CPTu), em áreas de controlo com 30x30 m². Os ensaios CPTu eram realizados utilizando um equipamento especial que operava debaixo de água, apoiado diretamente sobre o fundo. Os ensaios CPTu eram realizados antes e depois dos trabalhos de vibroflutuação, sendo os resultados obtidos estudados aplicando um critério de aprovação estabelecido de forma a assegurar que a areia de substituição adquiria, após o tratamento, a densidade relativa requerida para assegurar o bom comportamento da estrutura.

A vala de dragagem e substituição por areia de praia tinha até 175 m de largura e até 15,20 m de profundidade. O volume total de dragagem de material mole por areia de praia foi de, aproximadamente, 8.450.000 m³.

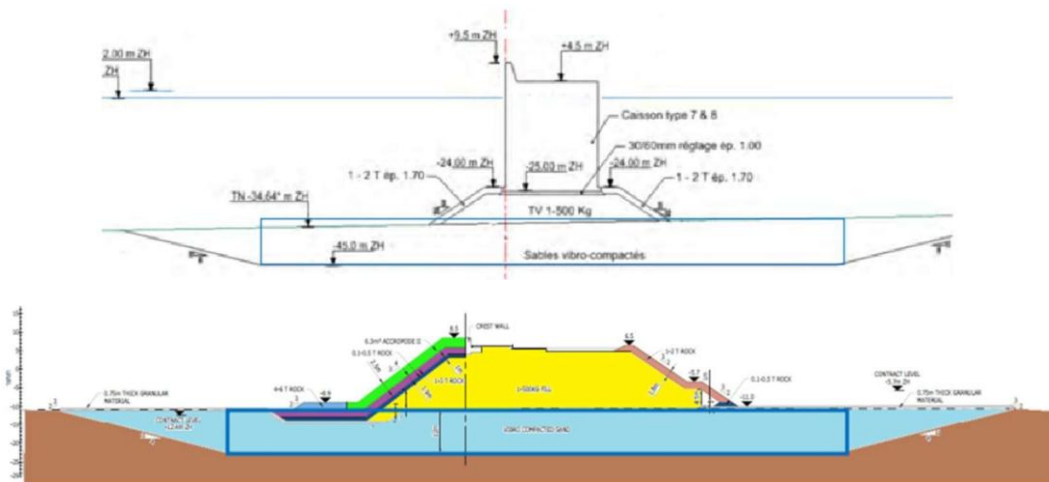


Figura 4 – Perfis transversais típicos do quebra-mar. Marcação da vala de dragagem do terreno natural e de substituição por areia de praia vibrocompactada. Troço em caixotões (em cima). Troço em quebra-mar de taludes (em baixo).



Figura 5 – Equipamento de dragagem (cima), equipamento de vibrocompactação (em baixo esquerda) e equipamento para a execução de ensaios CPTu.

c) Verificação da segurança das estruturas do quebra-mar principal

A verificação da segurança das estruturas do quebra-mar principal foi realizada considerando todos os estados limites últimos relevantes. O dimensionamento das estruturas foi efetuado de forma a assegurar, também, o bom comportamento em situações de serviço.

O dimensionamento do ponto de vista hidráulico de ambos os troços do quebra-mar foi efetuado



com recurso a modelação física tridimensional. Foram realizados diferentes modelos tridimensionais representando locais representativos dos locais mais importantes desta obra de abrigo. Foram realizados ensaios de estabilidade, ensaios de galgamentos e medições de pressões em caixotões e muros-cortina.

O dimensionamento do ponto de vista estrutural e geotécnico foi efetuado recorrendo às formulações e métodos correntemente utilizados e recorrendo, em grande parte dos casos, a modelos de cálculo construídos em elementos finitos.

d) Comportamento das estruturas do quebra-mar principal em situações de projeto sísmicas

Encontrando-se a zona de intervenção num local caracterizado por uma atividade sísmica importante, houve que avaliar em detalhe o comportamento das estruturas em situações de projeto sísmicas. No Caderno de Encargos estabelecido pela NWM foram estabelecidos três níveis de ação sísmica, com diferentes níveis de importância, associados a diferentes períodos de retorno. Foi igualmente estabelecido um critério de danos a respeitar no dimensionamento de cada estrutura, o qual estabelecia o nível de danos aceitável em função da importância da ação sísmica. No sentido de responder ao exigido no Caderno de Encargos, foi implementada a metodologia *Performance Based Design*. A avaliação do comportamento das estruturas do quebra-mar foi efetuada com recurso a análises dinâmicas realizadas no domínio do tempo. Utilizando acelerogramas gerados especificamente para o local, e recorrendo a modelos de cálculo especificamente desenvolvidos e a calibrados para o efeito, foi possível analisar a resposta das estruturas em termos de deformações e de esforços nos elementos estruturais em situações sísmicas. A resposta das estruturas foi então avaliada tendo em conta o critério de danos estabelecido para os diferentes níveis de ação sísmica.

4. Construção, transporte e assentamento dos caixotões

Os caixotões foram construídos em terra, totalmente a seco, numa plataforma criada para o efeito no extremo sul da bacia do porto. A plataforma de pré-fabricação continha diferentes zonas destinadas a diferentes fases de produção dos caixotões. Do lado de terra estava localizada a área de pré-fabricação da laje de fundo. De seguida, e no sentido do mar, estava localizada uma área coberta destinada à construção do corpo dos caixotões, recorrendo a um sistema de deslize contínuo da cofragem. Seguiam-se duas áreas destinadas à cura dos caixotões e à preparação para o embarque numa doca flutuante autopropulsionada, que acostava e pousava no fundo do cais criado para o efeito.

Os caixotões foram sempre movimentados, entre posições, por um numeroso conjunto de carros de rolamento equilibrados por um sistema de macacos hidráulicos sincronizados. O embarque na doca flutuante foi realizado através de uma ponte metálica dimensionada para o efeito.

Uma vez na doca flutuante os caixotões foram transportados para um local de armazenamento temporário em mar, onde permaneceram até que postos novamente em flutuação, para o seu transporte e assentamento na posição definitiva. Estas operações foram realizadas com recurso a rebocadores e a um complexo sistema de poitas e guinchos.



Figura 6 – Área de pré-fabricação (esquerda e centro). Transporte dos caixotões (direita).