



ACESSIBILIDADES MARÍTIMAS DO PORTO DE LEIXÕES – A REDEFINIÇÃO DE NOVOS LIMITES NA DRAGAGEM DE ROCHA - FASE DE EXECUÇÃO

Pedro Ribeiro; António Nôro; Franky Peeters

ribeiro.pedro@deme-group.com; noro.antonio@deme-group.com; peeters.franky@deme-group.com

O projecto

Foi adjudicada pela Administração dos Portos Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL), ao Consórcio constituído pelas empresas Dredging International NV, Teixeira Duarte SA e Tecnovia, a “*Empreitada de Prolongamento do Quebra-mar e das Acessibilidades Marítimas do Porto de Leixões*”. Esta empreitada, na vertente das Acessibilidades Marítimas, contemplava importantes obras de aprofundamento do Canal de Acesso e Bacia de Manobras do Porto de Leixões com vista a melhorar as condições de segurança e a navegabilidade das embarcações no seu acesso ao Porto de Leixões bem como na zona de manobra e anteporto.

Com esta melhoria a APDL pretende melhor servir o tráfego marítimo actual, permitindo uma acessibilidade e manobra mais seguras e facilitadas, e, por conseguinte, melhorar a operacionalidade do porto. Adicionalmente, pretendia-se também criar condições de acesso e recepção de navios de carga e passageiros de maiores dimensões, de acordo com o aumento do tamanho das embarcações que se tem vindo a verificar nas últimas décadas e que procuram utilizar o Porto de Leixões firmando assim este a sua posição como um porto da rede principal das Redes Transeuropeias de Transporte no corredor Atlântico.



Figura 1. Operações de dragagem no Porto de Leixões.

Para o aprofundamento do Canal de Acesso e Anteporto do Porto de Leixões para cotas de -16,85 mZHL e -15,50 mZHL respectivamente (Figura 2), no âmbito da empreitada das Acessibilidades Marítimas, eram estimados cerca de 3 Milhões de metros cúbicos de material a dragar, dividindo-se estes em cerca de 40% sedimentos aluvionares (siltes e areias) e os restantes 60% referente a uma matriz rochosa bastante heterogénea composta por afloramentos de rochas granitoides (granitos) instaladas num conjunto de rochas metassedimentares como micaxistos, gnaisses e migmatitos.

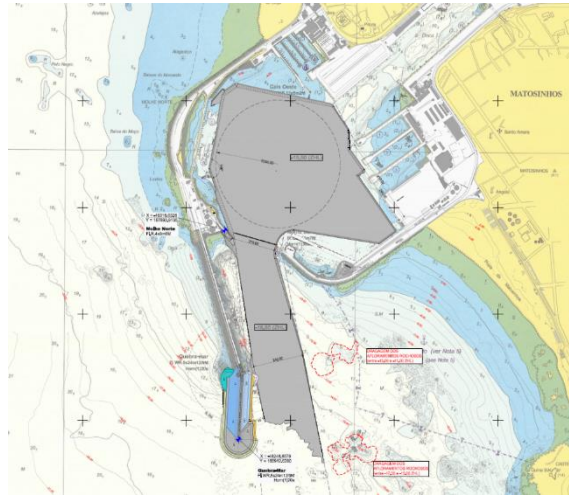


Figura 2. Planta de dragagem da empreitada.

Caracterização Geológica-geotécnica dos Fundos Portuários do Porto de Leixões

A bacia hidrográfica do rio Leça insere-se na Zona Centro Ibérica (ZCI), correspondendo nesta região a afloramentos de rochas granitóides (essencialmente granitos), instaladas num conjunto de rochas metassedimentares do Paleozóico (micaxistos, gnaisses e migmatitos). Sobre estas formações e na zona terminal do rio Leça (área de intervenção da empreitada), encontram-se depósitos aluvionares de natureza flúvio-marinha.

Para uma caracterização detalhada da área a intervencionar, foi desenvolvido um modelo geológico que teve como base os resultados obtidos por todas as campanhas de prospecção geológica-geotécnica anteriores à empreitada (Figura 3) – campanhas de reflexão e refração sísmica e sondagens mecânicas – fornecidos pela APDL, bem como 2 campanhas de sondagem mecânica adicionais realizadas pelo Consórcio, uma em meio marinho anterior à empreitada e uma em terra já após a adjudicação da mesma, para melhor calibração do modelo.

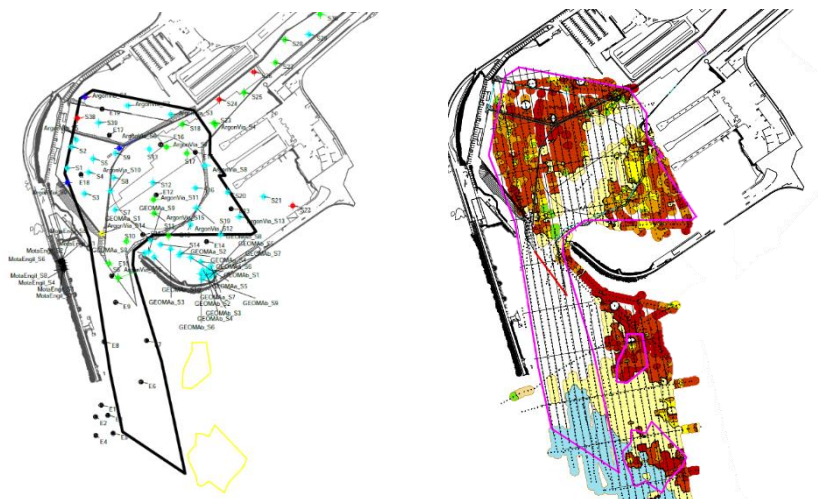


Figura 3. Esquerda: Representação de todos os furos de sondagem efectuados nas diferentes campanhas de sondagem mecânica anteriores à empreitada. Direita: Representação das linhas de navegação executadas (e pontos de disparo) durante a campanha de refração sísmica realizada.



Foi assim possível verificar a grande heterogeneidade e complexa estratigrafia dos fundos portuários, confirmando a natureza do substrato rochoso como maioritariamente xistenta ou granítica, em geral medianamente (W_3) ou pouco alterado (W_2), apresentando fracturas próximas (F_4) a muito próximas (F_5) variando as profundidades do topo do maciço entre os -2,0 mZHL e os -9,0 mZHL. Este substrato rochoso, para as profundidades prospectadas, encontrava-se maioritariamente na zona do Anteporto, apenas com pequena propagação para o Canal de Acesso. Nas restantes áreas e sobre o substrato rochoso, verificou-se a presença de formações aluvionares caracterizadas pela presença de lodos (na maior parte da área) e areias (no Canal de Acesso do Porto de Leixões). Verificou-se ainda uma estratigrafia de direcção quase vertical do substrato rochoso e características variáveis das diferentes litologias de rocha (anisotropia conferida pela xistosidade, foliação ou pela estratificação). Das amostragens efectuadas, foram realizados também ensaios à compressão simples (UCS) onde se verificaram variados valores de resistência à compressão de acordo com o tipo de litologia encontrada, ver Tabela 1 abaixo, tendo sido obtido o valor máximo de 71 MPa referente a um afloramento de granito. No entanto, através de amostras retiradas do material dragado e posteriormente testadas em laboratório, verificou-se a presença de rocha com resistência à compressão uniaxial de 124 MPa que ainda que não representado a totalidade da matriz rochosa dos fundos do Porto de Leixões (pela heterogeneidade que é conhecida) apresenta localmente um enorme desafio para a dragagem.

Tabela 1. Valores médios de resistência à compressão por litologia amostrada.

Tipo de Rocha	UCS (MPa)
Gnaisse	20
Xisto	15
Ortognaisse	35 (40)
Granito	71

Na Figura 4 abaixo, apresenta-se um perfil longitudinal ao longo do Canal de Acesso e atravessando o anteporto do Porto de Leixões, obtido do modelo geológico desenvolvido, onde se demonstra a grande heterogeneidade geológica e geotécnica encontrada nesta empreitada.

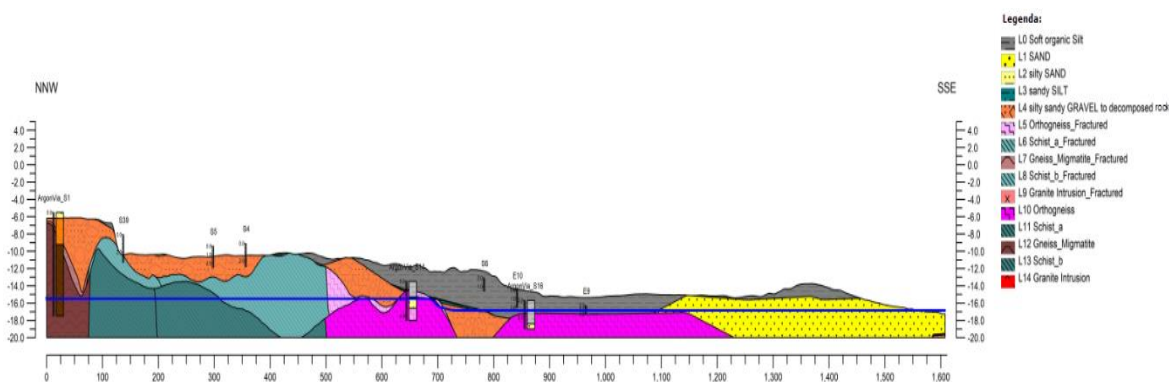


Figura 4. Perfil longitudinal ao longo do Canal de Acesso e anteporto do Porto de Leixões obtido através do modelo geológico desenvolvido.

A partir do modelo geológico obteve-se também uma planta de representação da profundidade do topo da rocha (Figura 5), esta, uma ferramenta essencial para o apoio ao planeamento dos trabalhos de dragagem a efectuar.

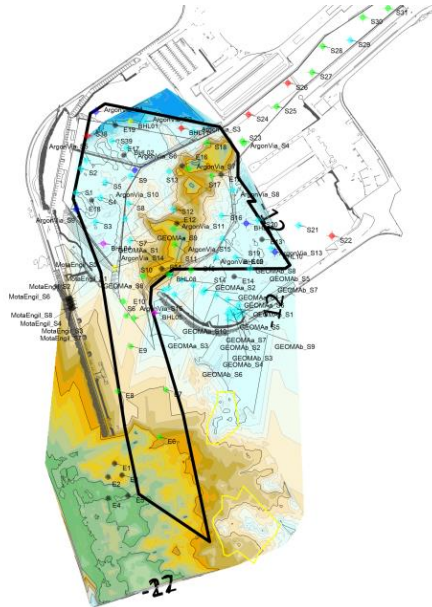


Figura 5. Representação da profundidade do topo do estrato rochoso obtido através do modelo geológico desenvolvido.

Método de Execução

As anteriores campanhas de dragagem (aprofundamento) do Porto de Leixões foram realizadas com o recurso a explosivos para o desmorte do maciço rochoso e subsequente dragagem desse material. As campanhas de desmorte e dragagem de maciços rochosos envolvem elevados tempos de execução com consequências directas nas operações portuárias, possuindo diversos condicionamentos relacionados com o uso de explosivos em meio urbano e com proximidade a estruturas importantes e adicionalmente impactos na fauna e flora locais.

Deste modo, e com vista a minimizar o impacto no quotidiano da operação portuária bem como mitigar os riscos associados aos trabalhos de dragagem, este Consórcio mobilizou para a execução dos trabalhos um recém-construído equipamento, único no mundo, uma draga de corte e sucção (CSD) que com a sua elevada potência de corte foi capaz de numa única acção, desmontar e dragar a rocha presente no Porto de Leixões.

Equipamento

As dragas de corte e sucção (CSD) são um tipo de dragas estacionárias sendo que podem ser ou não autopropulsionadas. Sendo uma draga estacionária tem capacidade para dragar em continuo materiais com diferentes matrizes geológico-geotécnicas, desde argilas, lamas, areias e até rocha. O processo de dragagem envolve uma forte acção inicial de corte e de mistura (sedimentos/água), seguida de sucção e descarga bombeada através de uma tubagem ou por recurso a batelões de descarga (SHB).

A draga seleccionada para executar esta empreitada, tendo em conta as características geológicas-geotécnicas do Porto de Leixões, foi a CSD Spartacus (Figura 6). Esta draga mede 164 metros de comprimento e tem uma potência total instalada de 44 180 kW, tornando-a o maior e mais potente CSD do mundo. A sua propulsão é suportada por quatro motores Wärtsilä 46DF e dois motores Wärtsilä 20DF, que podem operar com gás natural liquefeito (LNG), gasóleo marítimo (MGO) ou crude pesado (HFO), sendo esta a primeira CSD com capacidade para combustível LNG, conferindo assim pontos adicionais no vector da sustentabilidade.

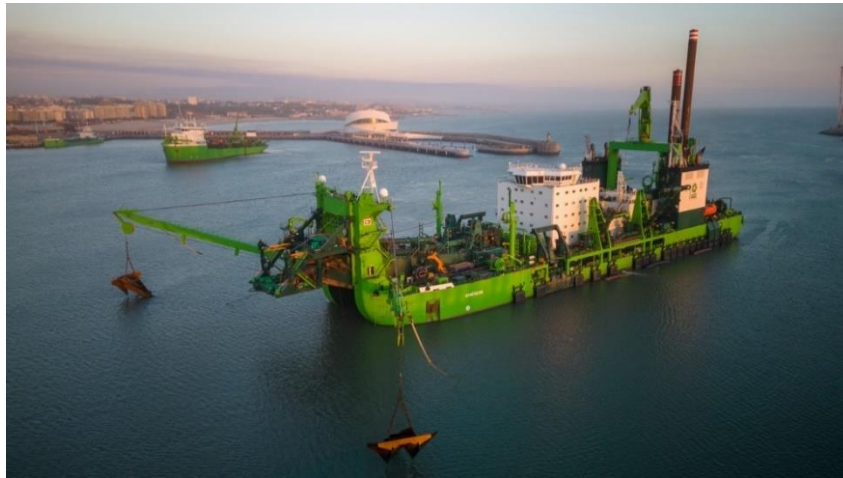


Figura 6. CSD Spartacus em operação no Porto de Leixões.

Em termos operacionais esta draga está equipada com um lança de 2550 toneladas e estacas de 72 m de comprimento, sendo capaz de dragar a profundidades de até 45 metros e uma potência de corte de 12 000 kW gerados por um motor eléctrico e transformados por uma caixa de transmissão única desenvolvida para o efeito. Tais características aliadas às 14 cabeças de corte (CH) de 6 designs distintos por forma a cobrir os vários tipos de material a dragar, fazem desta a draga perfeita para todas as condições. A CSD Spartacus está ainda equipada com 25,5 MW de capacidade de bombagem possibilitando-lhe trabalhar autonomamente bombeando o material dragado a uma distância superior a 10 km. Na figura abaixo é apresentado um esquema ilustrativo das principais características físicas de uma CSD.

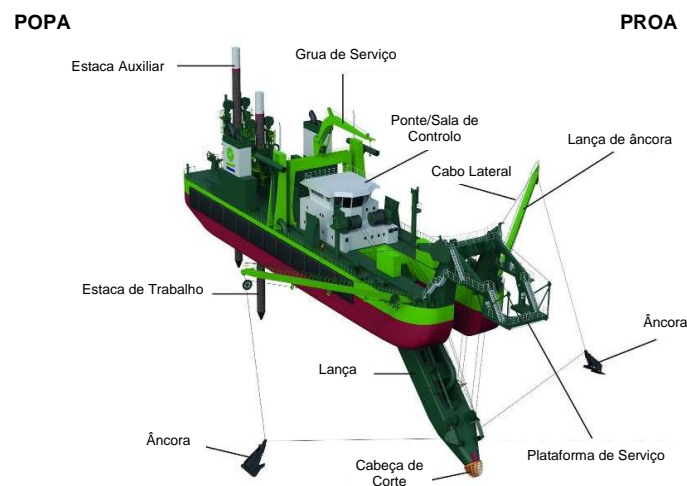


Figura 7. Esquema ilustrativo das principais características físicas de uma CSD.

Esta draga possui acomodação a bordo para 72 pessoas, ligada ao casco da embarcação por sistemas de absorção de vibrações de forma garantir o conforto a bordo. A bordo está localizada também uma oficina de reparação de cabeças de corte com capacidade para 3 unidades em simultâneo sendo o seu piso também isolado das vibrações que advém da sua operação, possibilitando assim efectuar a manutenção e reparação das CHs de acordo com standards necessários. Tendo em conta as condições limite geológicas-geotécnicas do material (rocha) para o qual esta draga foi projectada, por forma a garantir um elevado grau de eficiência e operacionalidade, é possível a bordo e remotamente avaliar em tempo real o equipamento crítico



sobre diversos parâmetros (e.g. vibrações, tensões nas estacas, torque, tensões nos cabos das âncoras) por forma a possibilitar uma Manutenção Baseada em Condições e assim atempadamente evitar a avaria destes componentes e por consequência o tempo operacional da draga.

O emprego desta draga em qualquer tipo de empreitada, pode ser considerada uma operação complexa tem termos logísticos e operacionais (Figura 8). No pico da actividade, estiveram em obra 6 embarcações a trabalhar em simultâneo no Porto de Leixões. Para esta empreitada foram mobilizados dois batelões autopropulsionados de descarga (SHB) de 3500 m³ de capacidade de porão, SHB Bengel e SHB Deugniet. Os batelões depois de carregados pela CSD, transportam o material dragado para o local de imersão seleccionado efectuando a descarga por recurso a abertura do seu casco pelo eixo. Para o auxílio durante as operações de dragagem, foi mobilizada uma embarcação multifunções de apoio operacional, normalmente denominadas de “Multicat” que prestou assistência às manobras da draga (posicionamento das âncoras) mas também efectuou toda a logística relacionada com a operação como é o caso do transporte de consumíveis (cabeças de corte, dentes da cabeça de corte, etc.) de e para terra. Tendo em conta o elevado tamanho e peso de todos os componentes envolvidos na operação da CSD Spartacus, foi mobilizado o Multicat Auxilia que possui elevada capacidade de grua a bordo bem como dos seus guinchos tanto para o posicionamento das âncoras da CSD Spartacus como para manuseamento e transporte das cabeças de corte entre a draga e a oficina de reparação destes elementos em terra. Presente em obra esteve também uma lancha para execução de levantamentos batimétricos e trocas de tripulação.



Figura 8 – CSP Spartacus em operação no Porto de Leixões efectuando a carga da SHB Deugniet, SHD Bengel em standby, TSHD Nile River em operação, Lancha de Batimetria Geo Connection e Multicat Auxilia.

Logisticamente, a operação de uma CSD é mais complexa do que uma TSHD e tratando-se de dragagem de rocha a necessidade de substituição de consumíveis e reparação/manutenção de cabeças de corte aumenta drasticamente. Em terra foram criadas duas áreas logísticas, uma principal no Pólo 1 do Porto de Leixões com cerca de 5 000 m² onde eram recebidos e armazenados todos os transportes de consumíveis e equipamentos para as embarcações mobilizadas, bem como a preparação para novo transporte para a área logística intermédia (Figura 9), esta já de menor dimensão, dentro do Porto de Leixões. Aqui, e por limitação de espaço a bordo da CSD Spartacus, eram armazenados temporariamente os consumíveis e cabeças de corte sobressalentes para posterior transporte para bordo quando necessário. Esta área era também utilizada como área de armazenamento temporário de resíduos provenientes das embarcações para posterior encaminhamento por entidades competentes. Para a movimentação destas cargas em terra foram utilizados empilhadores de grande porte (25 Ton) bem como guas móveis de 60 a 250 toneladas de capacidade.

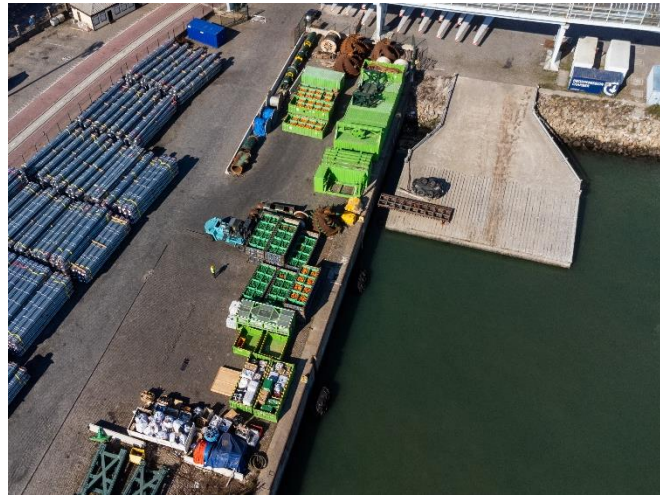


Figura 9. Área logística intermédia no interior do Porto de Leixões.

Também dentro do Porto de Leixões, foi instalada a oficina de reparação de cabeças de corte com cerca de 1000 m² (Figura 10), a laborar 24 horas por dia 7 dias por semana em simultâneo com a oficina de reparação a bordo da CSD Spartacus. Esta oficina estava equipada com equipamento e pessoal (soldadores) para a reparação em paralelo de 4 cabeças de corte, tendo sido totalizadas, durante o período de operações 6 meses), 36 reparações de complexidade variável. De mencionar que tanto para esta oficina como para a área intermédia de logística se procurou localizá-las junto a cais acostável por forma a minimizar os movimentos os movimentos de cargas aumentando assim a segurança das operações. A instalação desta oficina, verificou-se uma empreitada por si só, tendo em conta as condições de degradação do cais onde foi instalada, e conseqüente limitação da capacidade de carga do mesmo, que levou à necessidade de projectar e construir uma laje de regularização e distribuição de cargas bem como para a tenda que serviu de abrigo das às actividades.



Figura 10. Oficina de reparação de cabeça de corte no interior do Porto de Leixões.



Consumíveis

Os principais consumíveis de uma CSD são as cabeças de corte e os dentes de corte utilizados nestas. Para CSDs convencionais muitos destes consumíveis são compatíveis entre dragas, no entanto, devido à escala que a CSD Spartacus apresenta (cerca de 1,5 vezes o tamanho de uma CSD de grandes dimensões), e com a pretensão de dragar rocha de elevada dureza não só o tamanho destes consumíveis teve que ser modificar, mas também o seu design e materiais utilizados na sua fabricação, bem como a toda a logística envolvida no seu transporte, preparação e manutenção como antes mencionado. Por análise da tabela abaixo onde se apresentam algumas características da cabeças de corte da CSD Spartacus, e cruzando isso com a dragagem de rocha dura, é possível compreender a escala requerida para esta operação a todos os níveis.

Tabela 2. Características da cabeças de corte da CSD Spartacus.

Número	Fabricante	Sistema de Dentes	Tipo	Lâminas	Número de Dentes	DESIGN		
						Peso (Ton)	Diâmetro (m)	Altura (m)
CHP02-001	ESCO	7G Wing	Multiuso	5	55	40,9	4,4	3,2
CHP02-002	ESCO	7G Wing	Multiuso	6	66	46,3	4,8	3,1
CHP02-003	ESCO	9G Spherilok	Rocha Branda	5	43	37,1	4,1	3,0
CHP02-004	ESCO	9G Spherilok	Rocha Média	6	51	43,1	4,1	3,0
CHP02-005	ESCO	9G Spherilok	Rocha Média	6	51	43,1	4,1	3,0
CHP02-006	APT	T7 Wing	Multiuso	5	59	39,0	4,7	3,1
CHP02-007	APT	T7 Wing	Multiuso	6	69	43,5	4,7	3,1
CHP02-008	APT	T9 Tube	Rocha Branda	5	42	38,4	4,2	3,0
CHP02-009	APT	T9 Tube	Rocha Média	6	51	42,3	4,2	3,0
CHP02-010	APT	T9 Tube	Rocha Média	6	51	41,5	4,2	3,0
CHP02-011	ESCO	9G Spherilok	Rocha Dura	7	66	4,5	4,5	3,1
CHP02-012	ESCO	9G Spherilok	Rocha Dura	7	66	4,5	4,5	3,1
CHP02-013	APT	T9 Tube	Rocha Dura	8	80	42,5	4,2	2,9
CHP02-014	APT	T9 Tube	Rocha Dura	8	80	42,5	4,2	2,9

Durante a empreitada foram consumidos cerca de 32 000 dentes de corte, com pesos a variar entre os 26 e os 51 kg, que tiveram que ser recepcionados, preparados e transportados para a draga e da draga novamente para terra e encaminhados. Na Figura abaixo, apresenta-se uma cabeça de corte da CSD Spartacus equipada com um set completo de dentes de corte novos, e no caso, após cerca de 30 minutos de dragagem em rocha dura no Porto de Leixões o desgaste conferido por essa operação.



Figura 11. CH da CSD Spartacus equipada com um set completo de dentes de corte novos, à esquerda, e à direita, a mesma CH após a dragagem de rocha dura no Porto de Leixões.



Planeamento das Operações

No que às operações diz respeito, a execução de trabalhos de dragagem em qualquer porto comercial em operação é uma actividade que requer uma grande preparação a vários níveis, sendo o planeamento das operações e a sua compatibilidade com as operações portuárias um dos mais complexos.

No Porto de Leixões, pelas suas dimensões e pelo tráfego diário verificado, com movimentos diários ao longo de todo o dia, executar a sua dragagem de forma eficiente com todo o equipamento mobilizado, necessitou por parte da equipa em obra de um acompanhamento bastante próximo para o planeamento dessas operações. Essencial, foi também o suporte prestado pela APDL, nos seus vários departamentos (operações, pilotagem, etc.), por forma a maximizar as janelas de dragagem disponíveis, otimizando assim o tempo operacional das embarcações. Esta sinergia entre as entidades envolvidas, foi cultivada através de várias reuniões de preparação ao longo da empreitada, onde foram partilhadas informações como as capacidades técnicas das embarcações (e.g. manobrabilidade, funcionamento da âncoras da CSD Spartacus) os planos de dragagem e os planos de posicionamento das âncoras. Um dos entendimentos que resultou desta colaboração foi, na necessidade de passagem de um navio comercial, durante a actividade de dragagem da CSD Spartacus e caso esta não se encontrasse directamente no caminho do navio a entrar/sair, a possibilidade de tirar a tensão do cabo de uma das âncoras laterais até este ficar depositado no fundo marinho do porto permitindo a passagem do navio comercial em segurança. Na Figura abaixo é possível verificar o cabo da âncora lateral de estibordo em tensão (sinalizado a vermelho) e a bombordo (sinalizado a amarelo) verifica-se que o cabo não se encontra em tensão, estando este assente no fundo. A não necessidade de mover as âncoras laterais da CSD Spartacus e em última instância a própria draga, permitiu aumentar drasticamente a operacionalidade desta para níveis de eficiência aceitáveis.

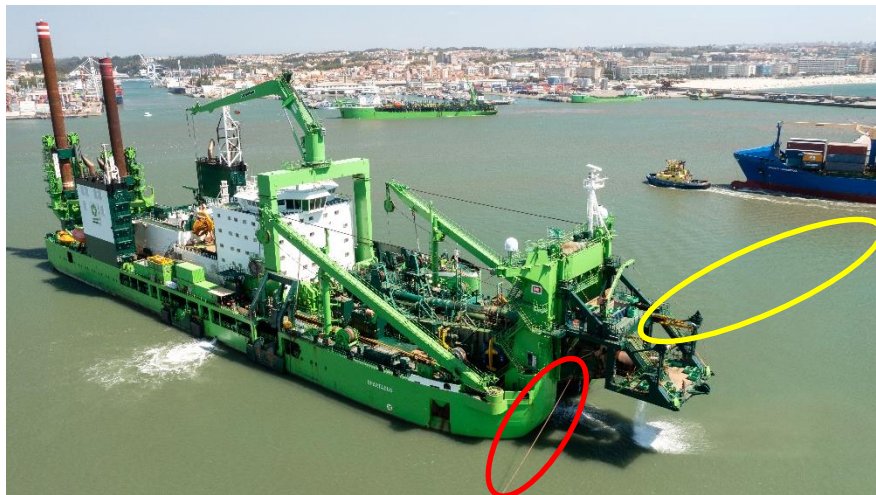


Figura 12. Operações de dragagem no Porto de Leixões a decorrer em simultâneo com as operações portuárias normais.

Reaproveitamento do Material Dragado

No âmbito desta empreitada, é também preconizada a construção de um novo Quebra-mar do Porto de Leixões (extensão do existente), a desenvolver-se por 300m, necessária para fornecer abrigo à entrada de navios de grande dimensão, Este novo quebra-mar irá desenvolver-se numa tipologia clássica de núcleo de enrocamento ToT, protegido por distintas camadas de enrocamento seleccionado, a serem as quais por sua vez, protegidas por 2 camadas de blocos Antifer de até 80 toneladas (no extradorso).

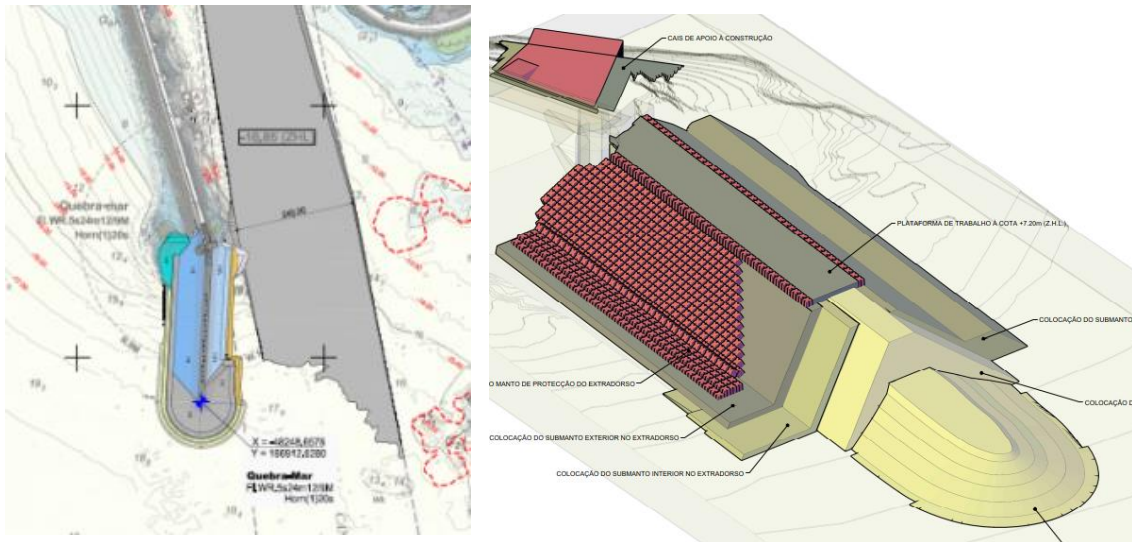


Figura 13. Esquema do novo Quebra-mar.

Foi um objectivo da APA, da APDL e da entidade projectista, em ambas as vertentes da empreitada (construção do novo quebra-mar e dragagens) criar iniciativas relacionadas com a sustentabilidade da empreitada. Uma dessas iniciativas consistiu no reaproveitamento de parte dos materiais resultantes da dragagem do material coerente (rocha) no núcleo do novo Quebra-mar, tendo sido o restante material rochoso dragado, imerso em vazadouro marítimo a SW do Porto de Leixões. Para a execução deste reaproveitamento foram efectuados levantamentos batimétricos detalhados e frequentes (a cada descarga) da zona de deposição dos sedimentos dragados, bem como estudos no âmbito da agitação marítima e do comportamento dinâmico dos Batelões de Descarga (SHB), por forma a viabilizar tecnicamente a actividade bem como garantir a segurança da tripulação e das embarcações afectas à mesma. Foi também efectuada uma estimativa da curva de distribuição granulométrica (PSD) do material rochoso presente no Porto de Leixões a dragar pela CSD Spartacus (Figura 14), tendo sido posteriormente comparada com amostras retiradas dos batelões para consequente aprovação pela Entidade Fiscalizadora da empreitada.

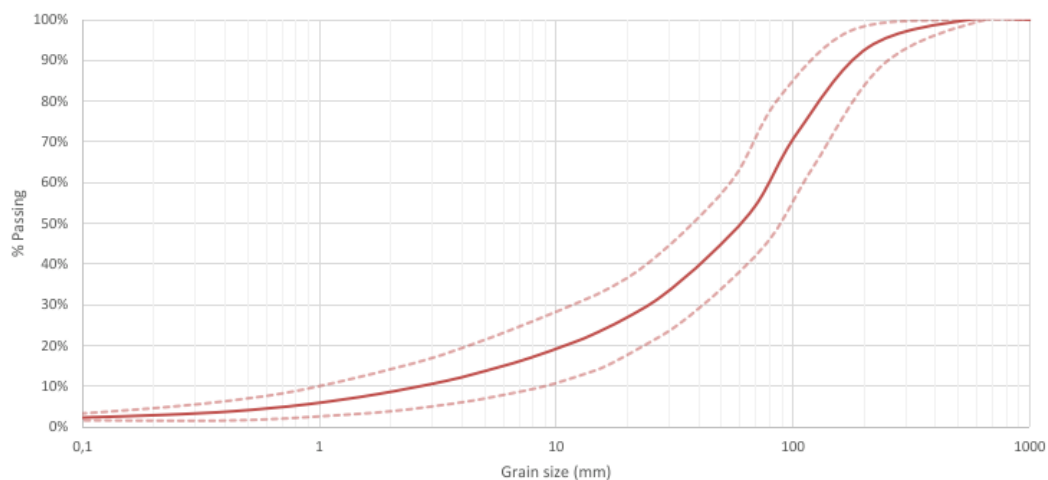


Figura 14. Estimativa da curva de distribuição granulométrica (PSD) do material rochoso a dragar pela CSD Spartacus no Porto de Leixões.



Considerações Finais

A elevada capacidade de corte da CSD Spartacus, aliada a uma execução altamente planeada, e com o alto grau de cooperação da entidade portuária, permitiu a dragagem de cerca de 1,8 Milhões de metro cúbico de rocha em aproximadamente 6 meses, com impacto mínimo nas operações portuárias. Este equipamento de dragagem vem trazer uma nova abordagem à dragagem de material rochoso, rompendo com as metodologias tradicionais e definindo novos limites para o futuro.

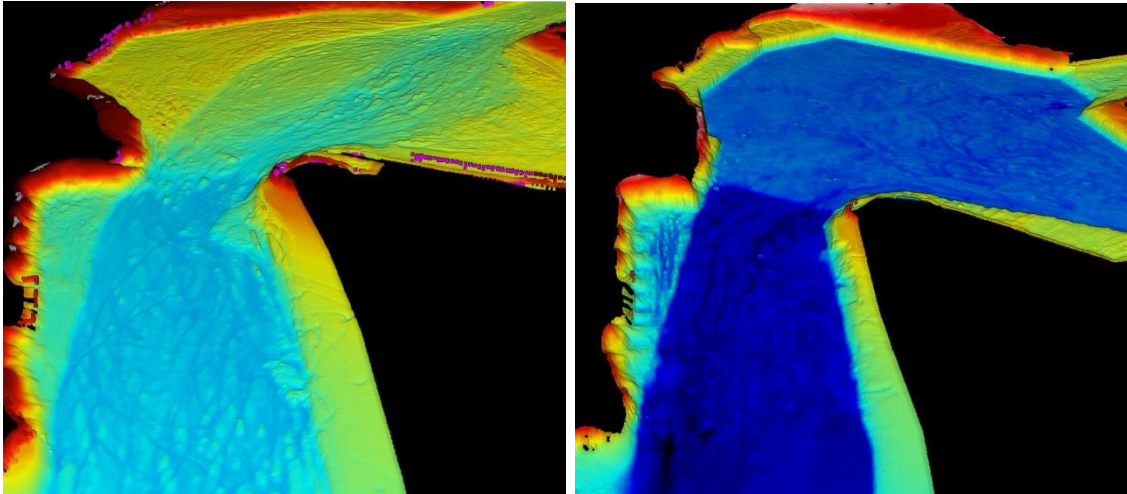


Figura 15. Representação tridimensional dos levantamentos batimétricos efectuados antes e após a conclusão (à esquerda e à direita respectivamente) dos trabalhos de dragagem no Porto de Leixões.

Considerando todos os riscos e impactos gerados pelas metodologias tradicionais para o desmonte de rocha subaquático, a utilização de dragas de corte e sucção como a CSD Spartacus permite mitigar os riscos associados, reduzir a duração dos trabalhos e um menor impacto na operação portuária. A utilização de metodologias tradicionais tais como o desmonte rochoso com recurso a explosivos teria como consequência uma duração das operações que não seria compatível com a duração prevista da empreitada, um impacto na operação portuária. A proximidade da área dos trabalhos a várias estruturas de interesse bem como a zonas habitacionais aumentaria o risco de reclamações e possíveis danos as estruturas envolventes.

Durante os 6 meses de operação da CSD Spartacus, a operação portuária desenvolveu-se sem qualquer impacto (Figura 16), o que se traduziu numa mais-valia para todos os *Stakeholders* envolvidos. A comunicação frequente com a Direção de Operações Portuárias e Segurança (DOPS) da APDL, iniciados meses antes do início das operações permitiu uma troca de conhecimentos e de estratégias que se revelou fundamental para o sucesso do projecto.

A elevada heterogeneidade da rocha presente na área dos trabalhos constituiu um elevado desafio para a equipa de projecto, no entanto, os meios de controlo e reporte das operações permitiu e a sua avaliação num processo de melhoria contínua, possibilitou a definição de estratégias, a selecção da adequada cabeça de corte e parâmetros da operação de dragagem, de forma garantir a integridade da embarcação bem como altos níveis de produtividade. A produtividade e custo da operação são dependentes da características geológica-geotécnicas do material a dragar, sendo a avaliação destas de essencial importância no momento da selecção o equipamento e tecnologia a utilizar na dragagem de rocha. A dragagem de material rochoso com recurso à draga de corte sucção CSD Spartacus representa um novo limite no que refere à dragagem rocha constituindo uma solução de alta produtividade, reduzidos impactos ambientais operacionais, e a um custo competitivo quando comparado com as metodologias tradicionais.



Figura 16. Operações de dragagem no Porto de Leixões a decorrer em simultâneo com as operações portuárias normais.