

SEMINÁRIO Geotecnia em Obras Marítimas – Aprender com a Experiência

Auditório Infante D. Henrique (APDL - Porto de Leixões)

02-03 DEZEMBRO 2024

Projeto para a Reabilitação do Cais da Doca 1 Norte do Porto de Leixões

Hugo Leite

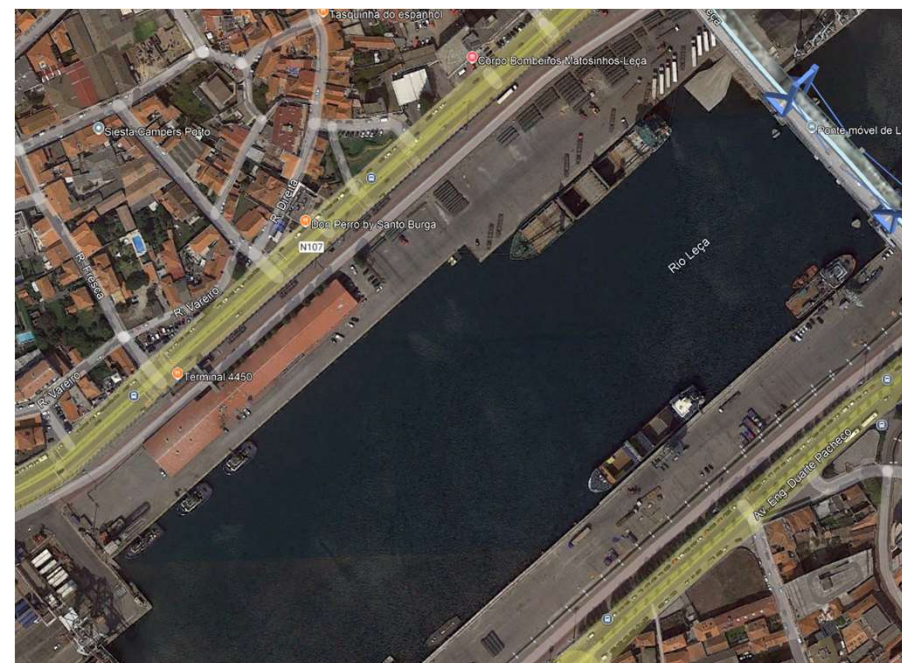
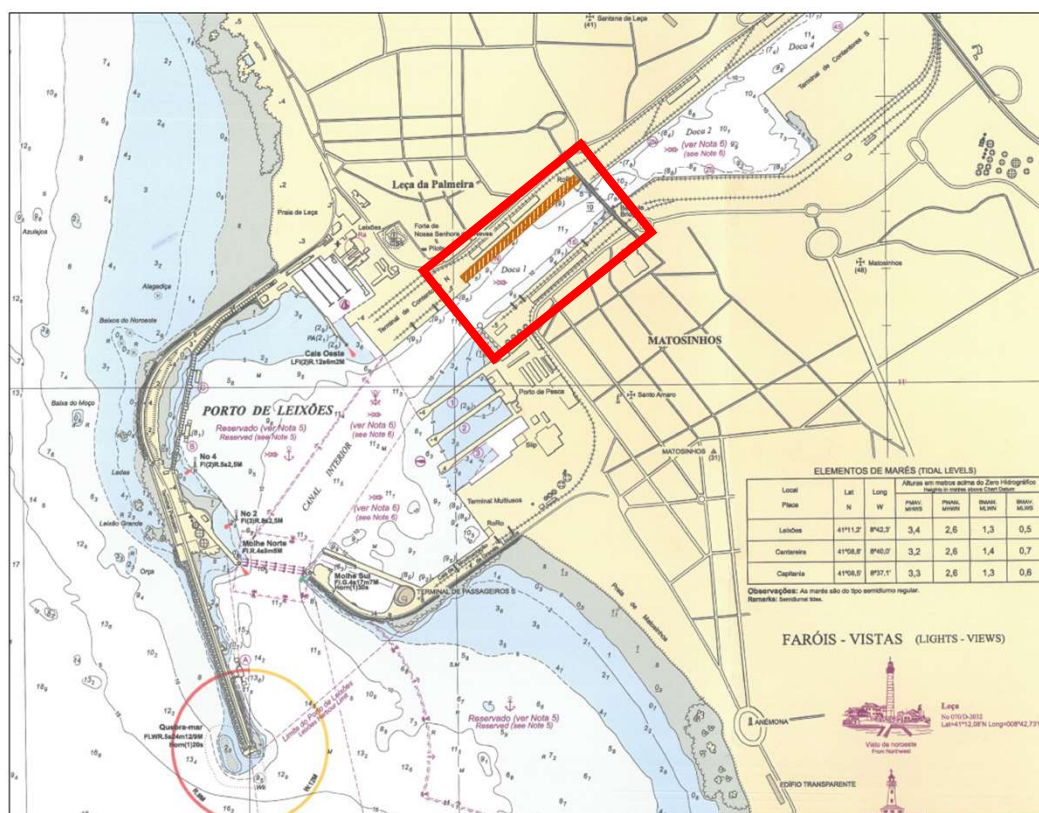
MSW



Organização

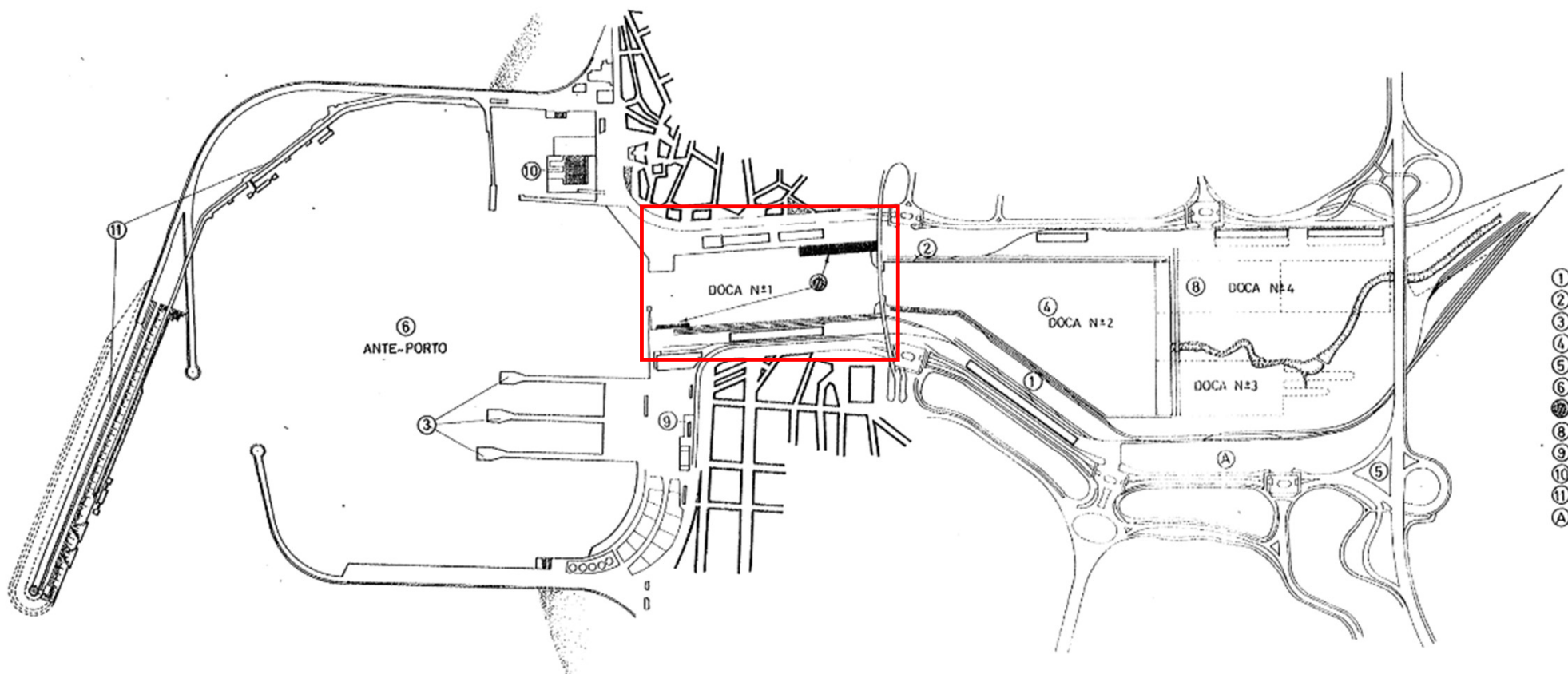


DOCA Nº1 – Localização (Construção durante a década de 1930)



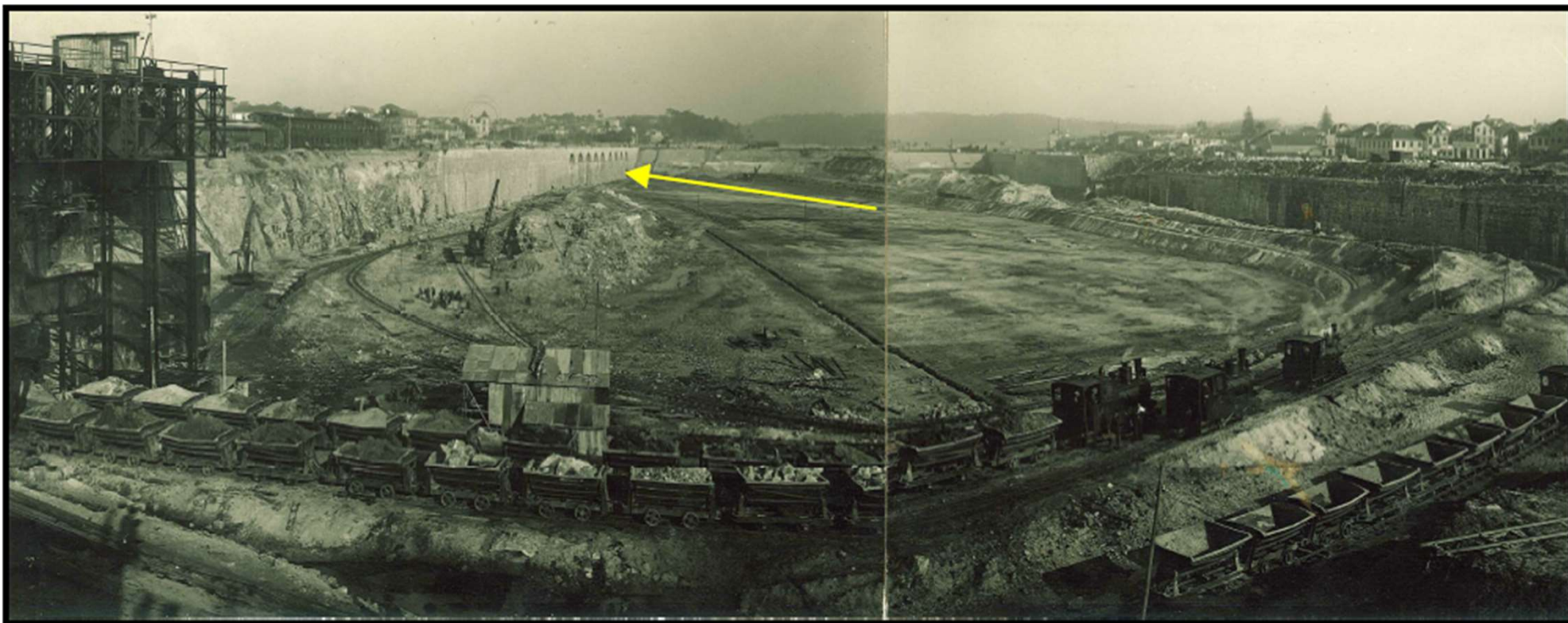
DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Construção durante a década de 1930)



DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

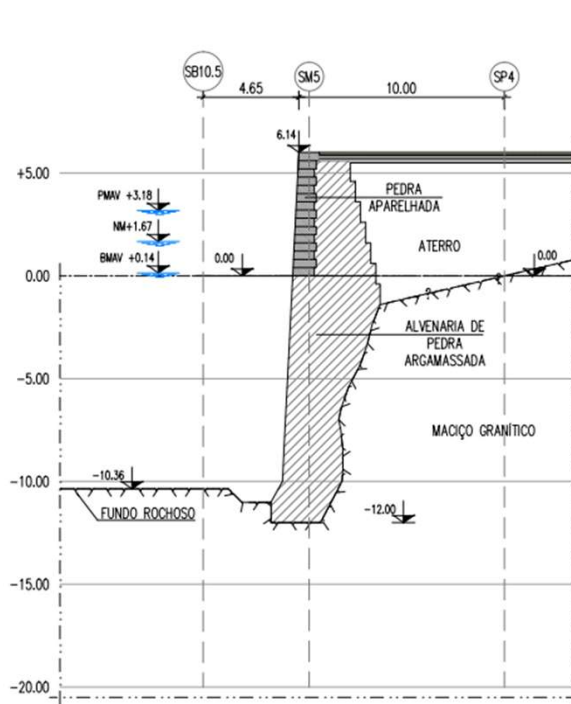
(Construção durante a década de 1930)



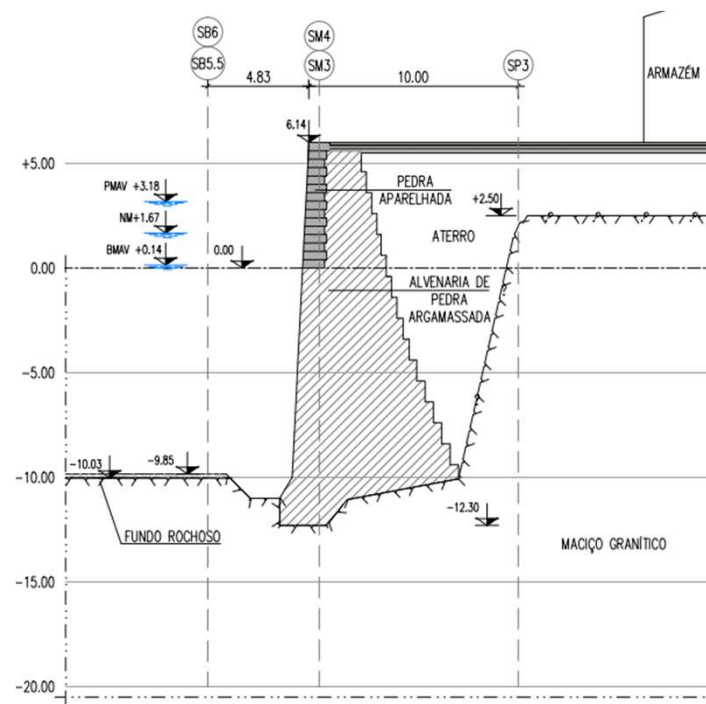
CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Construção durante a década de 1930)

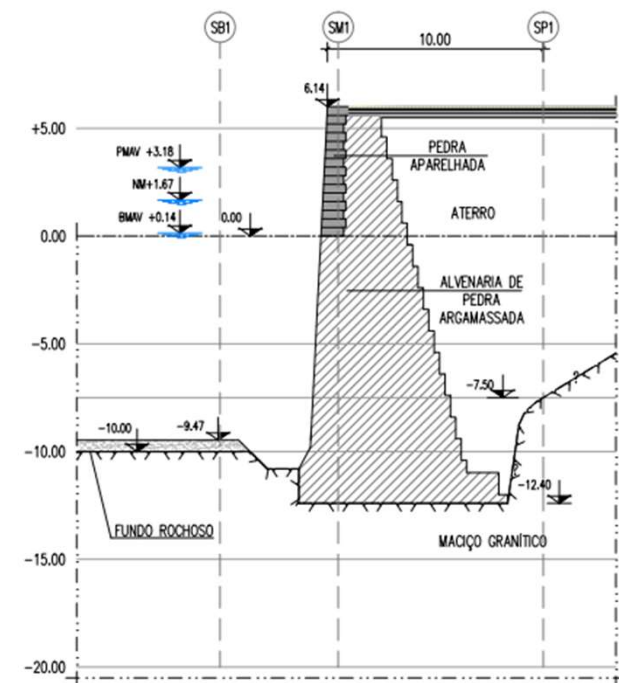
MURO CAIS-CONTÍNUO



Seção ponte



Seção central



Seção nascente

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Construção durante a década de 1930)

MURO-CAIS CONTÍNUO

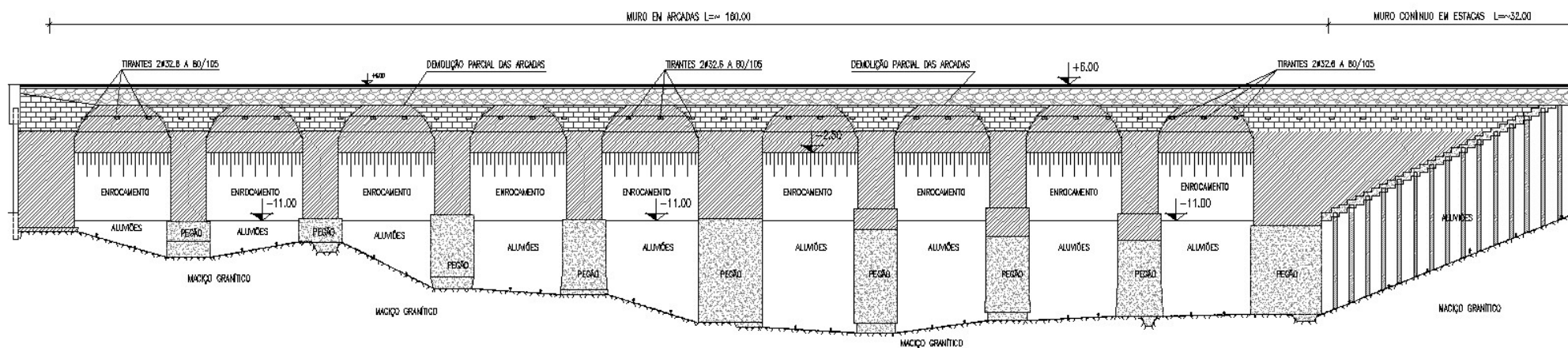


Fotografia do muro-cais contínuo durante a sua construção

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Construção durante a década de 1930)

MURO-CAIS EM ARCADAS



Alçado do muro-cais em arcadas

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Construção durante a década de 1930)

MURO-CAIS EM ARCADAS - CONSTRUÇÃO



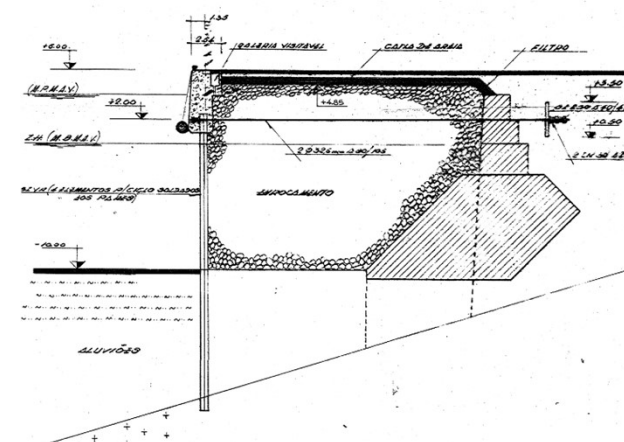
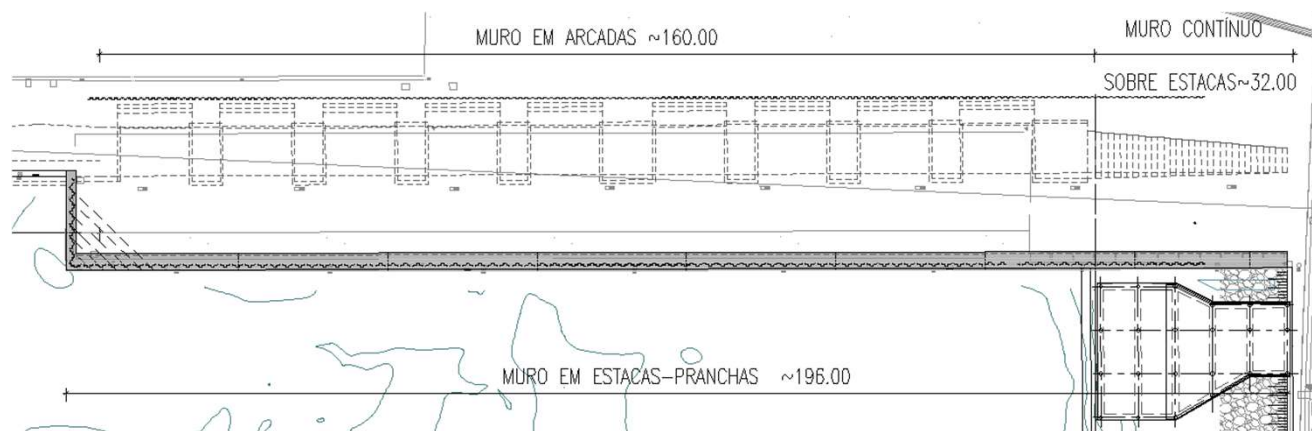
Fotografia do muro-cais em arcadas durante a sua construção

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Construção durante a década de 1970)

CAIS AVANÇADO EM ESTACAS-PRANCHAS

Empreitada para “Reparação dos Muros-Cais em Arcadas da Doca nº 1”, que decorreu entre 1973 – 1974.

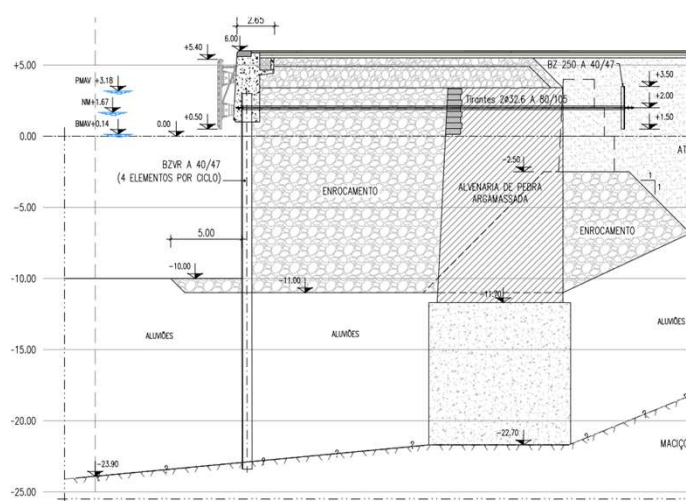


Planta do cais avançado em estacas-pranchas

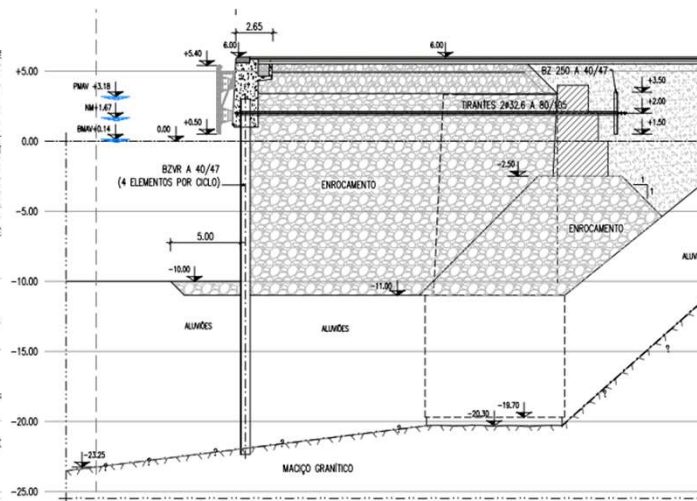
CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Construção durante a década de 1930)

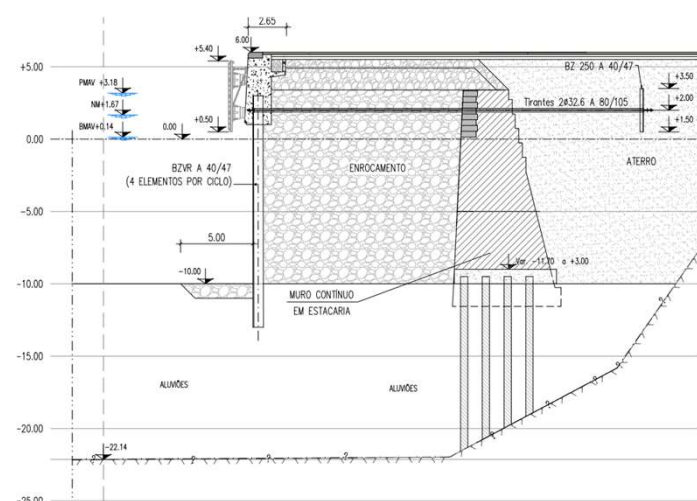
CAIS AVANÇADO EM ESTACAS-PRANCHAS



Perfil transversal na zona dos pilares em alvenaria de pedra sobre os pegões



Perfil transversal na entre pilares



Perfil transversal no muro contínuo em alvenaria sobre estacas de madeira

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Construção durante a década de 1930)

CAIS AVANÇADO EM ESTACAS-PRANCHAS - CONSTRUÇÃO



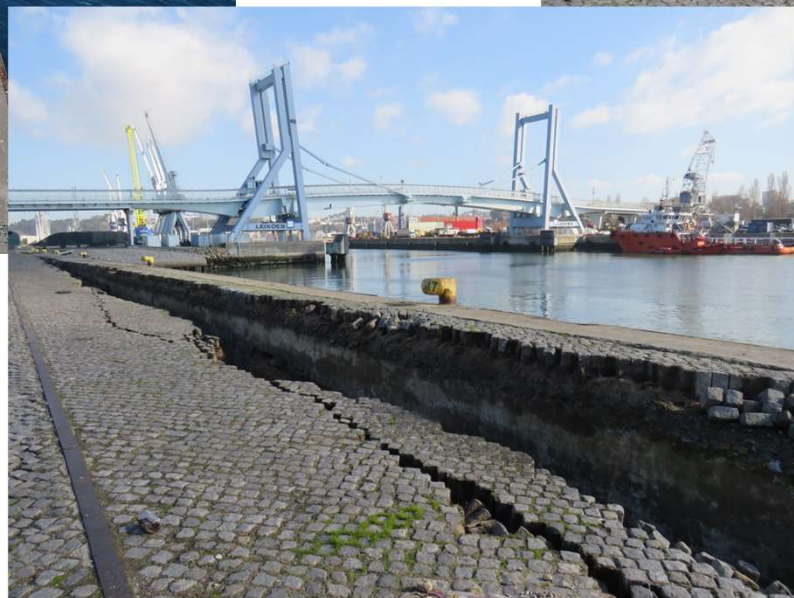
Vista da estrutura do cais avançado em estacas-pranchas durante a sua construção



Demolição parcial das arcadas de granito para instalação dos tirantes de ancoragem

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Acidente ocorrido em 16/01/2018)



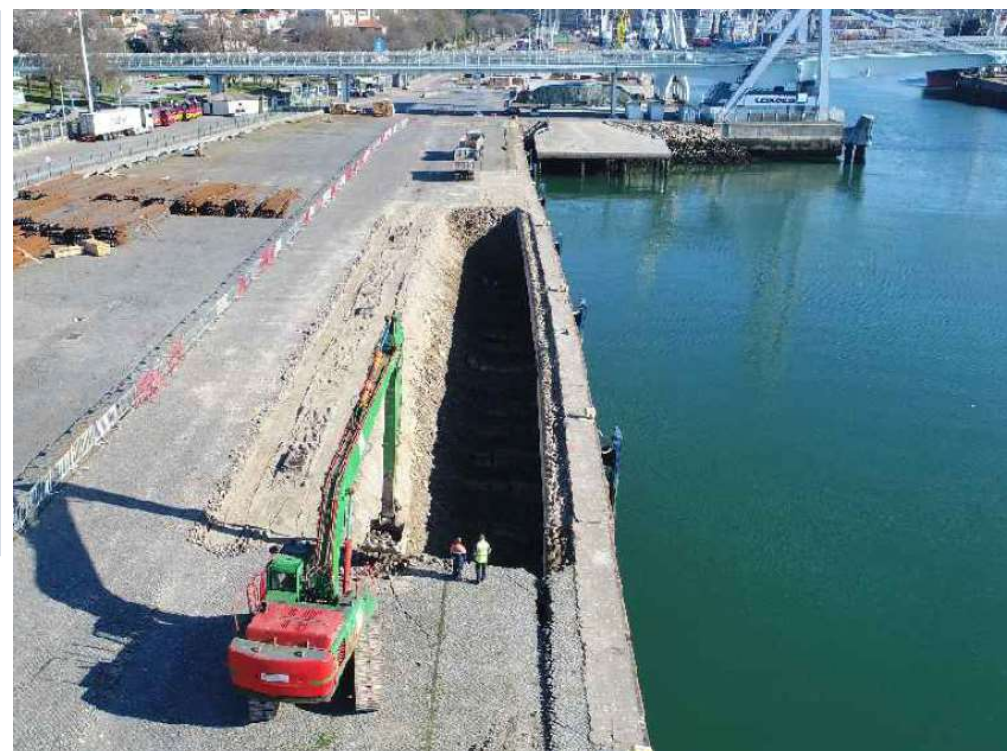
CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Acidente ocorrido em 16/01/2018)

No seguimento do acidente, foram tomadas medidas para evitar a ocorrência do colapso da estrutura e definida uma zona de segurança, na qual não deveriam ser aplicadas quaisquer tipos de sobrecargas.

Alívio dos impulsos do material de aterro sobre a cortina de contenção, tendo este material sido retirado de forma controlada.

Estabeleceu-se a vedação da plataforma de servidão ao cais, numa largura mínima de 20 m, numa extensão significativa do cais, impedindo que nesta zona vedada circulem veículos e peões e sejam colocados quaisquer tipos de carga. Foram igualmente interditas todas as operações de acostagem e de amarração de embarcações ao cais.



Fotografia aérea do cais. Remoção parcial do material de aterro

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Obras a realizar – Requisitos APDL)



CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Obras a realizar – Requisitos APDL)

REQUISITOS GERAIS

- Frente acostável única do Cais Norte da Doca N.º1 com uma extensão aproximada de 488 m.
- Futura atracação de navios porta-contentores, compatíveis com fundos de -12,0 m (ZHL).
- Definição do caminho de rolamento para quatro Pórticos de Cais (PC) com uma bitola de 30,48 m.
- O cais deverá ser equipado com uma galeria técnica.
- O Armazém N.º1 deve ser mantido.
- Sobrecarga de 5 t/m² em qualquer ponto da plataforma de servidão ao cais e uma sobrecarga de 8 t/m² na restante área de plataforma portuária.
- Novos cabeços de amarração (100t) , novas defensas, novas bocas de aguada e escadas de “costas”.

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Obras a realizar – Requisitos APDL)

CAIS AVANÇADO

- Demolição integral do cais avançado
- Demolição das antigas arcadas

MURO-CAIS CONTÍNUO

- Demolição do coroamento do atual muro-cais contínuo.

RAMPA RO-RO

- Alargamento da rampa Ro-Ro. O comprimento da frente acostável da rampa deve passar a ter 36 m de comprimento:
 - Alargamento de 7,50 m (sete metros e meio) para Norte e de 6,50 m (seis metros e meio) para Sul.

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Condições geológicas e geotécnicas)

CAMPANHAS DE PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA

- Campanha de prospeção geotécnica realizada em 1971 na Doca 1 (zona do cais avançado) – Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda
- Campanha de prospeção geotécnica realizada em 2017 no terraplino do cais norte da Doca 1 – Geoma, Lda
- Campanha de prospeção geotécnica realizada em 2018 no muro-cais continuo norte da Doca 1 – Geoma, Lda

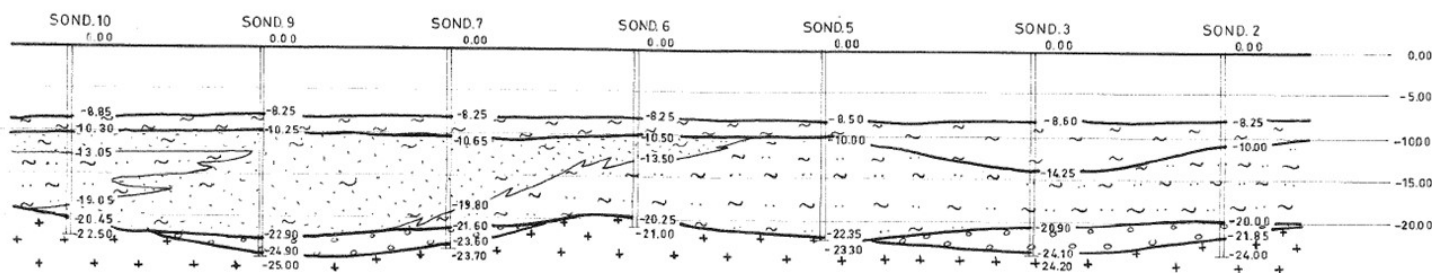
- Campanhas de prospeção geotécnica realizada em 1989 e 1991 na Doca 2 – Empresas Geocontrolo, SA e Geoma, Lda
- Campanhas de prospeção geotécnica realizada em 1972 na Doca 4 – Empresa Construções Técnicas
- Campanhas de prospeção geotécnica realizada em 2004 na Doca 4 – Empresa Tecnasol FGE

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

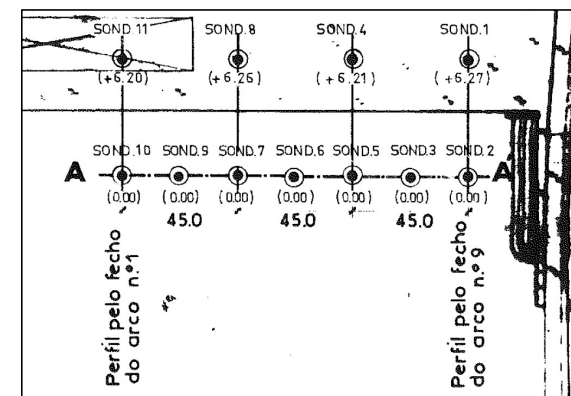
(Condições geológicas e geotécnicas)

PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA 1971 – MURO CAIS-AVANÇADO

Na campanha de prospeção geotécnica efetuada foram efetuadas 19 sondagens, num total de 279,16 m de perfuração, ao longo das quais foram realizados ensaios de penetração dinâmica, ensaios de corte rotativo do tipo “vane test”, e extraídas amostras de solo para caracterização granulométrica.



Perfil geotécnico



LEGENDA

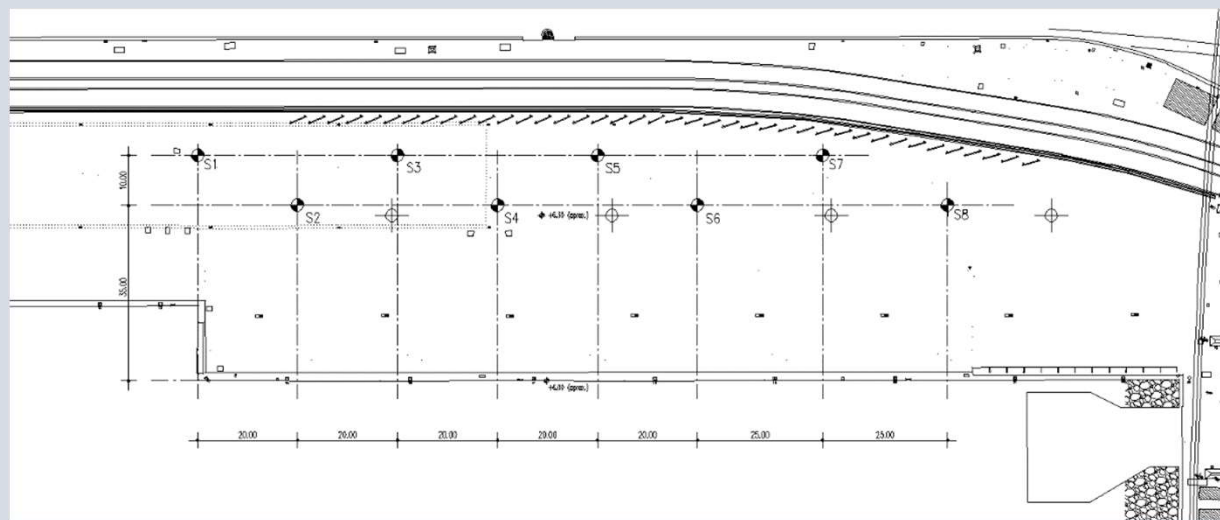
- C.1 Lodos fôfos, cinz., c/ bolsadas de areia grosseira (•)
- C.2 Lodos silto-arenosos, cinz., c/ passagens areno-lodosas (•)
- C.3 CASCALHEIRA DE BASE DE ALUVIÕES, POR VEZES BASTANTE LODOSAS
- C.4 GRANITOS E GNAISSES ALTERADOS A RELATIVAMENTE FRESCOS, CINZ. OU AMARELADOS

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Condições geológicas e geotécnicas)

PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA 2017 – MURO CAIS-AVANÇADO

- Oito sondagens com amostragem; ensaios SPT; ensaios laboratoriais em solo e em amostras do substrato rochoso
- Classificação do substrato rochoso (ISRM)
- Análise granulométrica por peneiração nas sondagens de S2 a S8
- Limites de Atterberg (LL e LP) e determinada a densidade das partículas
- 7 ensaios para a determinação da resistência à compressão uniaxial
- 3 ensaios para determinação do módulo de deformabilidade
- 10 ensaios de carga pontual

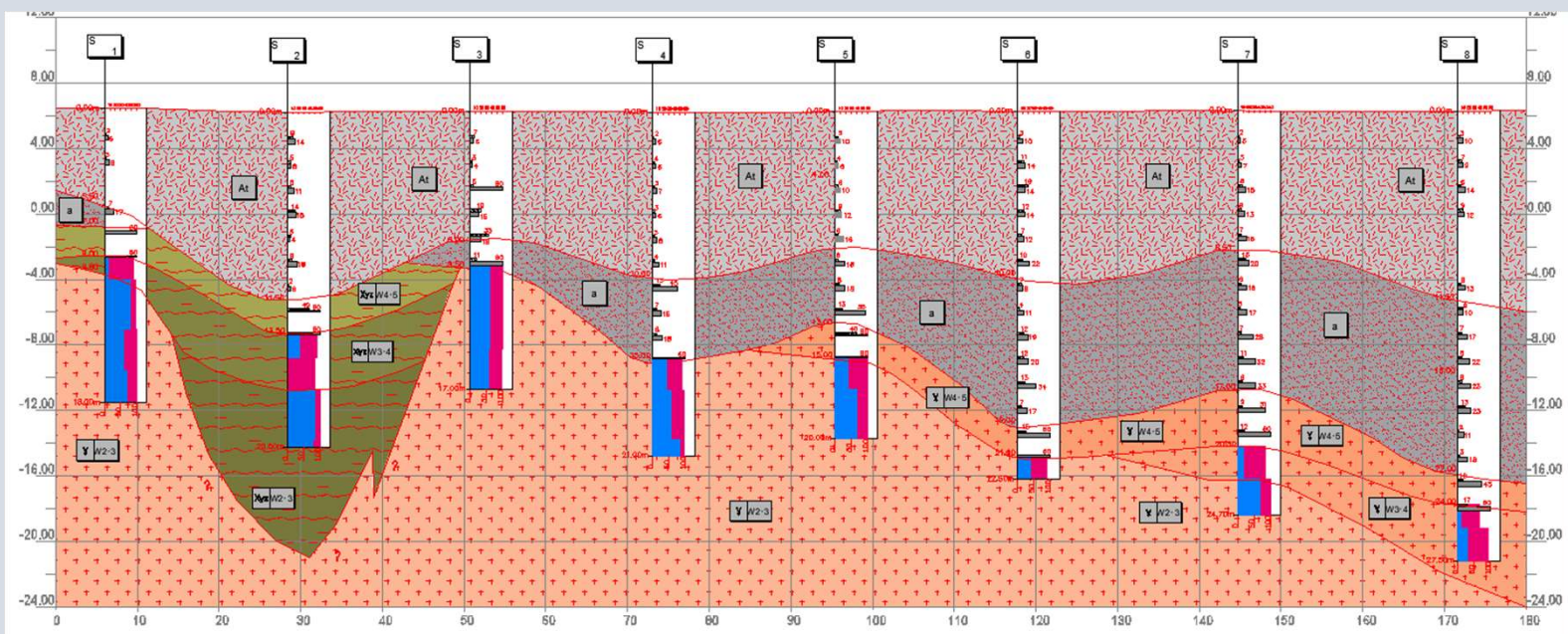


Planta com a localização das sondagens

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Condições geológicas e geotécnicas)

PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA 2017 – MURO CAIS-AVANÇADO



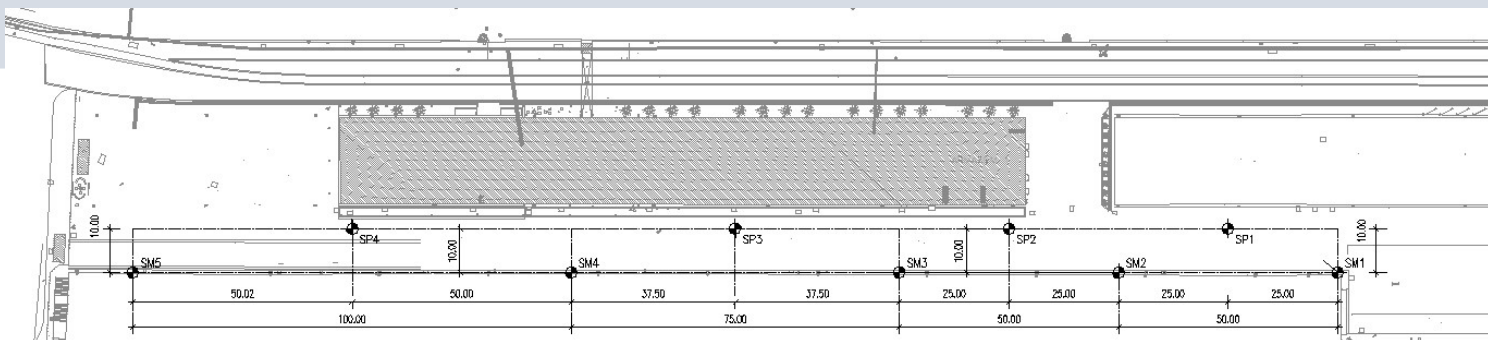
Perfil geotécnico estabelecido

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Condições geológicas e geotécnicas)

PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA 2018 – MURO CAIS-CONTÍNUO

- Determinar a cota de fundação da estrutura do muro-cais contínuo
- Caracterizar o material constituinte da estrutura do muro-cais contínuo
- Caracterizar o substrato rochoso na zona de fundação da estrutura do muro-cais contínuo
- Caracterizar o material de aterro da plataforma de servidão ao cais
- Determinar a profundidade a que se encontra o substrato rochoso sob o material de aterro da plataforma de servidão ao cais
- Caracterizar o substrato rochoso sob o material de aterro da plataforma de servidão ao cais



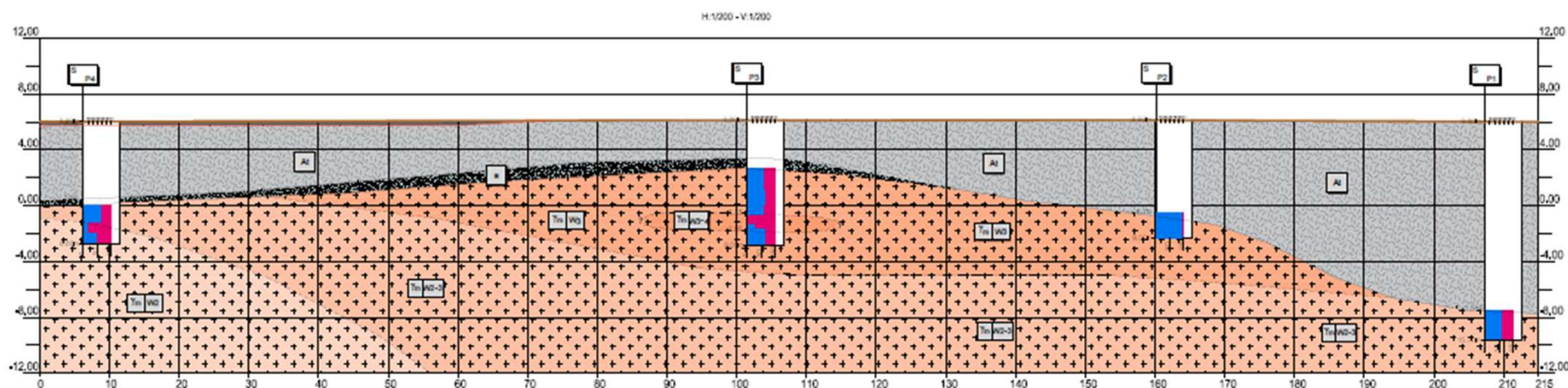
Planta com a localização das sondagens

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Condições geológicas e geotécnicas)

PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA 2018 – MURO CAIS-CONTÍNUO

- 9 sondagens mecânicas, cinco das quais localizadas no coroamento do muro-cais contínuo e as restantes quatro sondagens foram realizadas no tardo do muro
- 4 ensaios para a determinação da resistência à compressão uniaxial com determinação do módulo de deformabilidade
- Registo de recuperação de material, avaliação do estado de fracturação e avaliação do estado de alteração (SIMR) e determinação do índice de qualidade da rocha (RQD)
- 3 ensaios para determinação da resistência à compressão uniaxial e oito ensaios de carga pontual (point load test)



CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Condições geológicas e geotécnicas)

CARACTERIZAÇÃO DO TERRENO – SUBSTRATO ROCHOSO

Unidade de base granítica - *Granito do Porto - graus de alteração W3-4 a W2 e fracturação F5 a F2-3; RQD de 11 a 81%*

Complexo xisto-grauváquico – (migmatitos, gnaisses, micaxistos xistos), com reduzida representação

Utilizados os resultados dos ensaios realizados (RQD; RMR ; q_u ; E_i)

Estabelecimento de parâmetros de resistência ao corte e de deformabilidade recorrendo ao método de Hoek-Brown (2002)

Estabelecimento de parâmetros para dimensionamento da fundação das estacas de betão armado (*res. lateral e de ponta*)

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Condições geológicas e geotécnicas)

CARACTERIZAÇÃO DO TERRENO – CAMADA ALUVIONAR

Aluviões flandrianas de enchimentos de rio Leça

Granulometria diversa com variações litológicas horizontais e verticais – condições de sedimentação complexas durante a sua formação

Resultados de campanhas de prospeção geotécnica realizados na Doca 1,

mas também nas Docas 2 e 4

CAMPANHAS	Doca 1			Doca 2		Doca 4		
	Geoma	Geoma	TD	Geocont	Geoma	Tecnasol	Const.Téc	Proman
	2018	2017	1971	1989	1991	2004	1972	1985
PROSPECÇÃO E ENSAIOS IN SITU								
Sondagens mecânicas (un)	✓ (9)	✓ (8)	✓ (11) ^{Doca 1}	✓ (12)	✓ (5)	✓ (39)	✓ (55)	✓ (24)
Ensaio SPT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ensaio de corte rotativo com molinete			✓	✓	✓		✓	✓
Ensaio CPT (un)							✓ (20)	✓ (28)
Deformabilidade "in situ" com dilatômetro							✓ (8)	
ENSAIOS LABORATORIAIS								
Ensaio em solo								
Análises granulométricas (un)				✓ (33)	✓ (3)		✓	✓
Limites de Atterberg (un)				✓ (22)	✓ (3)		✓	✓
Teor em água natural (un)					✓ (3)			✓
Densidade das partículas sólidas (un)								
Peso específico e peso específico seco (un)				✓ (14)	✓ (3)			✓
Proctor e CBR (un)								✓
Edométricos				✓ (5)				✓
Triaxiais CU					✓ (2)		✓ (9)	
Ensaio compressão UU				✓ (12)				✓
Ensaio de corte directo							✓ (5)	
Ensaio em rocha								
Compressão uniaxial (com ou sem determ E)	✓ (7)						✓	
Carga pontual	✓ (8)							

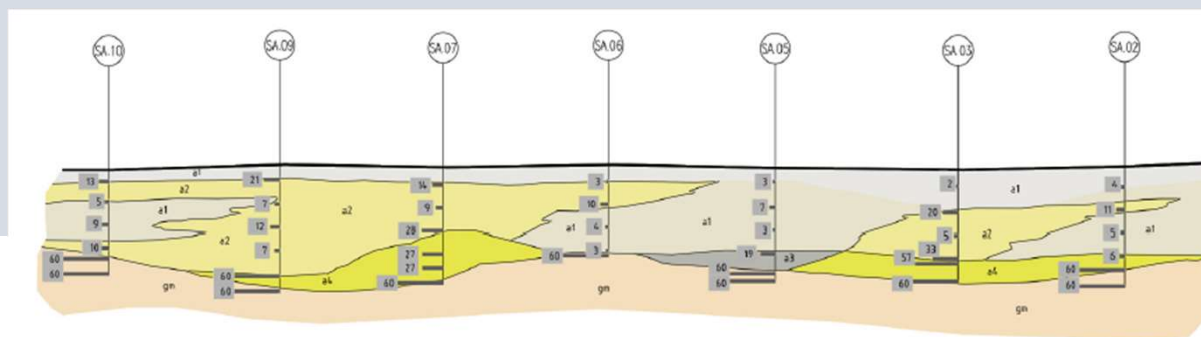
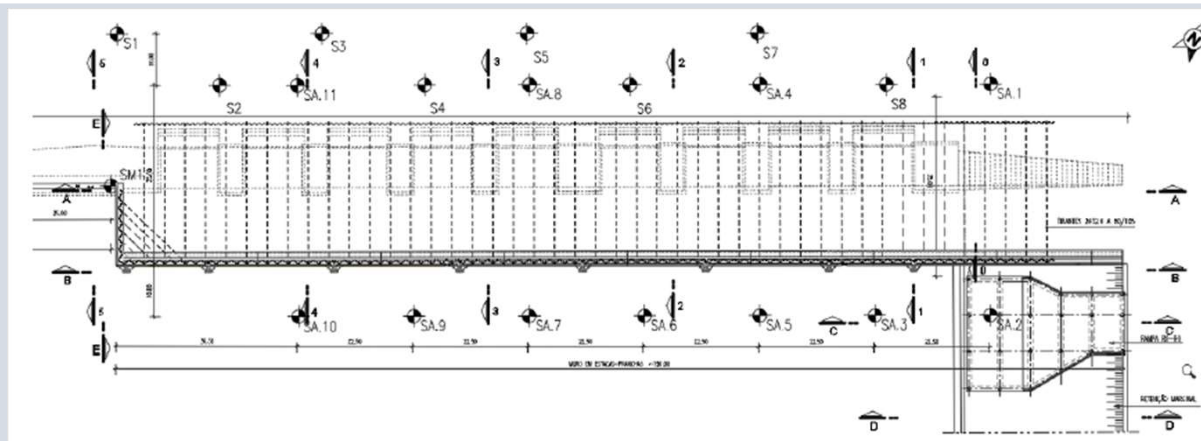
CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Condições geológicas e geotécnicas)

CARACTERIZAÇÃO DO TERRENO – CAMADA ALUVIONAR

Definidas 4 unidades litológicas distintas

- Aluviões silto-lodosos a1)
- Aluviões areno-lodosos a2)
- Aluviões argilosos a3)
- Aluviões arenosas e cascalheiras a4)



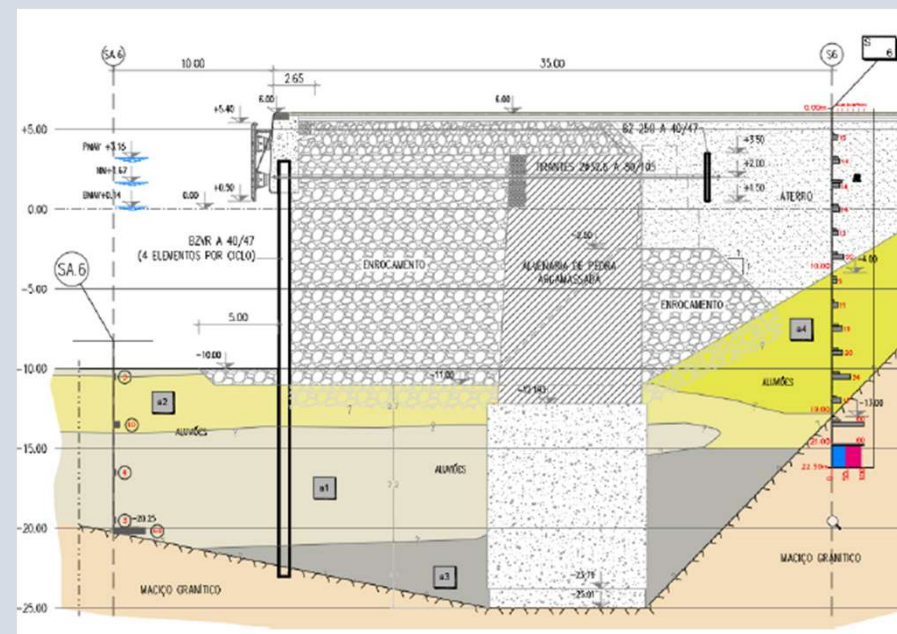
CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Condições geológicas e geotécnicas)

CARACTERIZAÇÃO DO TERRENO – CAMADA ALUVIONAR

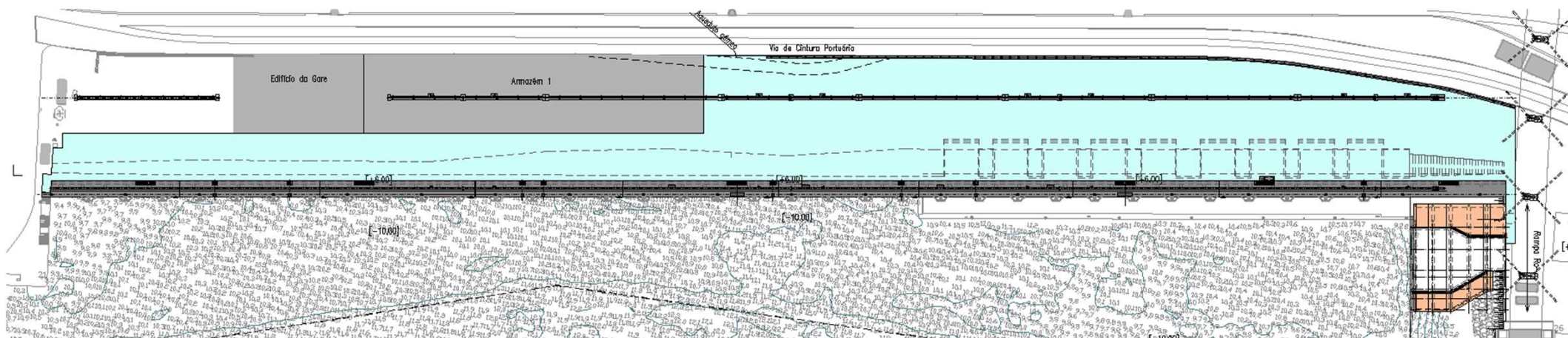
Definidas 4 unidades litológicas distintas

- Aluviões silto-lodosos a1)
- Aluviões areno-lodosos a2)
- Aluviões argilosos a3)
- Aluviões arenosas e cascalheiras a4)



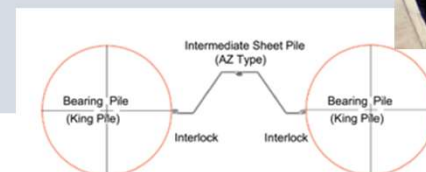
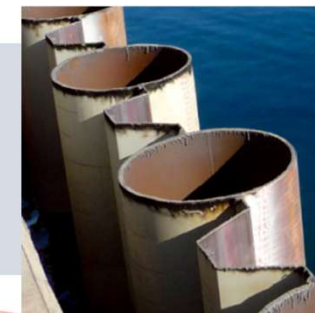
CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Descrição da estrutura do novo cais)

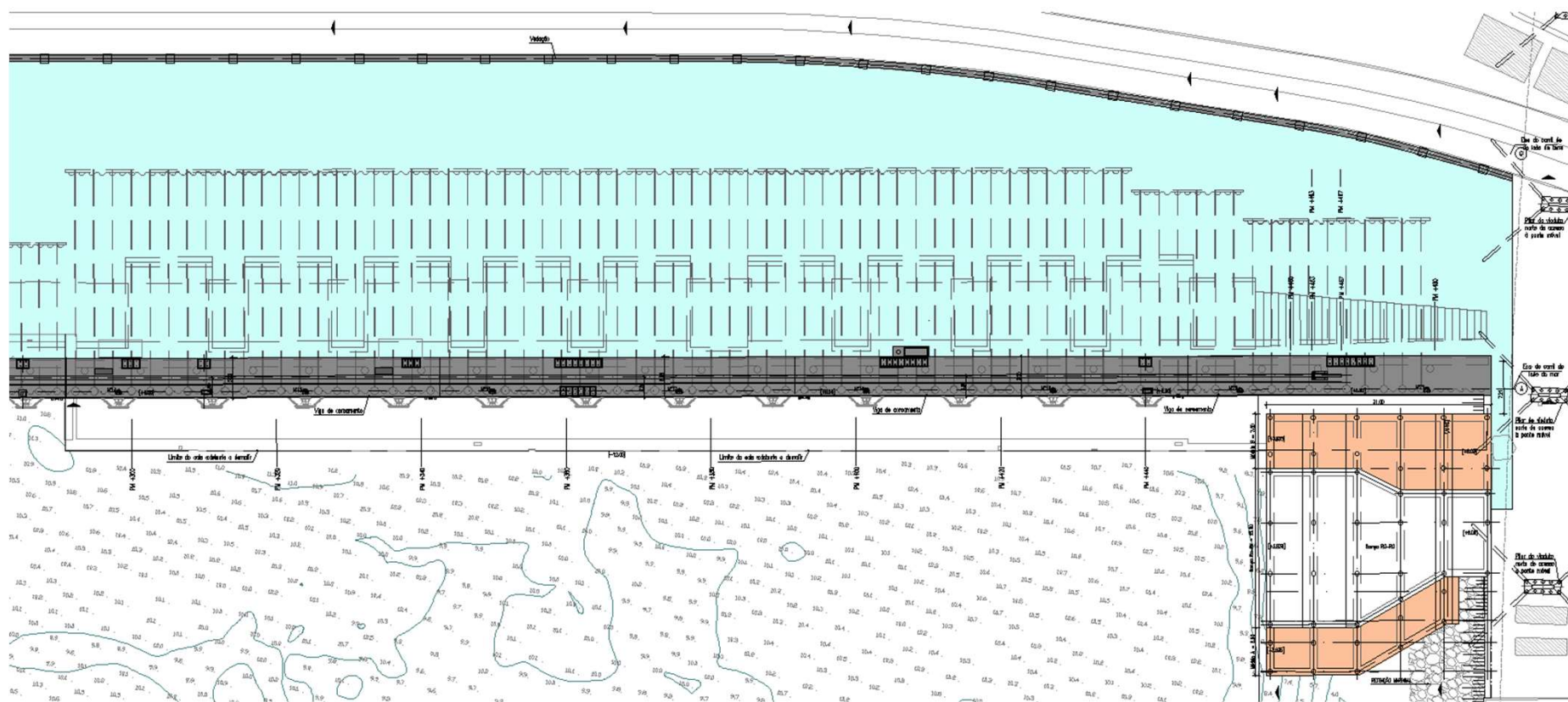


Planta geral do novo cais

- Cais com coroamento à cota +6,00 m (ZHL), com 487 m de extensão e fundo de serviço -10,00 m (ZHL), preparado para fundos de -12,00 m (ZHL)
- Cortina de contenção do tipo “*tubular combined wall*” em perfis tubulares metálicos 1118/24 mm e 1016/18 mm (D/e) e estacas-prancha em perfil AZ 20-700
- Elementos primários preenchidos com betão armado (estacas de betão armado seladas no subs. rochoso)
- Sistema de ancoragem composto por tirantes metálicos M125/95 e M85/64 e cortina de ancoragem em estacas-prancha



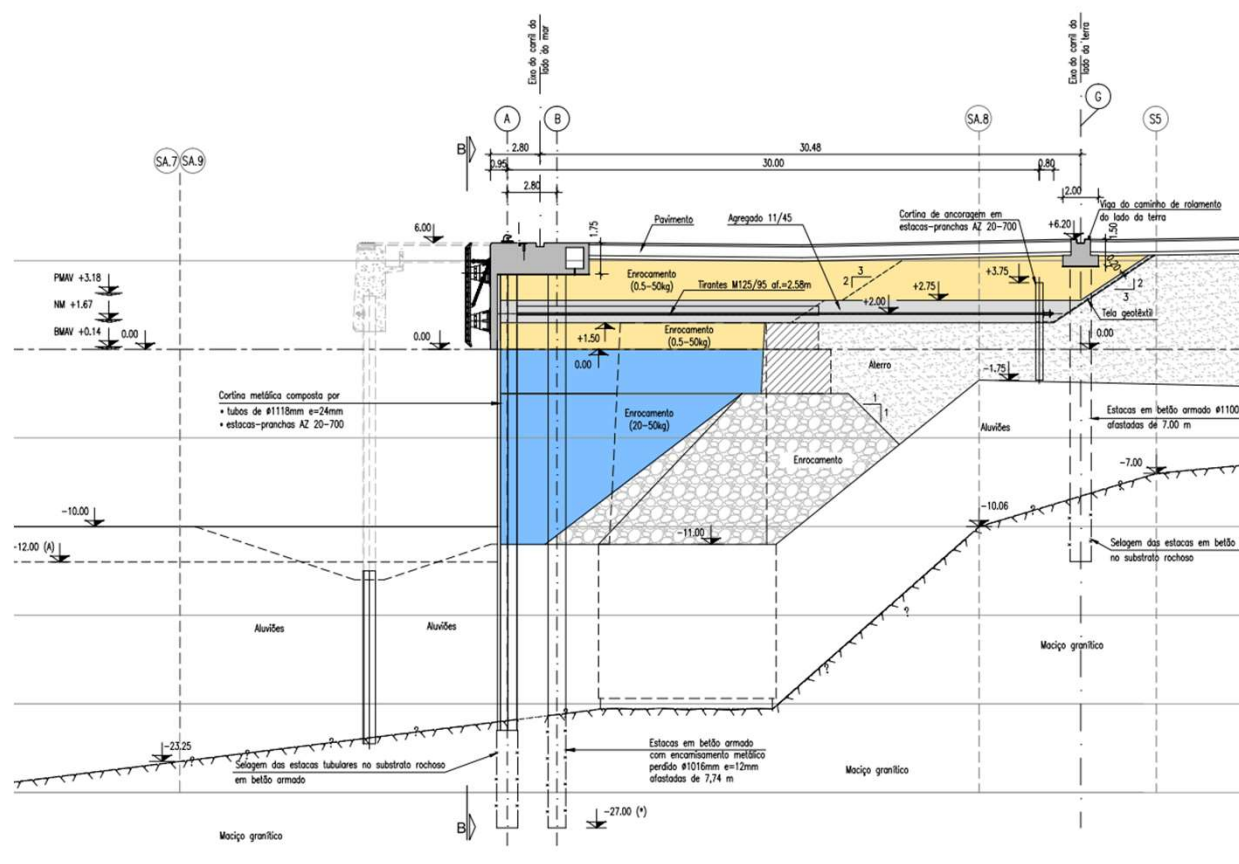
(Descrição da estrutura do novo cais)



Planta do novo cais PM 0+290 a PM 0+487

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

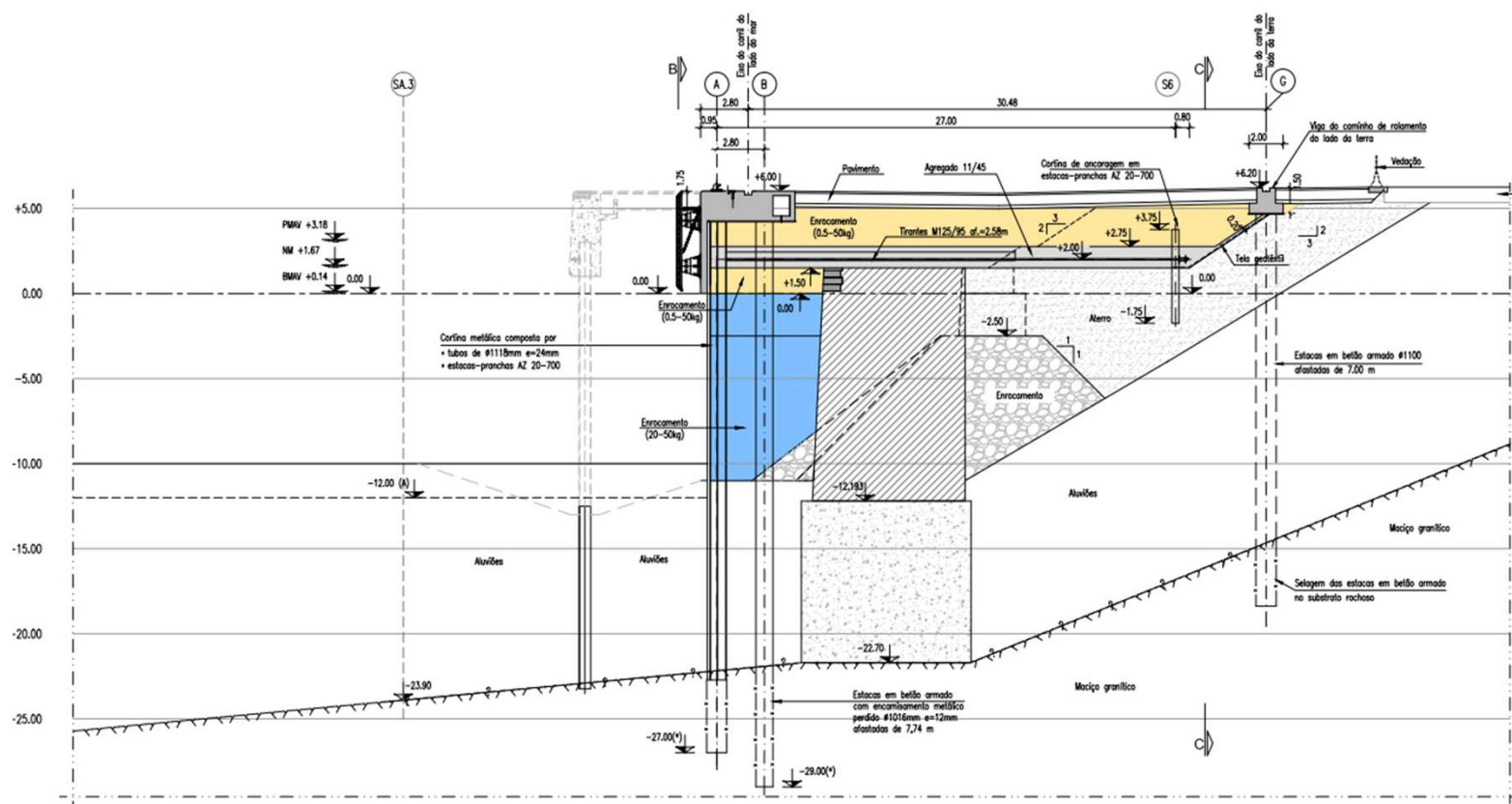
(Descrição da estrutura do novo cais)



Perfil tipo do novo cais - PM 0+290 a PM 0+487

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

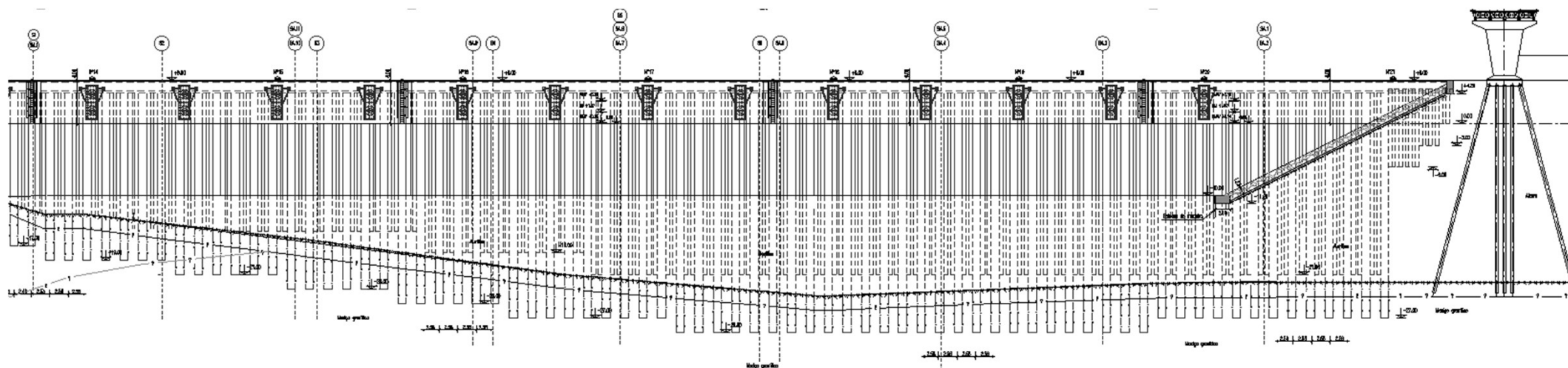
(Descrição da estrutura do novo cais)



Perfil tipo do novo cais - PM 0+290 a PM 0+487 (pilar de arcada)

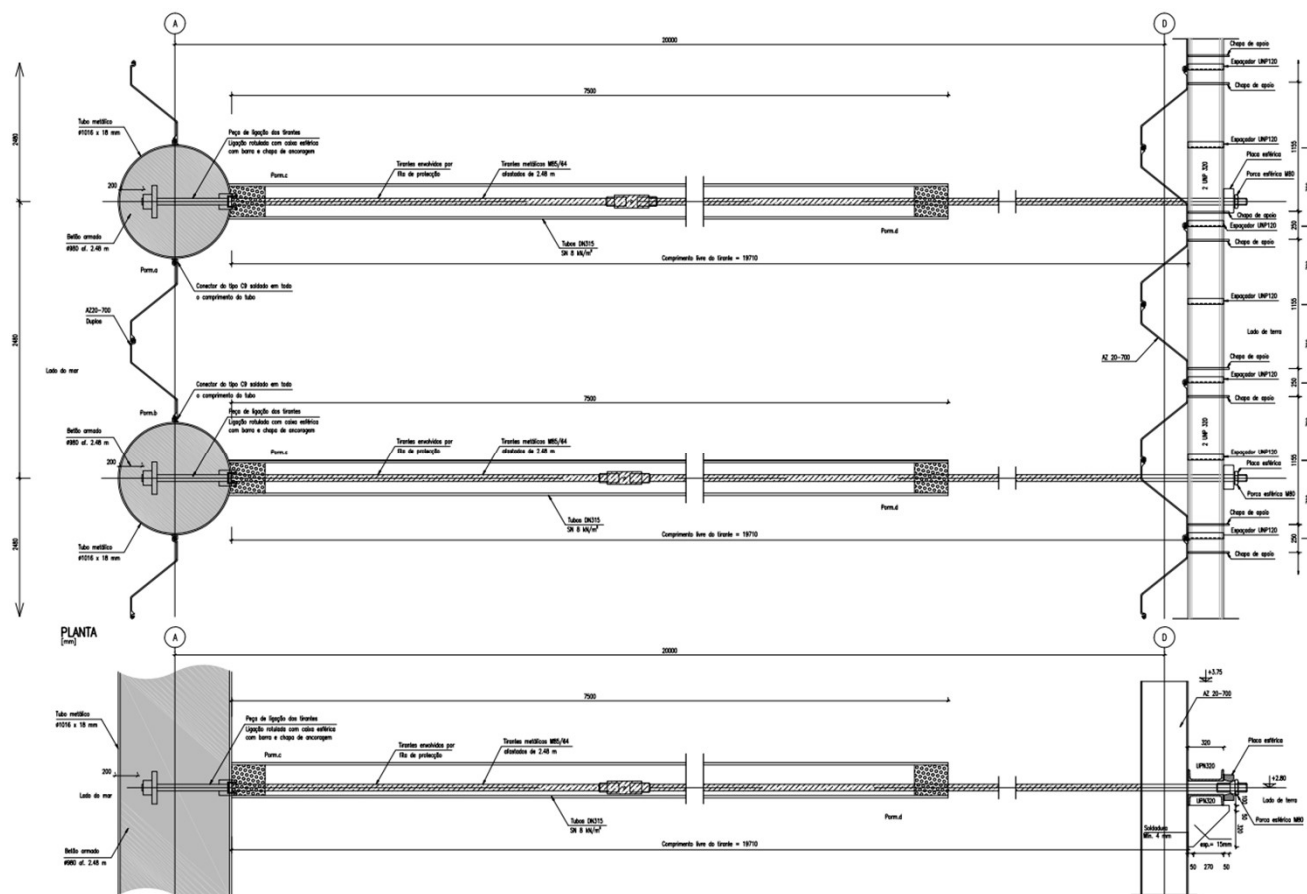
CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Descrição da estrutura do novo cais)



Alçado do novo cais - PM 0+290 a PM 0+487

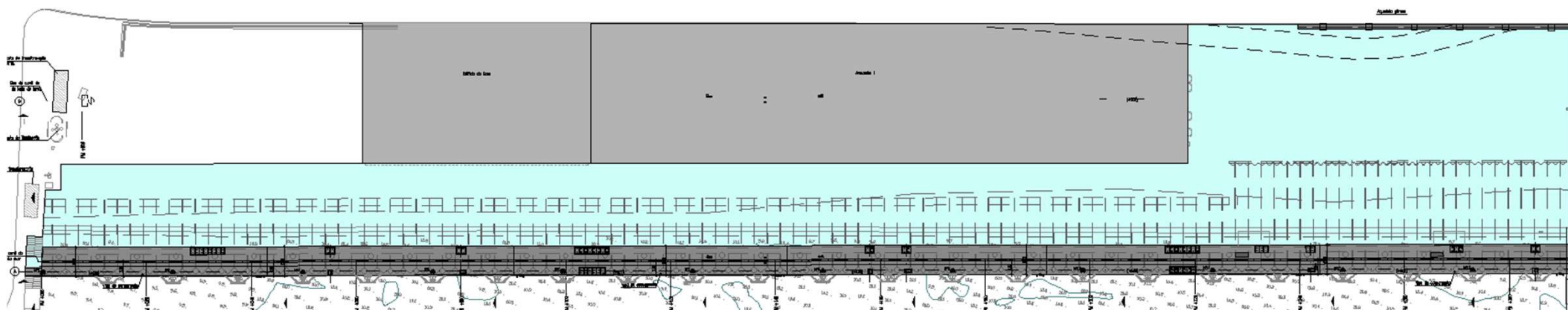
(Descrição da estrutura do novo cais)



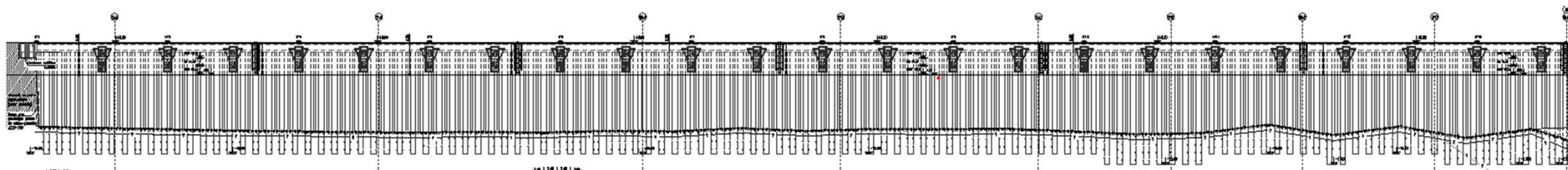
Sistema de ancoragem - PM 0+225 a PM 0+487

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Descrição da estrutura do novo cais)

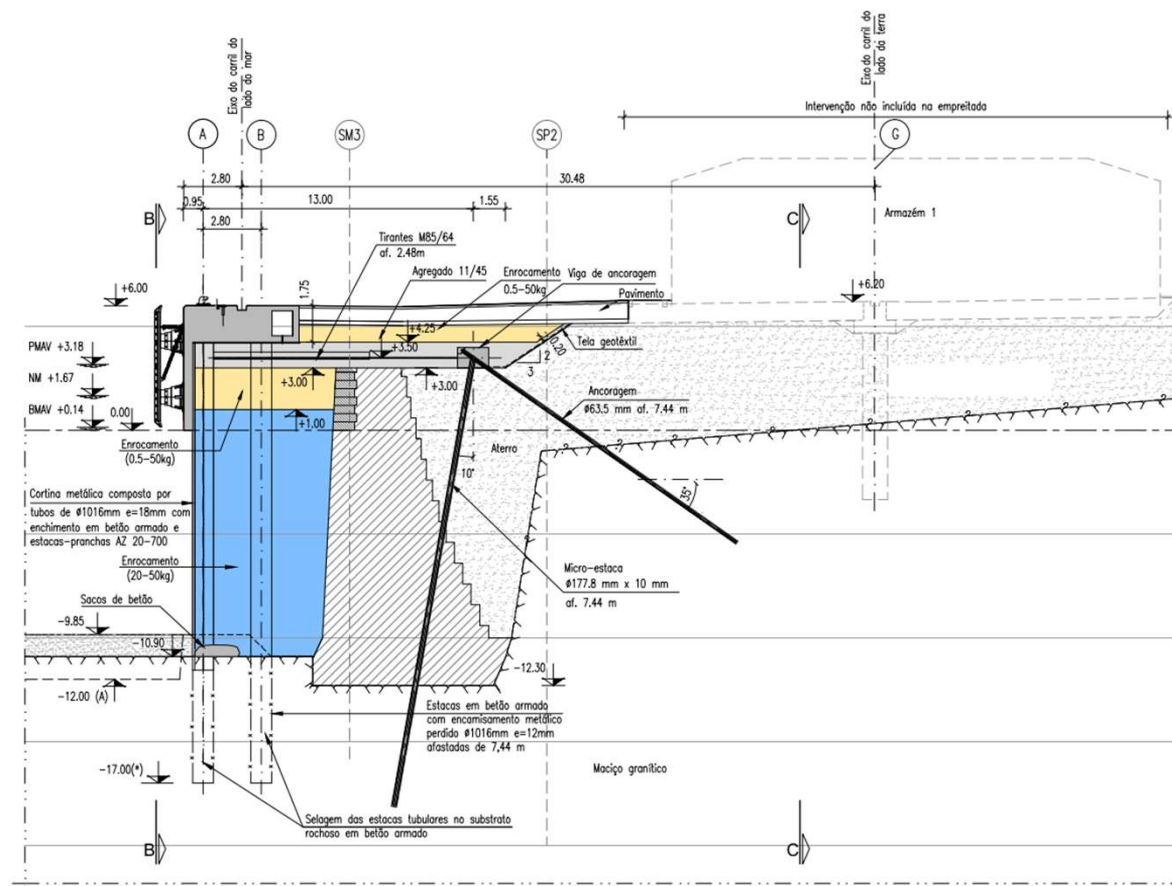


Planta do novo cais – PM 0+000 a PM 0+290



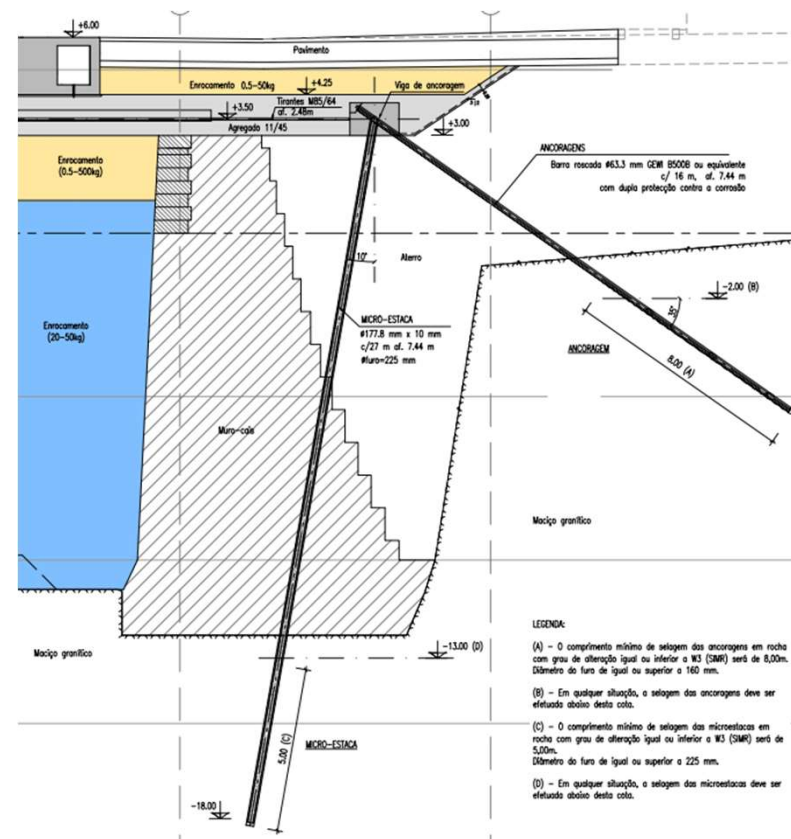
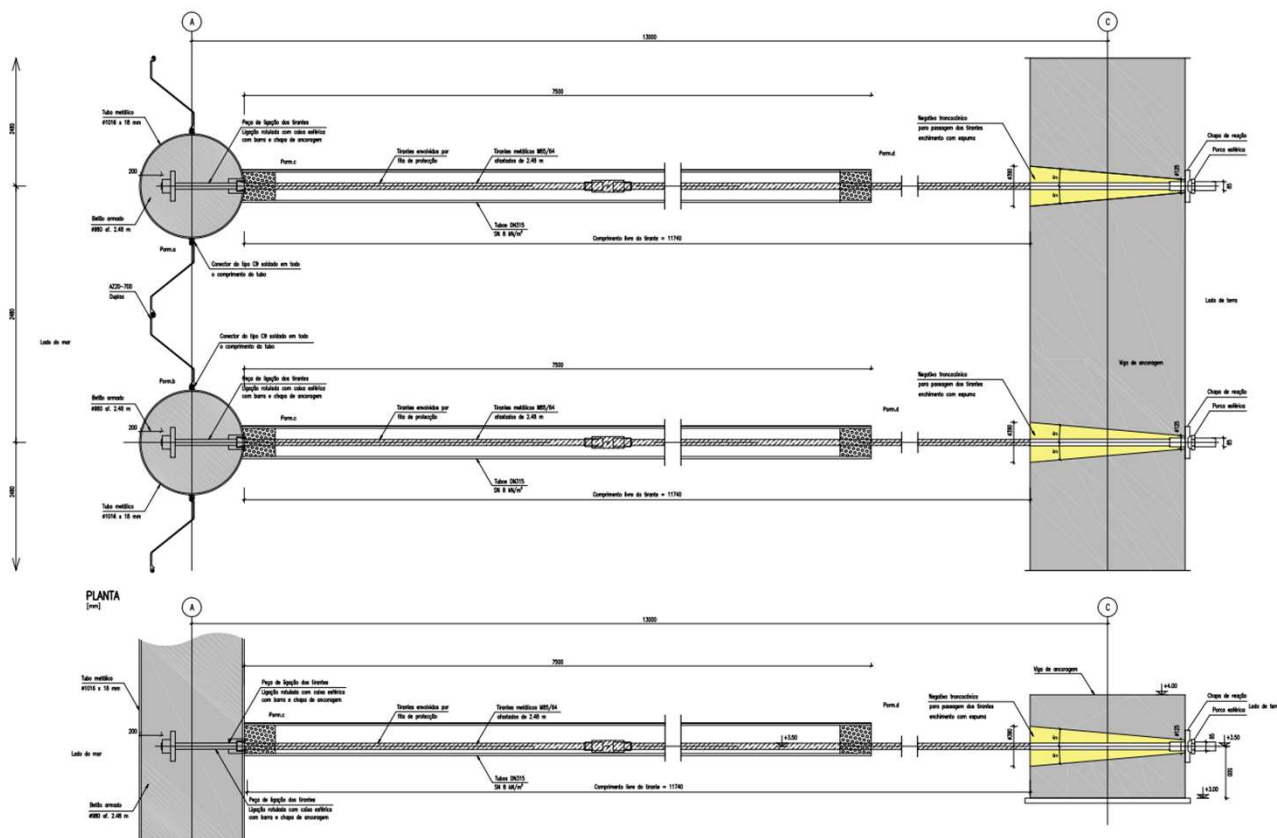
Alçado do novo cais – PM 0+000 a PM 0+290

(Descrição da estrutura do novo cais)



Perfil tipo do novo cais - PM 0+000 a PM 0+225

(Descrição da estrutura do novo cais)



CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Materiais adotados)

MATERIAIS

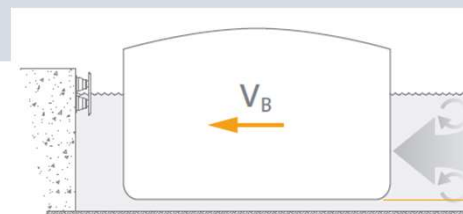
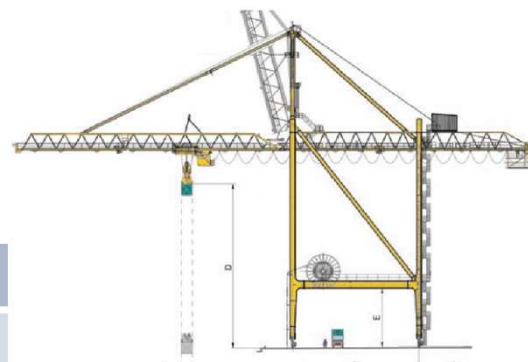
- Betão em geral - C35/45 / XS3 / CI 0,2 / D20 / S4 (EN 206-1:2000)
- Betão em estacas moldadas - C35/45 / XS3 / CI 0,2 / D20 / S5 (EN 206-1:2000)
- Betão de limpeza - C12/15/ CI 1,00 / D20 / S4 (EN 206-1:2000)
- Armaduras ordinárias - A500 NR SD (LNEC E460-2010)
- Aço estrutural (estacas tubulares 1118 mm x 24 mm) - S 355 J0 (EN 10219-1)
- Aço estrutural (estacas tubulares 1016 mm x 18 mm) - S 355 J0 (EN 10219-1)
- Aço estrutural (estacas tubulares 1016 mm x 12 mm) - S 355 J0 (EN 10219-1)
- Aço estrutural (estacas-pranchas) - S 430 GP (EN 10248-1)
- Aço estrutural (conectores) - S 355 GP (EN 10248-1)
- Aço estrutural (tirantes) - S 460 J0 (EN 10025)
- Ancoragens definitivas em sistema *DYWIDAG* com dupla proteção contra a corrosão em barra roscada com 63,5 mm de diâmetro em aço S 555/700-GEWI (DIN 488)
- Microestacas - Tubo em aço N80 (API5A) $f_y > 560$ Mpa

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Dimensionamento)

PRINCIPAIS AÇÕES CONSIDERADAS

- **Ações permanentes:**
 - Peso próprio da estrutura;
 - Impulsos devidos ao peso do solo suportado
 - Retração.
- **Ações variáveis:**
 - Sobrecarga de utilização (50 kPa e 80 kPa)
 - Equipamentos de carga (STS, gruas móveis, empilhadores, tratores)
 - Forças de acostagem
 - Forças de amarração
 - Níveis de água e desníveis hidrostáticos
 - Ação sísmica



CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Modelação das estruturas e verificação da segurança)

MODELOS DE CÁLCULO

A análise estrutural foi realizada recorrendo a modelos numéricos de elementos finitos (FEM), construídos no *software* de cálculo PLAXIS 2D

Modelos de cálculo constituídos pelos seguintes elementos:

- Elementos finitos triangulares com 15 nós utilizados na simulação do solo
- Elementos de placa com 5 nós na simulação das cortinas de estacas-pranchas
- Elementos de interface que simulam as forças de corte geradas entre o solo e as cortinas de estacas-pranchas
- Elementos “*Embedded beam row*” na simulação das estacas do alinhamento B
- Elementos “*node-to-node anchor*” na simulação dos tirantes
- Utilização de modelos constitutivos do solo adequados (HSmodel para solo e Mohr Coulomb para substrato rochoso)

Simulação das diferentes fases do processo de construção

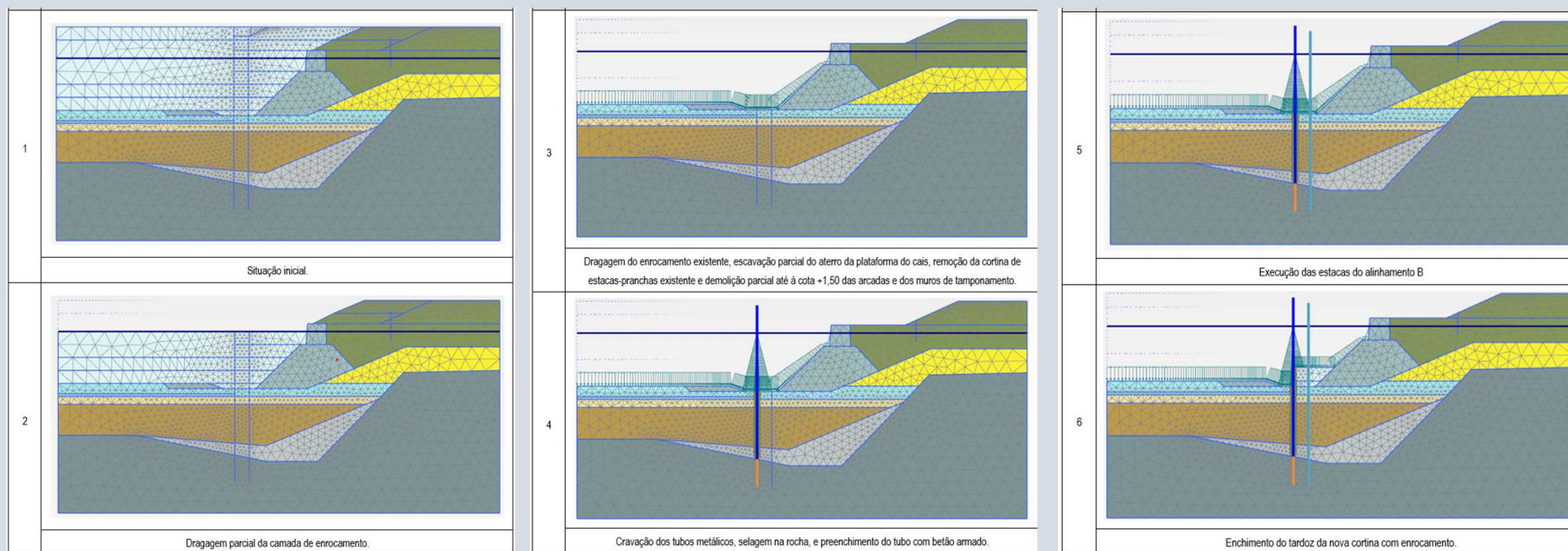
Simulação e avaliação de estados de tensão e deformação do solo e da estrutura - verificação dos estados limites de utilização (ELUt).

Verificação dos estados limites últimos, (ELU)

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Modelação das estruturas e verificação da segurança)

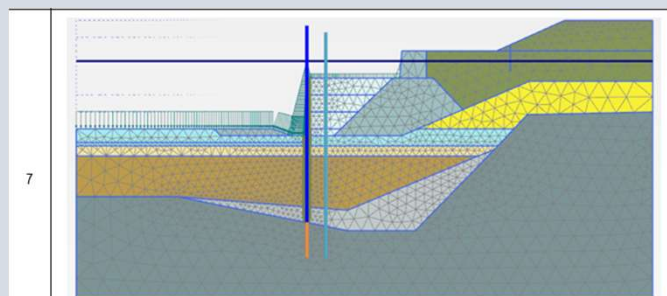
MODELOS DE CÁLCULO



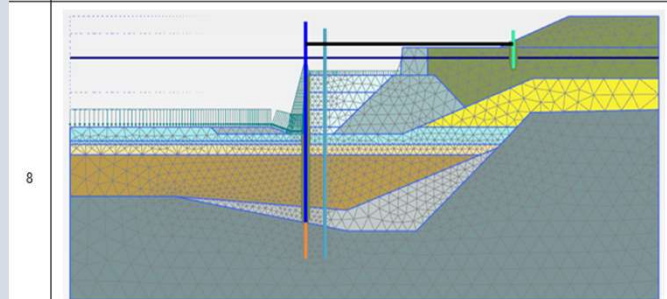
CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Modelação das estruturas e verificação da segurança)

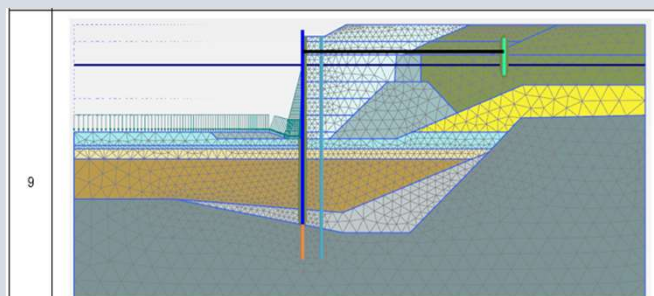
MODELOS DE CÁLCULO



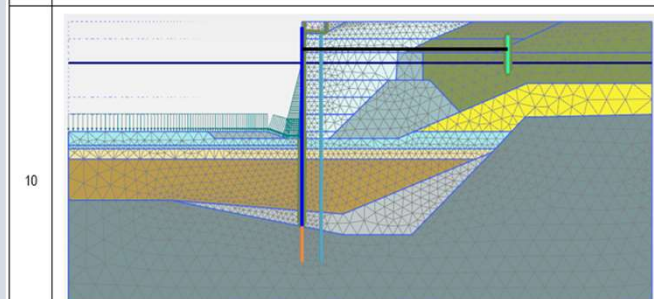
Enchimento do tardo da nova cortina com enrocamento até à cota -4,00 m (ZHL).



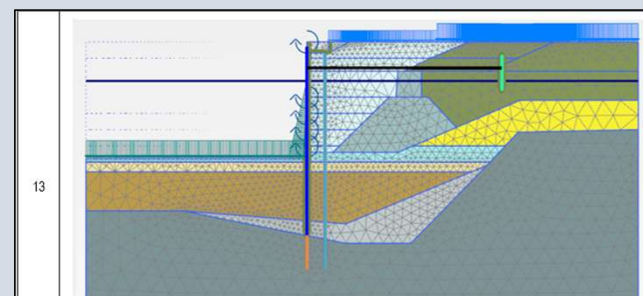
Instalação da cortina de ancoragem e dos tirantes à cota +2,00 (ZHL).



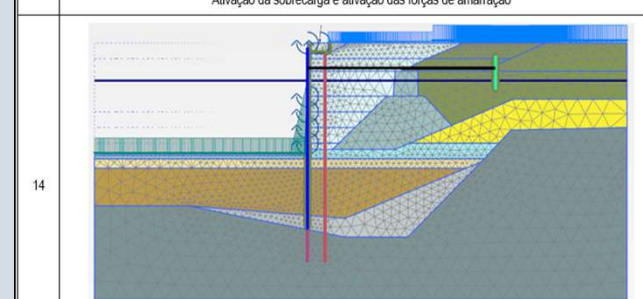
Aterro da zona envolvente da cortina de ancoragem e colocação do restante enrocamento até à cota do pavimento.



Execução da viga de coroamento e colocação do aterro no tardo.



Ativação da sobrecarga e ativação das forças de amarração



Ativação das forças verticais e horizontais do pórtico de cais

CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Ensaios e controlo de qualidade)

ENSAIOS DE CARGA EM ANCORAGENS

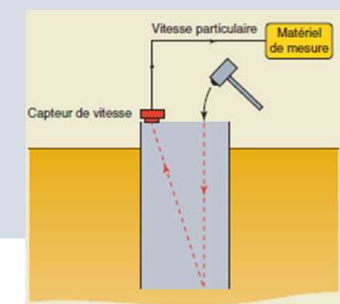
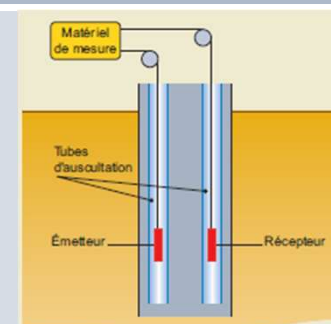
3 ensaios de carga prévios em ancoragens de teste para atestar o bom comportamento das ancoragens especificadas em projeto e para verificar o comprimento de selagem a adotar nas ancoragens definitivas.

Os ensaios serão executados segundo norma ISO 22477-5 (Método 1)

ENSAIOS DE INTEGRIDADE EM ESTACAS DE BETÃO ARMADO

Ensaio ultrassónico (*cross hole*)

Ensaio sísmico de eco (*stress wave*)



CAIS NORTE DA DOCA Nº1 DO PORTO DE LEIXÕES

(Instrumentação e monitorização)

INSTRUMENTAÇÃO

- Alvos topográficos no topo dos tubos das estacas para a monitorização dos deslocamentos horizontais e verticais do topo da cortina durante a fase de construção (12unid.)
- Calhas inclinométricas para a medição com inclinómetros dos deslocamentos horizontais da cortina de contenção durante a fase de construção e durante a fase de serviço (12 unid.)
- Células de carga em tirantes de ancoragem para medição de forças (5 unid.)
- Células de carga em ancoragens e para medir forças (5 unid.)
- Alvos topográficos no topo da viga de coroamento para a monitorização dos deslocamentos horizontais e verticais do topo da cortina durante a fase de serviço (12 unid.)

MONITORIZAÇÃO

- Deslocamentos horizontais e verticais do topo das estacas da cortina de contenção do cais ocorridos durante a fase de construção
- Cargas nos tirantes e nas ancoragens
- Cargas e nas ancoragens
- Deslocamentos horizontais e verticais do coroamento da estrutura durante a fase de serviço

SEMINÁRIO Geotecnia em Obras Marítimas – Aprender com a Experiência

02-03 DEZEMBRO 2024 | Auditório Infante D. Henrique (APDL - Porto de Leixões)



[Imagem retirada do livro "Leixões. Uma história Portuária"]

Muito obrigado