

ASPETOS PARTICULARES DO PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE MANTOS DE PROTEÇÃO EM BLOCOS DE CAMADA ÚNICA

CASOS PRÁTICOS DE APLICAÇÃO NOS PORTOS DE SAL-REI, ILHA DA BOAVISTA, PORTO DA PRAIA, ILHA DE SANTIAGO E PORTO DE VALE DE CAVALEIROS, ILHA DO FOGO, ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE

Lucília Luís e Sofia Costa Freire (CONSULMAR, Projectistas e Consultores, Lda.)

RESUMO

Atualmente, estão em curso as empreitadas de ampliação dos Portos de Sal-Rei, Praia, Vale de Cavaleiros e Palmeira, projetos cujos mantos de proteção são em blocos de camada única e nos quais a Consulmar teve e/ou está a ter participação na elaboração dos Projetos de Execução (Sal-Rei e Praia), na Fiscalização (Vale de Cavaleiros), na elaboração do projeto para o Concorrente à empreitada (Palmeira) e no acompanhamento dos ensaios em modelo físico reduzido (Sal-Rei, Praia e Vale de Cavaleiros).

A experiência obtida com os casos práticos em título aponta para diferenças significativas nos volumes/pesos unitários dos blocos dos mantos de proteção pré-dimensionados nas fases de elaboração dos Projetos Base (alguns dos quais foram patenteados a concurso sem antes terem sido validados por ensaios em modelo físico) e os volumes/pesos unitários dos blocos obtidos na fase de elaboração dos Projetos de Execução, realizados então já após a verificação da estabilidade através de ensaios em modelo físico.

O conhecimento anteriormente obtido pela Consulmar: na realização dos projetos da Proteção Marítima do Aeroporto de Macau em estreita colaboração com a Sogreah; no estudo de soluções alternativas para os molhes da Barra do Douro (que veio depois a ser substituída por uma solução estrutural em caixotões, cujo Prémio Secil Ihe foi atribuído em 2009 e por manto resistente em blocos cúbicos de alta densidade, molhe Norte e molhe Sul, respetivamente); o projeto do Porto Grand'Révière, na ilha da Martinica; e mais recentemente, os portos em título, permitiram identificar e compilar os aspetos particulares do pré-dimensionamento deste tipo de blocos/mantos resistentes e que se apresentam nesta comunicação.

1 – INTRODUÇÃO

A presente comunicação tem por objetivo destacar os aspetos particulares do pré-dimensionamento de mantos de proteção (quer em quebra-mares, quer em retenções marginais) em blocos de camada única, e respetiva verificação da estabilidade recorrendo a modelação física, com particular destaque para os casos práticos de aplicação de:

- ACCROPODE™ – Porto de Sal-Rei – ilha da Boavista;
- CORE-LOC™ – Porto da Praia – ilha de Santiago;
- CORE-LOC™ e ACCROPODE™ II – Porto de Vale de Cavaleiros – ilha do Fogo.

Casos práticos em que a Consulmar esteve e/ou ainda está envolvida, quer como projetista na elaboração dos Projetos de Execução (Porto de Sal-Rei e Porto da Praia), cuja construção está a cargo do Consórcio Somague/MSF e Somague/Etermar/MSF, respetivamente, quer na qualidade de Fiscalização (Porto de Vale de Cavaleiros) cuja construção está a cargo da CPTP, tendo participado no acompanhamento dos ensaios físicos, os quais foram realizados no:

- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Porto de Sal-Rei;
- Laboratório da SOGREAH, França e INHA – Instituto de Hidrodinâmica Aplicada em Barcelona, Espanha - Porto da Praia;
- Laboratório da SOGREAH, França – Porto de Vale de Cavaleiros.

As principais particularidades, comuns aos 3 tipos de blocos, residem no facto de apesar de apresentarem coeficientes de estabilidade consideravelmente mais elevados que os blocos mais convencionais (Antifer, Tetrápodos, etc.), conduzindo, numa primeira aproximação a estruturas mais económicas, apresentam critérios de verificação da estabilidade consideravelmente mais exigentes.

As discrepâncias entre os parâmetros de pré-dimensionamento e os critérios de verificação da estabilidade considerados nos ensaios, ambos estabelecidos pelas empresas detentoras das patentes, têm conduzido a obras de custo mais elevado do que o estimado nas fases dos estudos anteriores à realização dos ensaios físicos.

Esta comunicação foca-se apenas nos aspetos relacionados com o dimensionamento dos blocos de camada única, não fazendo parte do âmbito os restantes aspetos relacionados com os projetos dos casos práticos apresentados. Não faz igualmente parte desta comunicação a abordagem dos aspetos orçamentais e construtivos.

2 – MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DOS BLOCOS DE CAMADA ÚNICA DO TIPO CORE-LOC™, ACCROPODE™, ACCROPODE™ II E ECOPODE

2.1 – Fórmulas de cálculo

Para efetuar o pré-dimensionamento, a CLI – Concrete Layer Innovations, no seu *site*, recomenda a utilização da fórmula de Hudson e da fórmula de Van der Meer.

Quadro 1 – Fórmulas de Hudson e de Van der Meer

<p>Hudson:</p> $V = \frac{H_s^3}{K_D \left[\frac{d}{d_0} - 1 \right]^3 \cot g \alpha}$ <p>Em que: $H_s = H_{1/3}$ = altura de onda significativa (m); K_D = Coeficiente de estabilidade hidráulico; d = peso específico do betão (kN/m³); d_0 = peso específico da água (kN/m³); $\cot g \alpha$ = inclinação do talude (2/3).</p>	<p>Van der Meer:</p> $N_s = \frac{H_s}{(\Delta D_{n50})}$ <p>Em que: $H_s = H_{1/3}$ = altura de onda significativa (m); D = peso específico relativo; D_{n50} = diâmetro nominal.</p>
--	---

Os coeficientes (K_D) e números (N_s) de estabilidade recomendados são, consoante o tipo de blocos e parte da estrutura a que respeitam, os seguintes:

Quadro 2 – Coeficientes (K_D) e números (N_s) de estabilidade

Blocos	Hudson - K_D		Van der Meer - N_s	
	Tronco	Cabeça	Tronco	Cabeça
ACCROPODE™	15	11,5	2,7	-
ACCROPODE™ II	16	12,3	2,8	-
ECOPODE™	16	12,3	2,8	-
CORE-LOC™	16	13	2,8	-

Os valores indicados são válidos para estruturas não sujeitas à ação direta da rebentação das ondas, com taludes com inclinações compreendidas entre 3H/2V e 4H/3V e que assentem sobre fundos com inclinações inferiores a 1%. Para situações em que estas condições variem, mesmo que ligeiramente, os coeficientes indicados podem diminuir substancialmente, não existindo indicações sobre que valores considerar na informação disponibilizada pela CLI.

A estimativa dos blocos do manto resistente da cabeça pode também ser feita considerando que estes deverão ter um peso cerca de 30% superior aos do tronco.

Nos casos em que as profundidades limitem a altura de onda que pode atingir a estrutura, H_s deve ser substituído pela altura de onda limitada pelas profundidades.

No Coastal Engineering Manual (CEM) e no Rock Manual são recomendadas as mesmas fórmulas diferindo, no entanto, os números de estabilidade indicados, sendo estes um pouco superiores. O Rock Manual aborda com algum grau de detalhe o dimensionamento dos blocos de camada única no Capítulo 5, embora a informação surja muito dispersa.

2.2 – Dimensionamento dos blocos da subcamada

O dimensionamento da subcamada assume uma especial importância em mantos de camada única, dado o elevado risco de os blocos que a compõem poderem ser extraídos através dos vazios entre blocos da camada resistente. De acordo com as tabelas de cálculo apresentadas pela CLI no seu *site*, o peso dos blocos da subcamada é cerca de ¼ do peso dos blocos da camada do manto resistente.

2.3 – Dimensionamento do prisma de pé de talude

A estabilidade do talude do manto resistente é não só garantida pelo peso individual dos blocos necessário para fazer face à ação da onda, mas também pelo seu travamento, que é normalmente materializado por uma vala ou prisma de pé de talude. A CLI recomenda que este seja em enrocamento, devendo o prisma dispor de pelo menos duas camadas, posicionado de forma a travar a primeira fiada de blocos.

2.4 – Aspectos adicionais a ter em conta no pré-dimensionamento de mantos resistentes constituídos por blocos de betão de camada única

Para além da verificação da estabilidade individual dos blocos que constituem a camada de proteção, de acordo com as recomendações da CLI, nos projetos de estruturas constituídas por mantos resistentes de camada única, deverão também ser tidos em conta os seguintes aspetos:

- Não ultrapassar o limite de 20 fiadas sendo, no entanto, recomendado que não sejam excedidas as 16 fiadas, para evitar assentamentos excessivos;
- Prever, no mínimo, três blocos nas bermas superiores;
- Prever sempre uma solução de proteção do pé de talude do manto resistente, quer seja através de uma vala de travamento, quer seja através de um prisma de enrocamento ou blocos artificiais;
- Tentar reduzir ao mínimo o número de diferentes tamanhos de blocos para evitar zonas de potencial fragilidade (“costuras”);
- Quando não seja possível evitar transições entre tamanhos diferentes de blocos, o tamanho utilizado deve ser o imediatamente a seguir.

3 – CASOS PRÁTICOS DE APLICAÇÃO DE BLOCOS DE CAMADA ÚNICA DO TIPO CORE-LOC™, ACCROPODE™ e ACCROPODE™II

3.1 – Caracterização sintetizada das condições naturais locais

Os portos objeto da presente comunicação localizam-se todos no arquipélago de Cabo Verde, situado ao largo da costa ocidental de África: O Porto de Sal-Rei na costa W da ilha da Boavista; o Porto da Praia na costa S da ilha de Santiago e o Porto de Vale de Cavaleiros na costa W da ilha do Fogo (Fig.1).

Trata-se de ilhas de formação vulcânica e muito montanhosas, com uma plataforma continental estreita e acidentada.



Fig.1 – Fotografia aérea do arquipélago de Cabo Verde (extraído do Google Earth)

3.2 - Marés, sobrelevações e correntes

As marés no Arquipélago de Cabo Verde são do tipo semi-diurno regular. De acordo com as previsões do Instituto Hidrográfico, (Vol. II da Tabela de Marés de 2010), os elementos característicos da maré apresentam os seguintes valores:

Quadro 3 – Marés nos Portos de Sal-Rei, Praia e Vale de Cavaleiros

Porto	PMmax. m(ZH)	PMAV m(ZH)	PMAM m(ZH)	NM m(ZH)	BMAM m(ZH)	BMAV m(ZH)	BMim. m(ZH)
Sal Rei	1,63	1,39	1,07	0,80	0,53	0,20	0,04
Praia	1,56	1,34	1,05	0,80	0,55	0,25	0,10
Vale de Cavaleiros	1,51	1,30	1,03	0,80	0,57	0,29	0,15

Em que: PMmax. - Preia-mar máximo; PMAV - Preia-mar de águas vivas; PMAM - Preia-mar de águas mortas; NM - Nível médio; BMAM - Baixa-mar de águas mortas; BMAV - Baixa-mar de águas vivas; BMmin. - Baixa-mar mínimo.

O Zero Hidrográfico (ZH), utilizado como plano de referência dos levantamentos topo-hidrográficos e das tabelas de marés, situa-se 0,80 m abaixo do nível médio das águas do mar. Como se baseiam em medições realizadas há muitos anos, a estas alturas deverá ser somado 0,1 m, assim se tendo em conta a lenta evolução do nível do mar.

Sob condições meteorológicas anómalas, ventos fortes ou grandes perturbações da pressão atmosférica, a altura de água passa a ter uma importante componente meteorológica sobreposta à componente devida à maré, podendo verificar-se variações significativas das cotas indicadas.

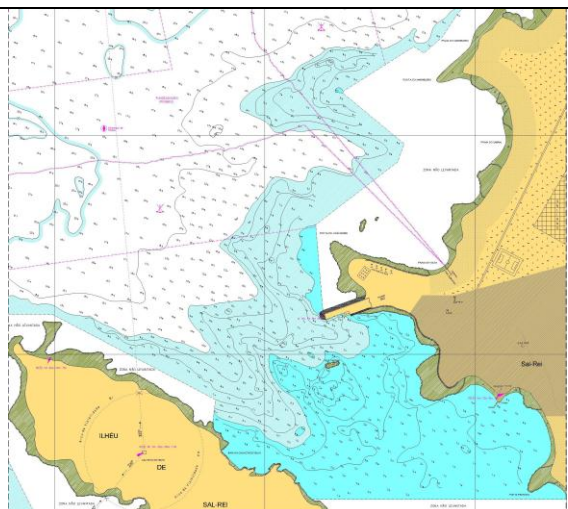
A rebentação contínua de frentes de onda extensas também pode originar a subida do nível do mar. Trata-se do resultado do transporte e acumulação progressiva no sentido de terra das massas de água mobilizadas durante a rebentação.

As correntes oceânicas, por terem pouca expressão e nenhuma influência no dimensionamento dos blocos dos mantos resistentes, não serão aqui caracterizadas.

3.3 - Hidrografia e natureza dos fundos

Pela observação do extrato da carta hidrográfica n.º 51 (ENAPOR) constata-se que a orla costeira e faixa submersa adjacente apresentam uma grande irregularidade, quer em planta quer em altimetria, sendo de destacar a presença do ilhéu de Sal-Rei, que emerge a SW da Povoação com o mesmo nome.

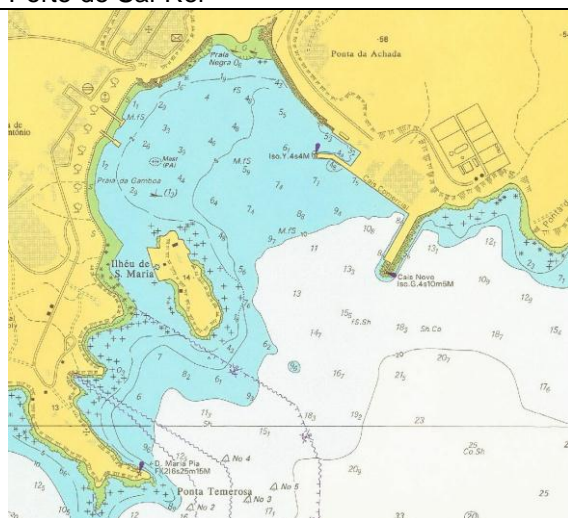
Entre o ilhéu e a costa, os fundos são muito irregulares, como denotam as batimétricas, aspeto que influencia determinantemente a propagação da agitação. Esta irregularidade evidencia também a natureza rochosa dos fundos, sendo este coberto por pequenas bolsas de areia.



Porto de Sal-Rei

Também no caso do Porto da Praia, conforme nos mostra a carta hidrográfica n.º 367 (Almirantado Inglês) a irregularidade da orla costeira é bem patente. Já a batimetria apresenta-se um pouco mais regular, especialmente nas zonas mais profundas. São igualmente de destacar a presença do ilhéu de S. Maria e da península da Ponta Temerosa.

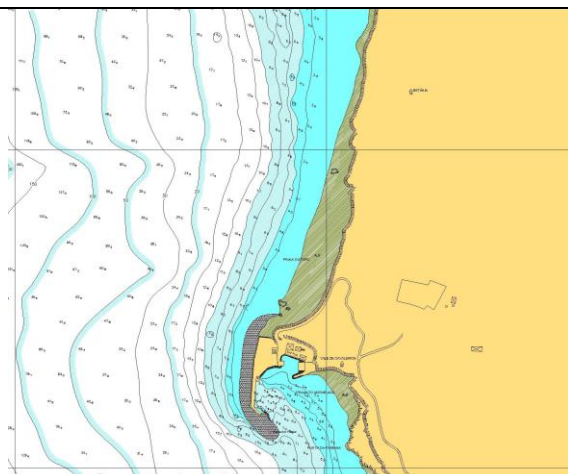
Quanto à natureza dos fundos, nas zonas mais profundas estes são cobertos por areias, sendo também de notar a presença de recifes de coral. Acima da batimétrica dos 5 m, os fundos passam a ser cobertos essencialmente por lodos, sendo a orla caracterizada pela presença de afloramentos rochosos e praias de areia negra.



Porto da Praia

A carta hidrográfica n.º 81 (ENAPOR) evidencia a presença de batimétricas na zona adjacente ao porto a variar de forma regular segundo um declive acentuado, atingindo rapidamente grandes profundidades, encontram-se a batimétrica dos 10 m a aproximadamente 200 m da costa.

O Porto de Vale de Cavaleiros desenvolve-se sobre uma plataforma natural de rocha denominada Ponta de Vale de Cavaleiros e é limitado a sul e a norte por duas praias de areia de origem basáltica.



Porto de Vale de Cavaleiros

Fig. 2 – Extratos das cartas hidrográficas dos portos em referência (sem escala)

3.4 - Caracterização qualitativa do regime de agitação ao largo e no local

A caracterização da agitação marítima que a seguir se apresenta resulta de um estudo elaborado pela Consulmar para os três locais, com base nos dados de “hindcast” de 15 anos, obtidos junto do BTM ARGOSS, não correspondendo, por isso, na íntegra à descrição que consta das memórias constantes dos projetos patenteados a concurso, uma vez que as fontes e os processos de propagação utilizados são distintos, diferendo mesmo nalguns casos. A comparação dos diferentes resultados não é aqui apresentada, por não fazer parte do âmbito da presente comunicação.

A agitação ao largo (Fig. 3) é predominantemente proveniente dos sectores de NNE e N, aos quais se seguem os sectores de NE e NNW.

No que respeita à distribuição de alturas de onda, verifica-se que as ondas mais frequentes têm alturas compreendidas entre 0,5 e 2 m, sendo a percentagem de alturas de onda superiores a 4 m, residual.

Relativamente aos períodos das ondas, são os compreendidos entre 8 e 14 s, os mais frequentes. De notar, no entanto, a presença de períodos compreendidos entre 14 e 20 s, que refletem a origem longínqua destes estados de agitação, gerados tanto na parte norte como Sul do Atlântico. Os períodos menores estão normalmente associados a estados de agitação gerados pelos ventos alísios.

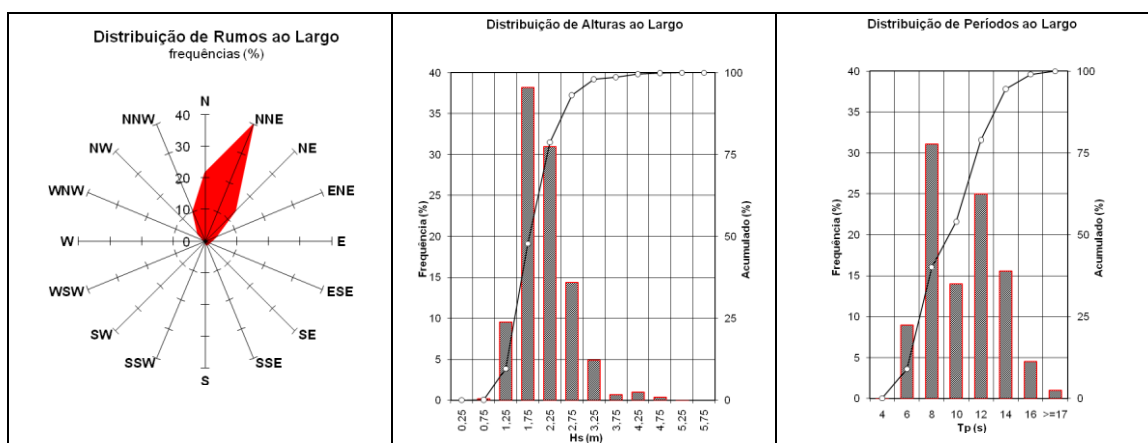


Fig. 3 – Caracterização da agitação (rumos, alturas e períodos) ao largo do arquipélago de Cabo Verde

Quanto à agitação local (Fig. 4), nos casos dos portos localizados na costa oeste da respetiva ilha (Portos de Sal-Rei e Vale de Cavaleiros), os rumos mais frequentes são os provenientes de NNW, seguidos dos de NW. Em ambos os casos, chegam também ao local rumos provenientes do quadrante de SW, mas com muito pouca frequência (não sendo sequer observáveis nas presentes figuras). No caso do Porto da Praia, por este se localizar na costa S, no local, a agitação apresenta-se com rumo marcadamente de SE, podendo também atingir o local agitação de SSW, mas com uma frequência residual.

Relativamente às alturas de onda que atingem os locais, os Portos de Sal-Rei e Vale de Cavaleiros, também por se localizarem na costa W, estando por isso menos abrigados são, não só os mais expostos, como os expostos com maior frequência a alturas de onda maiores. O Porto da Praia, por se localizar na costa S, é o que beneficia de maior abrigo, sendo as ondas que o atingem relativamente pequenas quando comparadas com as que atingem os Portos de Sal-Rei e de Vale de Cavaleiros.

Os períodos das ondas também diferem de porto para porto, sendo mais frequentes períodos de 8 s nos Portos de Sal-Rei e Vale de Cavaleiros e 10 s no Porto da Praia.

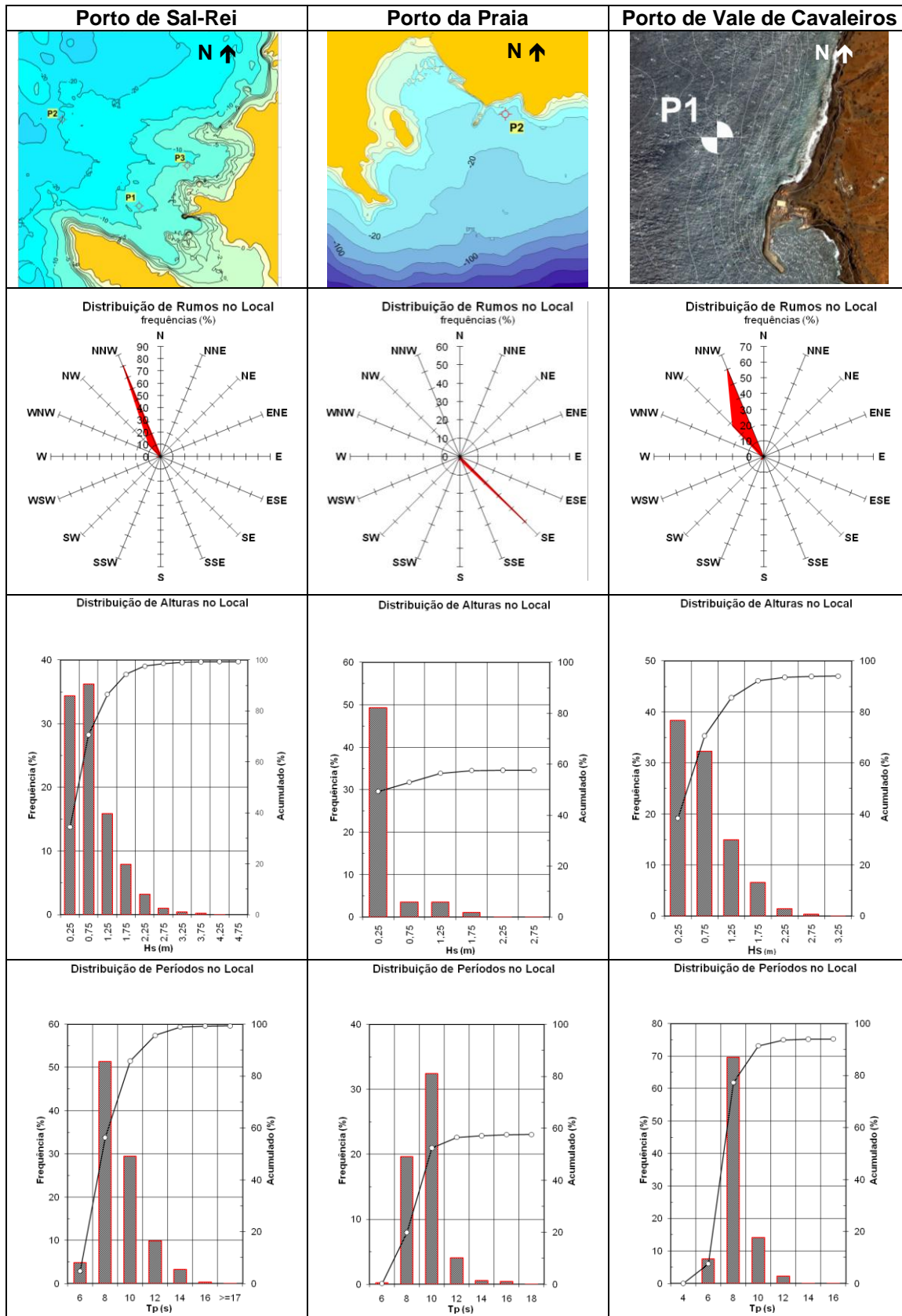


Fig. 4 – Caracterização da agitação (rumos, alturas e períodos) nos Portos de Sal-Rei (ponto P1), Praia (ponto P2) e Vale de Cavaleiros (Ponto P1)

Relativamente ao regime de extremos verifica-se que, para períodos de retorno de 50 e 100 anos, a altura de onda, na proximidade de cada porto atinge valores da ordem dos indicados no quadro seguinte:

Quadro 4 – Regime de extremos

Período de Retorno (anos)	Altura de onda H_s associada ao período de retorno (m)		
	Sal-Rei	Praia	Vale de Cavaleiros
50	5,1	3,1	4,3
100	5,4	3,4	4,7

3.5 – Descrição das infraestruturas existentes e projectadas

Porto de Sal-Rei na ilha da Boavista

O Porto de Sal-Rei dispõe actualmente de infraestruturas portuárias constituídas por um molhe-cais com cerca de 200 m de extensão, o qual protege, no seu no intradorso, um cais com cerca de 80 m de comprimento e um terraplino portuário com uma área de cerca de 0,6 ha (Fig. 5a).

Com vista a melhorar condições de operacionalidade e segurança do actual porto, o Ministério das Infraestruturas, Transportes e Telecomunicações – MITT, contratou à Hidroprojecto, Engenharia e Gestão, S.A., a elaboração do Projeto Base e respetivo Processo de Concurso para lançamento da Empreitada, prevendo este que os ensaios em modelo físico reduzido e o Projeto de Execução ficassem a cargo do Empreiteiro.



Fig. 5 a) e b) - Fotografia aérea do Porto de Sal-Rei sem (a) e com (b) as novas obras implantadas (extraído do Google Earth)

O Projeto Base da 1.^a Fase da Construção da Expansão do Porto de Sal-Rei (Fig. 5b) prevê a construção de uma proteção marítima, para abrigar o novo parque de contentores com uma área de aproximadamente de 2 ha e cais de descarga com cerca de 160 m. A proteção marítima apresenta uma extensão de cerca de 1050 m, implanta-se sobre fundos que variam entre a cota -11,0 m (ZH) (cabeça) e a cota ZH, apresenta cota de coroamento à +8,0 m (ZH) e elementos resistentes em **ACCROPODE™** de 3 e 4 m³, no tronco e na cabeça, respectivamente (Fig. 6 e 7).

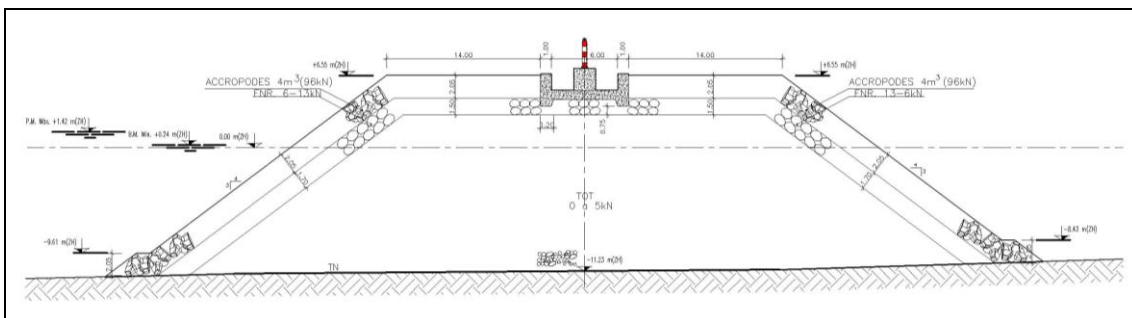


Fig. 6 – Corte transversal da cabeça do novo molhe-cais do Porto de Sal-Rei (Hidroprojecto, 2008)

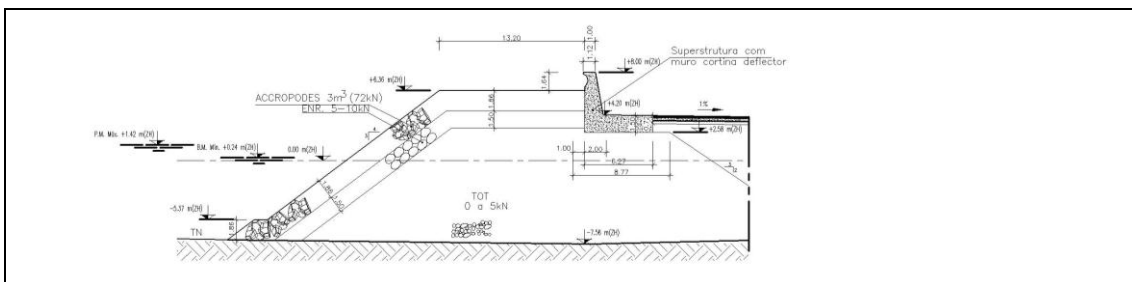


Fig. 7 – Corte transversal tipo do tronco do novo molhe-cais do Porto de Sal-Rei (Hidroprojecto, 2008)

Porto da Praia na ilha de Santiago

O Porto da Praia dispõe actualmente de um molhe-cais com cerca de 400 m de extensão, que abriga uma pequena bacia portuária, um cais no seu intradorso com cerca de 210 m de comprimento e um cais perpendicular a este com cerca de 460 m. Dispõem ainda de uma pequena bacia interior de apoio à pesca e de um terrapleno com cerca de 7 ha (Fig. 8a).

Também com o objetivo de melhorar as condições de operacionalidade e segurança do atual porto, o Ministério das Infraestruturas, Transportes e Telecomunicações – MITT, contratou à BCEOM – Société Française d’Inginérie, a elaboração do Projeto Base e respetivo Processo de Concurso para lançamento da Empreitada, prevendo este que o Projeto de Execução ficasse também a cargo do Empreiteiro. Neste caso, os ensaios em modelo físico reduzido foram realizados antes do lançamento da empreitada e o projeto lançado a concurso já integrava as modificações decorrentes dos resultados da modelação física.

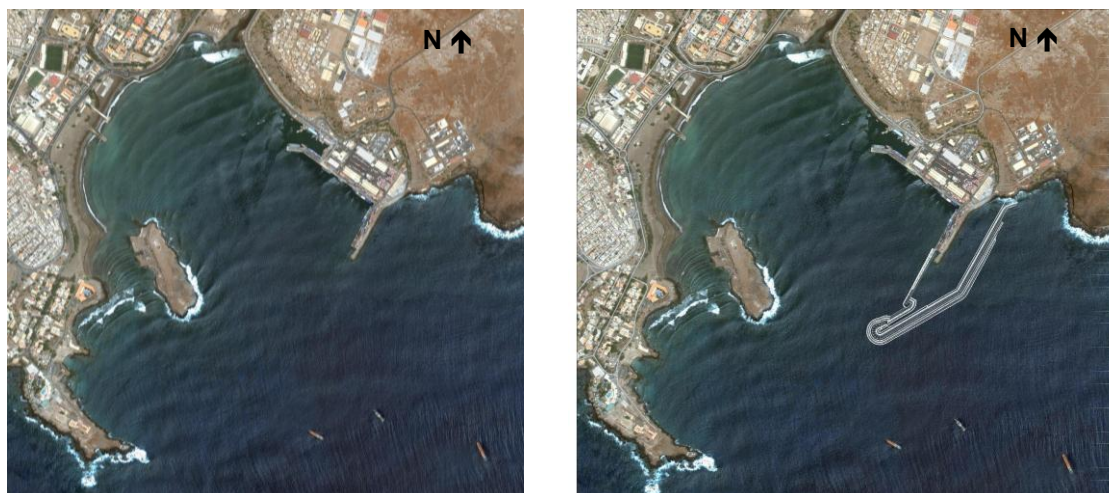


Fig. 8 a) e b) – Fotografia aérea do Porto da Praia sem (a) e com (b) as novas obras implantadas (extraído do Google Earth)

O Projeto Base da Expansão e Modernização do Porto da Praia prevê a construção de uma proteção marítima, para abrigar o novo parque de contentores com uma área de aproximadamente de 7 ha e cais de descarga com cerca de 450 m e fundos de serviço entre -9,00 e -13,5 m (ZH) (Fig. 8b).

A proteção marítima apresenta uma extensão de cerca de 830 m, implantando-se sobre fundos que variam entre a -18,0 m e -5,0 m (ZH), apresenta cota de coroamento à +7,0 m (ZH) e elementos resistentes em **CORE-LOC™ de 3,9 m³**, no tronco e na cabeça do quebra-mar e de **2 m³** na retenção marginal da estrada de acesso. A proteção do talude é assegurada por uma berma em enrocamento de 1,5 a 2,5 t , entre as profundidades -18 e -11,5, a partir das quais deixa de existir para passar a ter uma vala moldada no fundo rochoso (Figs. 9 e 10).

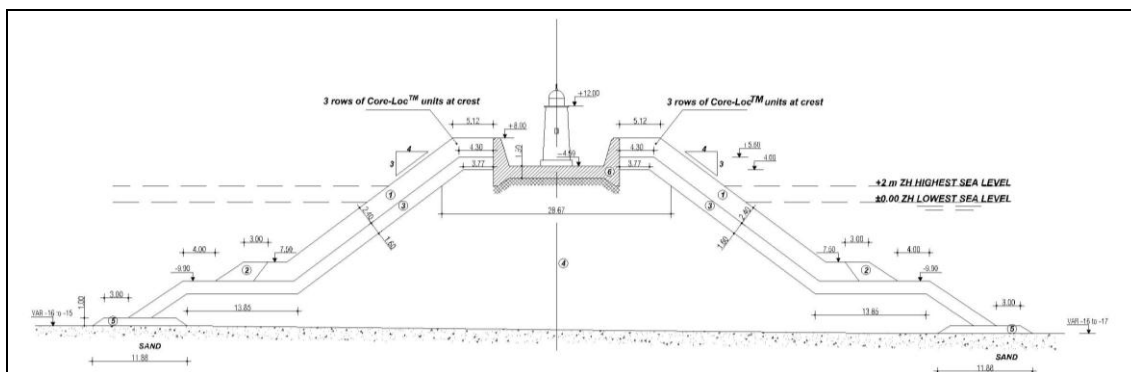


Fig. 9 – Corte transversal da cabeça (EGIS BCEOM International, 2008)

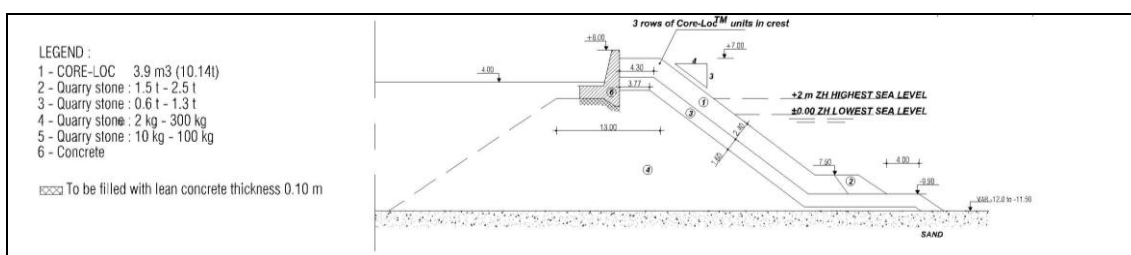


Fig. 10 – Corte transversal tipo do tronco (EGIS BCEOM International, 2008)

Porto de Vale de Cavaleiros na ilha do Fogo

Trata-se de um pequeno porto, protegido por um quebra-mar de cerca de 300 m de extensão, no intradorso do qual dispõe de um cais com cerca de 75 + 20 m, uma rampa ro-ro e um terraplano de cerca de 0,6 ha. O porto dispõe ainda, na zona NE, de um pequeno cais de cerca de 20 m e uma rampa-varadouro, ambos abrigados por um pequeno contra-molhe, utilizados para atividade da pesca (Fig. 11a).

Também neste caso, com vista a melhorar as condições de operacionalidade e segurança do atual porto, o Ministério das Infraestruturas, Transportes e Telecomunicações – MITT, contratou à Hidroprojecto, Engenharia e Gestão, S.A., a elaboração do Projeto Base e respetivo Processo de Concurso para lançamento da Empreitada, prevendo este que os ensaios em modelo físico reduzido e o Projeto de Execução ficassem a cargo do Empreiteiro.

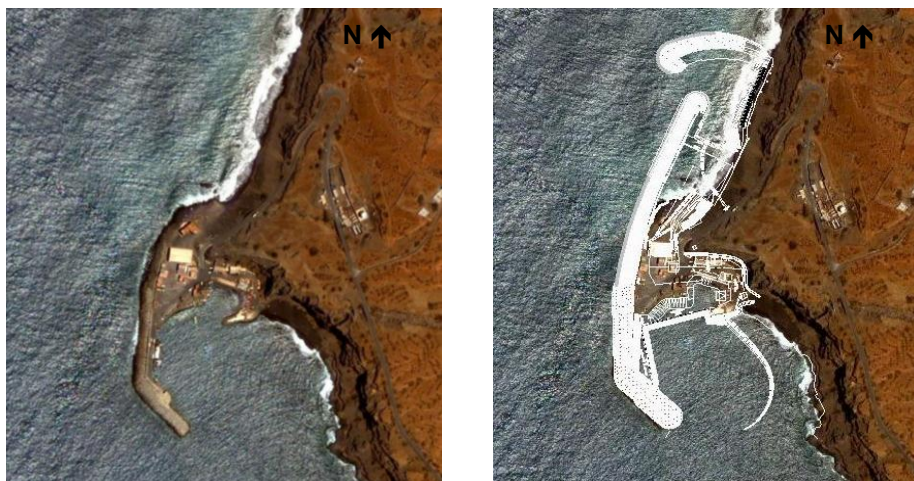


Fig. 11a) e b) – Fotografia aérea do Porto da Vale de Cavaleiros sem (a) e com (b) as novas obras implantadas (extraído do Google Earth)

O Projeto Base da Construção da Expansão do Porto de Vale de Cavaleiros prevê a construção a norte de uma proteção marítima, para abrigar o novo terrapleno com uma área de aproximadamente de 2,5 ha e cais de descarga com cerca de 100 m e fundos de serviço de -3,0 m (ZH). Prevê igualmente um contra-molhe para abrigar a nova bacia portuária dos rumos mais frequentes e intensos, provenientes de NW e NNW (Fig. 11b).

O quebra-mar norte apresenta uma extensão de cerca de 170 m, implanta-se sobre fundos que variam entre a -5,0 m (ZH) e ZH, apresenta cota de coroamento variável entre +9,0 e +4,0 m (ZH) e é protegido por elementos resistentes em **CORE-LOC™ de 3,9 m³**, na cabeça e parte do tronco (Fig. 12).

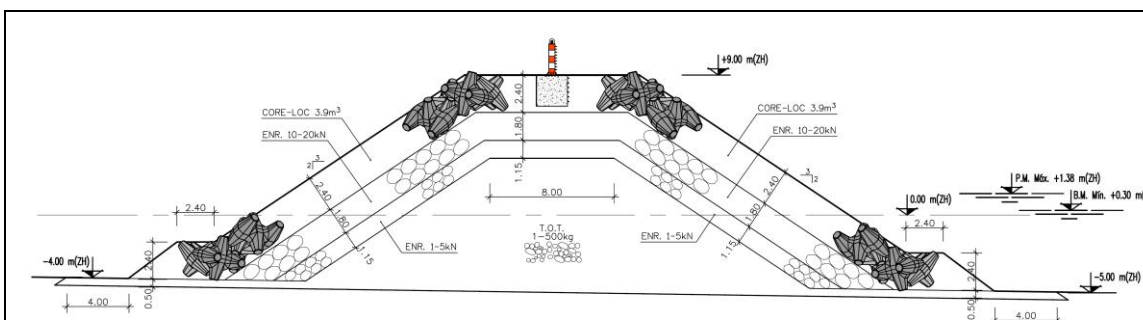


Fig. 12 – Corte transversal da cabeça do quebra-mar norte de Vale de Cavaleiros (Hidroprojecto, 2010)

A proteção marítima apresenta uma extensão de cerca de 350 m, implanta-se sobre fundos variáveis entre -3,0 m (ZH) e -2,0 m (ZH), apresenta cota de coroamento à +8,0 m (ZH) e elementos resistentes do tipo **CORE-LOC™ de 3,9 m³**, no tronco e na cabeça (Fig. 13).

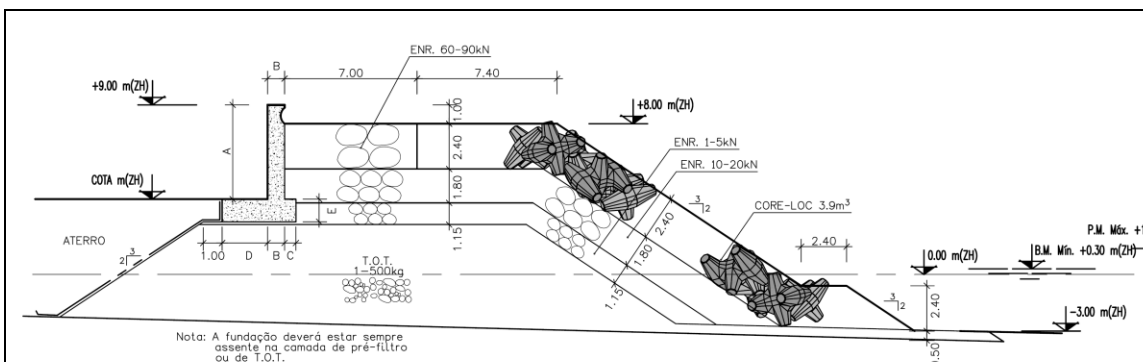


Fig. 13 – Corte transversal tipo da proteção marítima de Vale de Cavaleiros (Hidroprojecto, 2010)

3.6 – Ondas de projeto e elementos resistentes pré-dimensionados

No quadro seguinte apresentam-se, resumidamente, as características das ondas de projeto consideradas no pré-dimensionamento dos elementos constituintes dos mantos resistentes, bem como o tipo e volume unitário dos blocos, estimados para cada projeto, de acordo com a informação constante nos documentos patenteados a concurso.

Quadro 5 – Ondas de projeto e características dos blocos

	Projetista	H _s (m)	T _p (s)	Tipo de blocos	Volume (m ³)	
					Tronco	Cabeça
Sal Rei	Hidroprojecto	5,3	18	ACCROPODE™	3	4
Praia	BCEOM	3,5	17	CORE-LOC™	2 e 3,9	3.9
Vale de Cavaleiros	Hidroprojecto	5,5	17	CORE-LOC™	3.9	3.9

3.7 – Resultados dos ensaios em modelo físico reduzido

O resumo dos resultados dos ensaios que aqui se apresenta inclui apenas referências aos aspetos direta ou indiretamente relacionados com a estabilidade do manto resistente em blocos de camada única, não fazendo parte do âmbito da presente comunicação as restantes conclusões dos ensaios.

Porto de Sal-Rei na ilha da Boavista

Considerações

O Caderno de Encargos da Empreitada da 1.ª Fase de Expansão do Porto de Sal-Rei previa que o Consórcio Adjudicatário fosse responsável pela elaboração dos ensaios tridimensionais em modelo físico reduzido, de acordo com as condições expressas nesse mesmo documento.

Assim, os ensaios ficaram a cargo do Consórcio formado pela Somague/MSF, com o acompanhamento do seu projetista – Consulmar – Projectistas e Consultores, Lda.

O LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P.) foi o laboratório escolhido para a realização desses ensaios, tendo estes sido acompanhados pela PROMAN, na qualidade de Fiscalização.

O Projeto Base da estrutura de abrigo a ensaiar, por integrar blocos artificiais de betão simples do tipo ACCROPODE™, foi submetido à apreciação da empresa CLI – CONCRETE LAYER INNOVATIONS, detentora da patente dos referidos blocos. Esta emitiu um parecer CLI (2009, no qual, resumidamente, eram recomendadas as seguintes alterações:

- Substituição dos blocos de 3 m³ por 5 m³, previstos para o tronco;
- Substituição dos blocos de 4 m³ por 6,3 m³, previstos para a cabeça;
- Colocação de uma berma de pé de talude em enrocamento para servir de travamento ao talude de ACCROPODE™.

Critérios de estabilidade definidos pela CLI

Para efeitos da verificação da estabilidade, a CLI estabeleceu no referido documento, que fossem seguidos os seguintes critérios:

- Altura de onda de ensaio igual a 120%H_s, exceto se a altura da onda for limitada pelos fundos;
- Para a altura de onda referida:
 - Não são admitidas quedas ou extrações de blocos do manto resistente. O movimento dos blocos e o assentamento das camadas admitido é muito limitado;
 - O prisma do pé do talude tem que garantir a sua função de travamento do manto resistente, devendo a primeira fiada manter-se estável.

Programa de ensaios

Foram realizados ensaios com os rumos NW e NNW) e dois níveis de maré (PM e BM). Foram reproduzidos dois valores de períodos de pico (T_p) do espectro da agitação incidente (13,9 e 18 s), a cada um dos quais se associaram cinco valores de altura significativa [H_s : 2,5 m; 3,5 m; 4,5 m; 5,3 m e 6,4 m (120% H_s)].

Resultados dos ensaios

Perante tais recomendações, o LNEC sugeriu ao Consórcio Adjudicatário, efetuar preliminarmente ensaios bidimensionais de dois perfis do tronco (característicos das duas principais extensões do molhe).

1- Ensaio bidimensionais

Nos perfis ensaiados incluiu-se a berma de pé de talude, não em enrocamento conforme sugestão da CLI, mas em blocos cúbicos de betão simples de 60 kN, assentes sobre um tapete de enrocamento, variando o número fiadas entre 1 a 3 blocos, consoante a maior ou menor profundidade a que se implanta o perfil, ensaios que visavam verificar a estabilidade do manto de protecção e da berma do pé de talude de ambos os perfis.

Sobre este conjunto preliminar de ensaios, o LNEC elaborou um parecer técnico, LNEC (2010), cujas principais conclusões (relativas apenas à estabilidade) se transcrevem seguidamente:

(...)

- *Deverão ser tidas em consideração as determinações iniciais da CLI, respeitantes ao volume unitário dos blocos do manto resistente, no sentido de diminuir o número de fiadas de blocos no talude, com especial realce na zona onde o quebra-mar atinge maiores profundidades;*
- *Caso seja considerado conveniente, o troço de quebra-mar fundado a menores profundidades poderá continuar a ser protegido por blocos com as dimensões dos blocos utilizados nos ensaios;*
- *A berma de fundação constituída por blocos cúbicos de betão apresenta grandes vantagens relativamente à solução constituída por um prisma de enrocamento, já que não serão de esperar projecções de blocos para o talude, com consequências imprevisíveis para a integridade dos blocos ACCROPODE™;*
- *Mediante os resultados obtidos e um eventual aumento do volume unitário dos blocos do manto resistente, deverá o projetista reavaliar a necessidade e a conveniência de proceder a um ajuste no peso dos blocos cúbicos de betão a colocar no pé do talude.*

(...)

Face às conclusões e recomendações emitidas pelo LNEC, o Projetista do Consórcio Adjudicatário preparou um novo perfil a ensaiar, característico do troço do molhe implantado na zona mais profunda, apresentando as seguintes alterações principais:

- Substituição do manto de protecção em ACCROPODE™ de 3 m³ por ACCROPODE™ de 5 m³;
- Substituição da sub-camada em enrocamento de 5 a 10 kN por enrocamento de 8 a 17 kN;
- Substituição dos blocos cúbicos de 60 kN por blocos de 100 kN.

No mesmo parecer técnico anteriormente referido, o LNEC, pronunciou-se igualmente sobre o conjunto adicional de ensaios, tecendo as seguintes principais conclusões:

- A utilização de blocos ACCROPODE™ de volume unitário de 5 m³, em vez de 3 m³, no sentido de diminuir o número de fiadas de blocos no talude, evita a ocorrência de aberturas entre blocos ACCROPODE™ resultantes dos assentamentos;

- A berma de fundação constituída por blocos cúbicos de betão de 100 kN apresenta bom comportamento.

2- Ensaio tridimensionais

Face às conclusões e recomendações emitidas pelo LNEC, o Projetista do Consórcio Adjudicatário preparou para os ensaios tridimensionais novos perfis-tipo e uma planta, apresentando como principais características, as seguintes:

- Perfil-tipo da cabeça, com manto de proteção em ACCROPODE™ de 6,3 m³, muro-cortina maciço à cota +10,00 m (ZH) e berma do pé de talude com uma fiada de blocos cúbicos de 100 kN;
- Perfil do tronco com manto de proteção em ACCROPODE™ de 5,0 m³ e berma do pé de talude em blocos cúbicos de 100 kN, com 2 ou 3 fiadas, em função das profundidades.

Sobre este conjunto de ensaios, o LNEC elaborou um parecer técnico (LNEC, 2011), cujas principais conclusões (apenas relativas à estabilidade) se transcrevem seguidamente:

(...)

- *O manto resistente constituído por blocos ACCROPODE™ apresentou um comportamento estável para todas as condições de ensaio reproduzidas no modelo, quer na cabeça (blocos de 6,3 m³), quer no corpo da obra (blocos de 5 m³), não se tendo observado a remoção de qualquer bloco na totalidade do programa de ensaios, mesmo com a atuação de valores de H_s correspondentes a 120 % do valor de H_s de projeto.*
- *O número de blocos ACCROPODE™ com movimentos foi bastante reduzido face ao número total de blocos colocados no modelo, não se tendo notado demasiado afastamento entre blocos e locais de exposição excessiva dos enrocamentos dos filtros.*
- *A zona do modelo mais suscetível à ocorrência de movimentos de blocos ACCROPODE™ foi a berma de coroamento, local onde se torna mais difícil garantir um perfeito imbricamento dos blocos.*
- *Embora apresentando algum desgaste, nomeadamente com a atuação das condições de agitação marítima de projeto, pode considerar-se que o comportamento evidenciado pela berma do pé do talude (constituída por um número variável de fiadas de blocos cúbicos de betão de 100 kN) foi igualmente positivo, já que em nenhuma situação se observou a fragilização da fundação do talude.*
- *A transição entre o troço protegido por blocos ACCROPODE™ e o troço protegido por blocos de enrocamento de 30 a 60 kN apresentou um comportamento estável, desde que se proceda à extensão (em cerca de 30-40 m) da berma de pé do talude constituída por cubos de betão com 100 kN à zona cujo talude é protegido pelos blocos de enrocamento.*

Tendo em conta os cuidados a ter durante a fase de construção, recomenda-se que os cubos de 100 kN sejam colocados encostados uns aos outros e com um dos vértices verticais direccionado no sentido da onda incidente (agitação frontal), para que, desta forma, seja dificultada a rotação dos blocos, especialmente na situação de run-down.

(...)

Porto da Praia na ilha de Santiago

Considerações

Enquanto os processos de concurso no caso da Expansão do Porto de Sal-Rei e Vale de Cavaleiros prevêem que o Projeto de Execução seja elaborado pelo Consórcio Adjudicatário e de acordo com os resultados do modelo físico reduzido, que ficam também a cargo deste, e logo só são conhecidos após a adjudicação da Empreitada, no caso do Porto da Praia a Empreitada foi lançada com os ensaios em modelo físico previamente realizados pela Sogreah e acompanhados pelo projetista autor do Projeto Base (BCEOM), tendo o projeto lançado a concurso já incluído as recomendações resultantes dos ensaios.

Critérios de estabilidade definidos pela Sogreah

Para efeitos da verificação da estabilidade foi estabelecido neste caso o cumprimento dos seguintes critérios:

- A altura de onda de ensaio deve ser H_s , exceto se a altura da onda for limitada pelos fundos;
- Para a altura de onda referida:
 - Não podem ocorrer quedas ou extrações de blocos do manto resistente;
 - Os movimentos admitidos têm que ser inferiores a 1%;
 - As aberturas provocadas pelo assentamento do manto resistente têm que ser inferiores a 0,3 C (C = altura do CORE-LOC™);
 - O número máximo de fiadas não pode exceder as 20;
 - As quedas admitidas para o prisma do pé do talude, constituído por enrocamentos, têm que ser inferiores a 3%.

Programa de ensaios

O programa de ensaios inclui agitação incidente de três rumos distintos (202,5°N; 167°N e 180°N), com alturas de onda correspondentes a 1 e 100 anos de período de retorno associadas a períodos variáveis entre 12 e 18 s, atuando em situações de baixa-mar e preia-mar. Apenas a configuração quatro foi sujeita a ensaio de rotura, tendo sido simulada a incidência de alturas de onda correspondentes a 125, 135 e 145% H_s .

Resultados dos ensaios

Foi efectuado um extensíssimo programa de ensaios que englobou, para além da configuração inicial, o ensaio de mais quatro configurações. A estabilidade do manto resistente foi verificada nos ensaios da configuração 2, razão pela qual não se faz referência aos resultados das restantes configurações, dado estas terem por objetivo melhorar a estabilidade do manto interior em enrocamento. De forma abreviada as principais conclusões dos ensaios foram as seguintes:

Configuração 1:

- Os blocos do manto resistente da retenção, CORE-LOC™ de 2 m³, revelaram-se instáveis;
- Os CORE-LOC™ de 3,9 m³ no troço compreendido entre a cabeça e o cotovelo sofreram assentamentos assinaláveis;
- Algumas pedras de enrocamento do prisma de travamento do talude deslocaram-se para cima da primeira fiada de CORE-LOC™, mas o prisma manteve-se estável.

Configuração 2:

A configuração 2 difere da 1 na zona da retenção, onde os CORE-LOC™ passaram a ter 3,9 m³ e a cota do enrocamento foi elevada. No quebra-mar foi aumentada a largura da berma que de três passou a ser composta por cinco fiadas de CORE-LOC™. Foi ainda elevado o prisma do pé de talude da -12 para a -8,4 m (ZH) para reduzir o número de fiadas e consequentemente o assentamento.

As principais conclusões dos ensaios da configuração 2 foram as seguintes:

- Os blocos do manto resistente da retenção de 3,9 m³ revelaram-se estáveis;
- No manto resistente do quebra-mar apenas se observou um pequeno assentamento;
- O prisma de pé de talude sofreu um ligeiro rearranjo.

Porto de Vale de Cavaleiros na ilha do Fogo

Considerações

Também neste caso, a Empreitada foi lançada antes da elaboração dos ensaios em modelo físico reduzido, tendo estes ficado a cargo da CPTP e sido elaborados no laboratório da Sogreah. O Projeto de Execução ficou a cargo da PROMAN e a Fiscalização a cargo da Consulmar.

Critérios de estabilidade

Do relatório da Sogreah não constam os critérios de estabilidade adotados. Depreende-se, no entanto, que para a verificação da estabilidade dos mantos resistentes constituídos por blocos de camada única foi feita para a onda $120\%H_s$.

Programa de ensaios

No total, foram efetuados quatro séries de ensaios, correspondendo cada série a uma configuração diferente: A configuração do Projeto Base e a do Projeto Base Modificada (com manto resistente em CORE-LOCTM) a Solução Alternativa e a Solução Alternativa Modificada (com manto resistente em ACCROPODESTMII), a primeira correspondente à solução patenteada a concurso e as restantes três correspondentes às soluções alternativas propostas pela CPTP.

O programa dos ensaios realizado consistiu em fazer incidir apenas numa direção ($315^\circ N$), alturas de onda correspondentes a 1, 10 e 100 anos de período de retorno e 120% da de 100 anos de período de retorno, período de 16 s e níveis de maré de BM e PM com sobrelevação.

Resultados dos ensaios

A configuração correspondente ao Projeto Base (sem proteção do pé do talude) revelou-se instável, tendo sido recomendado a colocação de blocos de betão.

Na retenção, a proteção de pé de talude em blocos paralelepípedicos de 44 t demonstrou ser estável nos ensaios da Solução Alternativa, mas instável no intradorso da cabeça do quebra-mar em resultado dos fortes galgamentos.

A estabilidade do pé de talude do intradorso do quebra-mar foi conseguida com a configuração correspondente à Solução Alternativa Modificada que consistia no travamento do pé do talude da cabeça do quebra-mar através de uma vala e na restante extensão com blocos paralelepípedicos de 44 t.

O manto resistente em ACCROPODETMII de 3 m^3 e 6 m^3 na retenção e no quebra-mar, respetivamente provaram ser estáveis quando associados às configurações de proteção do pé de talude anteriormente indicadas.

3.8 – Alturas de ondas de projeto e alturas de onda consideradas nos ensaios

No quadro seguinte apresentam-se resumidamente as alturas de onda de projeto e as consideradas nos ensaios em modelo físico reduzido.

Quadro 6 – Alturas de onda de projeto versus alturas de onda de ensaio

Portos	R (anos)	H_s (m)	T_p (s)	$120\%H_s$ (m)
Sal-Rei	50	5,3	18	6,40
Praia	50	3,5	17	3,5 ⁽¹⁾ 4,4; 4,7 e 5,1 ⁽²⁾
Vale de Cavaleiros	100	5,7	16	6,90

⁽¹⁾ H_s – ensaios das configurações 1; 2; 3 e 4. ⁽²⁾ 125; 135 e 145% H_s , respetivamente. Ensaios de rotura da configuração 4

Conforme se constata as alturas de onda consideradas nos ensaios são substancialmente superiores às consideradas no pré-dimensionamento, daí resultando a necessidade de adoptar blocos de maior volume/peso unitário.

3.9 – Principais alterações aos Projetos de Execução decorrentes dos resultados dos ensaios

Porto de Sal-Rei na ilha da Boavista

Na sequência dos ensaios em modelo reduzido (2D e 3D), foram efetuadas as seguintes alterações ao Projeto Base patenteado a concurso (Figs. 14 e 15):

- 1- Alteração do volume unitário dos blocos tipo ACCROPODE™ e das subcamadas correspondentes

De acordo com os resultados dos ensaios e recomendações da CLI, foi efetuada a substituição do manto de proteção da cabeça em ACCROPODE™ de 4 m³ por ACCROPODE™ de 6,3 m³, tal como da camada subsequente em enrocamento de 6 a 13 kN para 10 a 20 kN, e do manto de proteção do tronco em ACCROPODE™ de 3 m³ por ACCROPODE™ de 5 m³, e da subcamada correspondente de enrocamento de 5 a 10 kN para 8 a 17 kN.

- 2- Introdução de berma de pé de talude

Foi incluída uma berma de pé de talude, não em enrocamento conforme sugestão da CLI, mas em blocos cúbicos de betão simples de 100 kN, de forma a permitir o “encosto” dos blocos ACCROPODE™, assentes sobre um tapete de enrocamento, variando o número de fiadas entre 1 a 3 blocos consoante a maior ou menor profundidade a que se implanta o perfil.

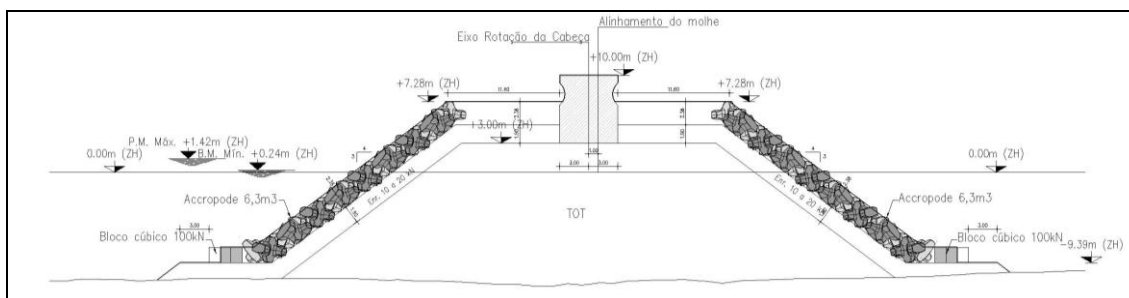


Fig. 14 – Corte transversal da cabeça (Consulmar, 2011)

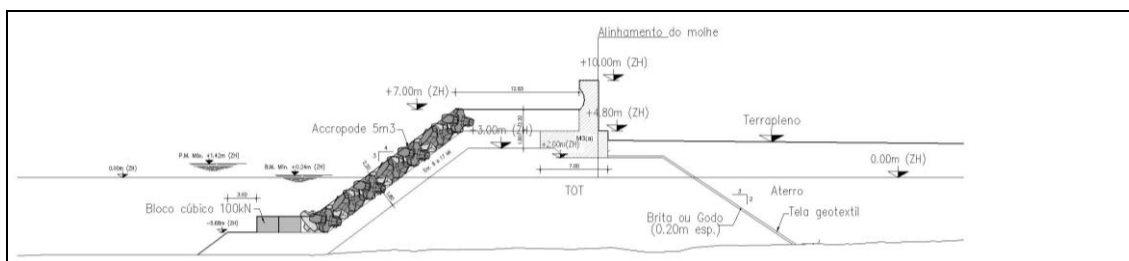


Fig. 15 – Corte transversal tipo do tronco (Consulmar, 2011)

Porto da Praia na ilha de Santiago

No caso deste porto, as alterações no manto resistente verificaram-se apenas na zona da retenção, onde os CORE-LOC™, de 2 m³ foram substituídos por CORE-LOC™ de 3,9 m³. Na restante extensão, tanto no tronco como na cabeça mantiveram-se os volumes pré-dimensionados, ou seja 3,9 m³.

O manto resistente apresentou também um bom comportamento sob a atuação das ondas de 125 e 135% H_s , não se tendo registado quedas, mas apenas movimentos, mas com a actuação da onda 145% H_s , o molhe entrou em rotura.

A proteção do pé de talude manteve-se igualmente inalterada, embora para os ensaios com a onda de projeto correspondente a um período de retorno de 100 anos e seguintes se tenham observado algumas quedas.

Desta forma, a geometria dos perfis do Projeto Base mantiveram-se praticamente inalterados, sendo os do Projeto de Execução semelhantes aos apresentados nas figuras 9 e 10.

Porto de Vale de Cavaleiros na ilha do Fogo

No quebra-mar, as principais alterações entre o Projeto Base e o Projeto de Execução residem no facto de o manto resistente em CORE-LOC™ de 3,9 m³ ter sido substituído por ACCROPODE™II de 6 m³ e a proteção do talude ser conseguida à custa de uma vala moldada no fundo e de um prisma de pé de talude, em blocos paralelepípedicos de 44 t.

Na retenção, os CORE-LOC™ de 3,9 m³ foram substituídos por ACCROPODE™II de 3 m³ e a proteção do talude foi conseguida igualmente por um prisma de pé de talude em blocos paralelepípedicos de 44 t.

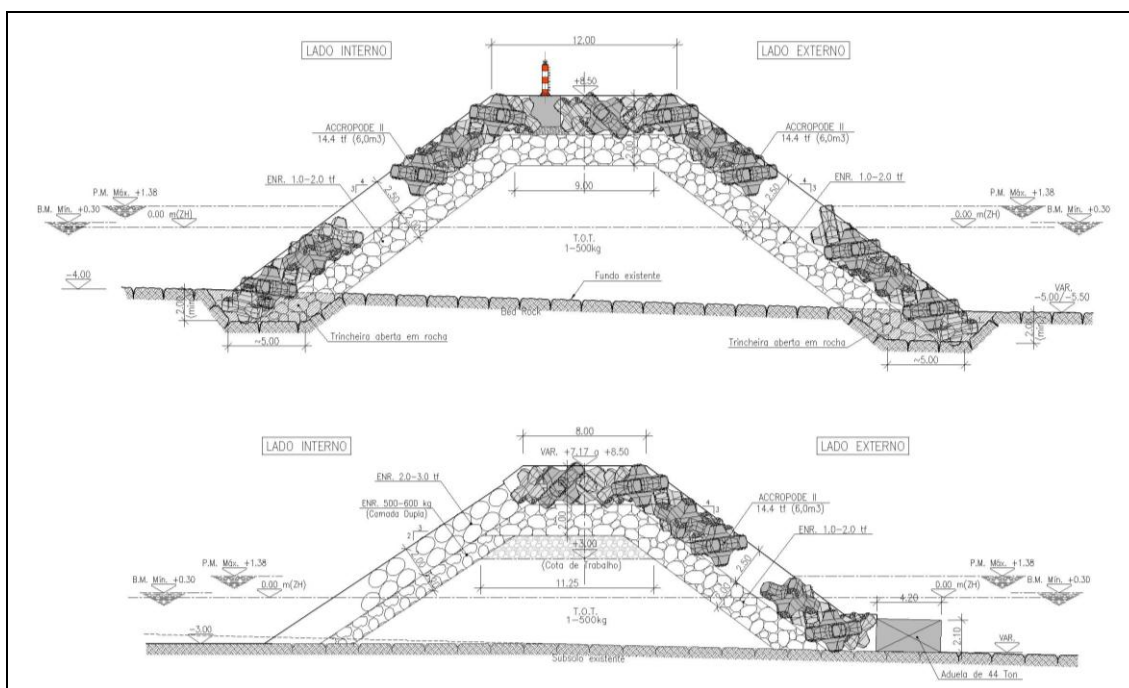


Fig. 16 – Corte transversal tipo da cabeça e tronco do quebra-mar norte (PROMAN, 2001)

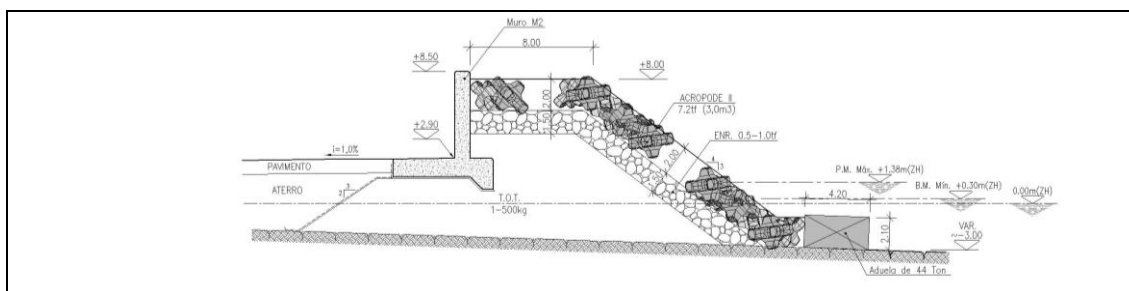


Fig. 17 – Corte transversal tipo do tronco da retenção (PROMAN, 2001)

Seguidamente apresenta-se um quadro que resume as principais alterações entre o previsto nos Projetos Base e adotado nos Projetos de Execução.

Quadro 7 – Características dos mantos resistentes pré-dimensionados nos Projetos Base e adotados nos Projetos de Execução

Porto	Blocos	Projeto Base			Projeto de Execução		
		Cabeça	Tronco	Pé	Cabeça	Tronco	Pé
Sal-Rei	Tipo	ACCROPODE™	ACCROPODE™	-	ACCROPODE™	ACCROPODE™	CUBOS
	Volume (m ³)	4	3	-	6,3	5	100 kN ⁽²⁾
Praia	Tipo	CORE-LOC™	CORE-LOC™	Enrocamento	CORE-LOC™	CORE-LOC™	Enrocamento
	Volume (m ³)	3,9	2 e 3,9	1,5 a 2,5 t	3,9	3,9	1,5 a 2,5 t ⁽²⁾
Vale de Cavaleiros	Tipo	CORE-LOC™	CORE-LOC™	-	ACCROPODE™II	ACCROPODE™II	PARALELIPIPEDOS
	Volume (m ³)	3,9	3,9	-	6 e 3 ⁽¹⁾	6 e 3 ⁽¹⁾	44 t ⁽²⁾

⁽¹⁾ - 6 m³ na cabeça e tronco do quebra-mar norte e 3m³ na cabeça e tronco da proteção.

⁽²⁾ - As unidades indicadas são a adoptadas pelos diferentes estudos, não tendo sido feita a sua uniformização.

4 – RESUMO E CONCLUSÃO

Nesta comunicação apresentam-se de forma resumida os critérios de dimensionamento recomendados pela CLI, CEM e Rock Manual para o pré-dimensionamento de mantos resistentes constituído por blocos de betão de camada única. Embora não seja objetivo da presente comunicação comparar a metodologia indicada nas várias publicações da especialidade, julga-se ser de registar que o CEM aborda de forma resumida o pré-dimensionamento dos mantos de proteção de camada única, enquanto o Rock Manual sendo mais detalhado, apresenta a informação de forma muito dispersa, o que dificulta o trabalho dos projetistas.

Analisaram-se igualmente três casos práticos de aplicação de blocos do tipo CORE_LOC™, ACCROPODE™ e ACCROPODE™II, tendo sido feita a comparação entre o pré-dimensionamento dos mantos resistentes efetuado em fase de Projeto Base e as alterações introduzidas nos respectivos Projetos de Execução, decorrentes dos resultados dos ensaios em modelo físico reduzido.

Constatou-se generalizadamente que, pelo facto dos critérios de verificação da estabilidade utilizados nos ensaios em modelo físico reduzido serem mais exigentes do que os critérios de pré-dimensionamento, os mantos resistentes constituídos por blocos de camada única constantes dos Projeto de Execução, resultaram mais robustos dos que os estimados na fase de elaboração dos Projetos Base.

Para evitar tais discrepâncias, considera-se mais prudente que, nas fases de pré-dimensionamento, para além de seguir os critérios de dimensionamento indicados no ponto 2, se tenha também em consideração os seguintes critérios:

- Para além de ser efectuada uma estimativa do volume/peso unitário dos blocos do manto resistente considerando H_s, fazer também uma avaliação considerando 120%H_s;
- Avaliar o possível efeito dos galgamentos na estabilidade dos blocos, quer devido ao run-down no talude exterior, quer devido ao efeito do galgamento no talude interior;
- Analisar a estabilidade do prisma de pé de talude, tendo presente que soluções em enrocamento serão, muito provavelmente, instáveis nas extensões em que as estruturas fundam a menores profundidades, sendo necessário nestes casos blocos de betão;
- Ponderar as eventuais vantagens da relação custo de fabrico versus custo de colocação, pois o aumento do volume unitário conduz à redução do número de colocações o que pode ser economicamente mais vantajoso, além de ter o benefício de se obter uma reserva de segurança, benefício este que se poderá repercutir em

menores custos de manutenção futura do manto resistente.

Embora não tendo sido abordado nesta comunicação as consequências económicas de tais discrepâncias, facilmente se depreende, embora apenas qualitativamente, que serão substanciais, dado que não só conduzem a um aumento significativo dos volumes de betão, como ao aumento da gama e do volume dos materiais constituintes das subcamadas.

Finalmente, de referir que será de todo interesse para todas as partes envolvidas (projetistas do Projeto Base, Projetista do Projeto de Execução, Empreiteiros e Donos de Obra), efetuar os ensaios em modelo físico antes do lançamento da empreitada, incorporando os seus resultados no projeto lançado a concurso. Trata-se obviamente de uma recomendação que não se aplica a Portugal, dado que o novo Código da Contratação Pública assim o obriga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PORTO DA PRAIA

EGIS BCEOM International (2008). “Preparatory Studies for the first Phase of the Port of Praia Expansion and Modernization Project - Breakwater Design Report, Final Version”;

SOGREAH (2008). “Port of Praia Expansion Project (Cape Verde). 3D Model Study: Stability and Overtopping. Final Report.”

CONSULMAR (2011). “Projeto de Expansão e Modernização do Porto da Praia - Fase 2. Projetos de Execução. Componente 2 – Proteção do Terraplino e Componente 3 – Quebramar.”;

PORTO DE SAL-REI

HIDROPROJECTO (2008). “Construção da Expansão do Porto de Sal-Rei – 1.ª Fase, Ilha da Boavista. Volume I – Obras Marítimas, Projeto-Base”;

CLI, Concrete Layer Innovations (2009). “Extension of the Sal-Rei harbour – Boavista Island – Cape Verde – ACCROPODE™ armouring Comments on the design – rev0”;

LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2010). “Relatório dos ensaios bidimensionais em modelo reduzido, da Construção da Expansão do Porto de Sal-Rei -1.ª Fase (Ilha da Boavista - Cabo Verde)”;

LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2011). “Relatório Final dos ensaios tridimensionais em modelo reduzido, da Construção da Expansão do Porto de Sal-Rei -1.ª Fase (Ilha da Boavista - Cabo Verde)”;

CONSULMAR (2011). “Construção da Expansão do Porto de Sal-Rei, Ilha da Boavista. Projeto de Execução. Parte 1 – Protecção Marítima”.

PORTO DE VALE DE CAVALEIROS

HIDROPROJECTO (2010). “Construção das Expansões dos Portos de Vale Cavaleiros e Furna. Volume 2 – Projetos do Porto de Vale Cavaleiros, Tomo I: Obras Marítimas, Projeto-Base”;

HIDROPROJECTO (2011). “Construção da Expansão dos Portos de Vale Cavaleiros e Furna. Assistência Técnica – Parecer sobre a Solução Alternativa ao Projeto de Execução”;

SOGREAH (2011). “Extension of Vale dos Cavaleiros Port – 3D Physical Model Tests – Final Report”;

OUTROS

CEM (2006). “Coastal Engineering Manual.” Department of the Army, USACE, Washington, DC. Versão provisória disponível na “world wide web” (WWW);

The Rock Manual (2007). The Use of Rock in Hydraulic Engineering, 2nd Edition (CIRIA C683);

Consulta da página da internet da CLI - Concrete Layer Innovations, www.concretelayer.com.