

# PROJETO E CONSTRUÇÃO DAS ESTRUTURAS ACOSTÁVEIS, DRAGAGENS E ATERROS PARA A AMPLIAÇÃO DO ESTALEIRO ALIANÇA

Fernando Oliveira  
(OFM, S.A.)  
[fo@ofm.pt](mailto:fo@ofm.pt)

Baldomiro Xavier  
(Teixeira Duarte, S.A.)  
[bx@teixeiraduarte.pt](mailto:bx@teixeiraduarte.pt)

João Vasco  
(OFM, S.A.)  
[jv@ofm.pt](mailto:jv@ofm.pt)

## 1 - INTRODUÇÃO

As Obras de Modernização e Ampliação do Estaleiro Aliança de Niteroi, no Rio de Janeiro, visam dotar as actuais instalações de novas estruturas acostáveis, com condições de exploração que permitam proceder ao acabamento de navios em flutuação, libertando drasticamente o exíguo terraplano existente.

No topo do terraplano onde funciona o Estaleiro Naval, passará a existir uma ponte cais, no enfiamento das novas estruturas acostáveis igualmente a construir, e ainda um cais de topo perpendicular à ponte cais, para aí acostar uma doca flutuante, que trará nova valência aos Estaleiros e que justamente fechará a Noroeste as instalações.

Face à exiguidade do plano de água nas proximidades do terraplano, as soluções de projeto tiveram em consideração a necessidade de executar toda a obra por via terrestre, à excepção das dragagens, e pouco mais.

O Dono de Obra exigia que os materiais contaminados, provenientes de determinada zona a dragar, cuja quantidade é bastante reduzida (menos de 3% do total das dragagens) e está identificada, ficassem “encapsuladas”, obrigando a que as soluções de projeto garantissem a estanquicidade do local de armazenamento desses produtos.

Assim, foram excluídas as soluções de gravidade, para evitar qualquer possibilidade de fuga dos produtos contaminados através do embasamento da fundação e do prisma de alívio do tardo. Outras opções tradicionais, como seja o caso de estrutura porticada fundada em estacas e implantada sobre retenção marginal foram igualmente abandonadas, perante a possibilidade de passagem de material contaminado através do prisma de enrocamento de protecção dos taludes.

Haveria portanto que cumprir tais exigências ambientais e, simultaneamente, dotar a solução da possibilidade de executar futura dragagem de aprofundamento junto da frente acostável, já que, embora a cota de serviço do cais agora estabelecida seja de -5 m (ZH), ter-se-á que considerar o futuro aprofundamento para a cota de serviço de -8 m (ZH), sem necessidade de quaisquer intervenções adicionais na estrutura do cais.

As novas estruturas acostáveis e de retenção de aterros fecham a actual “língua de areia” com desenvolvimento em planta em forma de U, onde funcionam as instalações do Estaleiro Aliança. Assim, o “lay-out” é aproveitado para depositar, no tardo dessas estruturas, os materiais contaminados provenientes das dragagens.

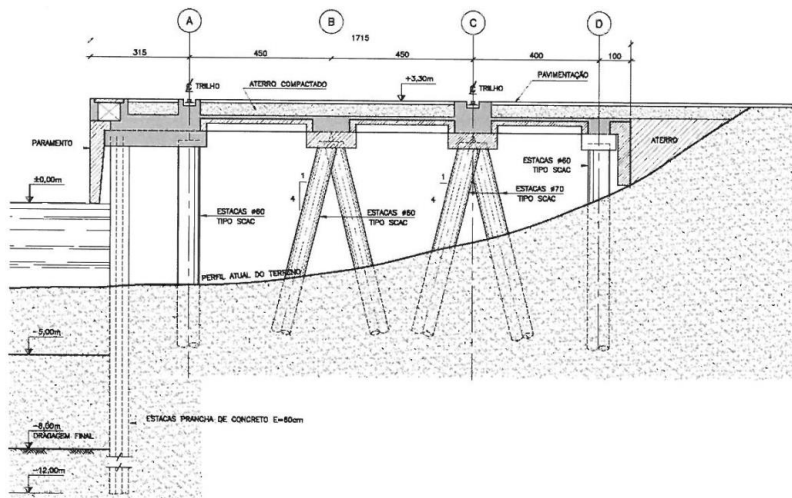
A realização dos trabalhos de execução da empreitada é da responsabilidade da EMPA (empresa brasileira do grupo Teixeira Duarte), sendo as obras marítimas construídas em parceria pela OFM, S.A. e a Teixeira Duarte, S.A.

## 2 – PROJETO

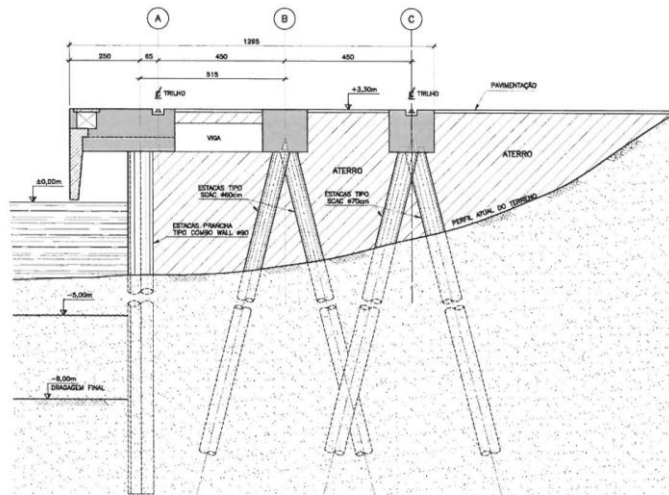
### 2.1- Nota Introdutória

O projeto apresentado nesta comunicação resulta de uma solução alternativa que foi submetida como proposta variante apresentada a concurso, com o intuito de conseguir obter um perfil estrutural mais económico, mais duradouro e com reduzida manutenção, mais rápido de executar e em melhores condições segurança.

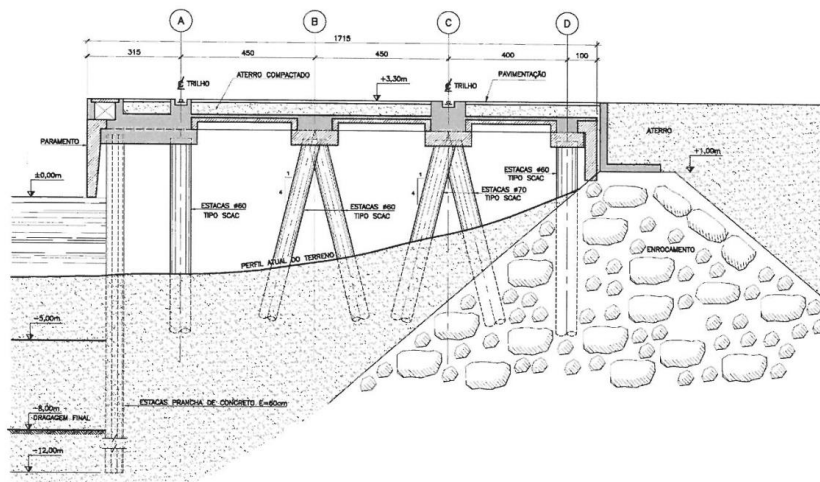
A solução estrutural apresentada pelo Dono de obra foi o resultado de uma escolha entre três anteprojetos desenvolvidos pela Royal Haskoning.



Secção transversal – Solução A



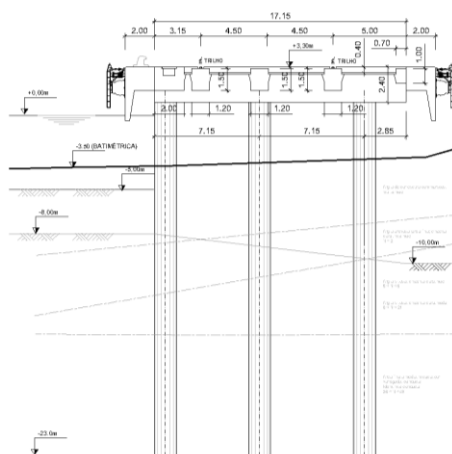
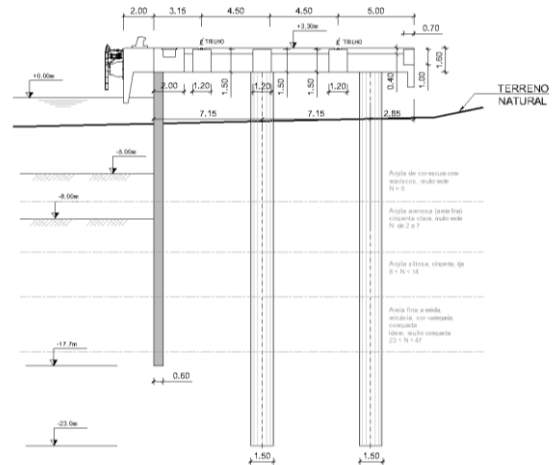
Secção transversal – Solução B



Secção transversal – Solução C

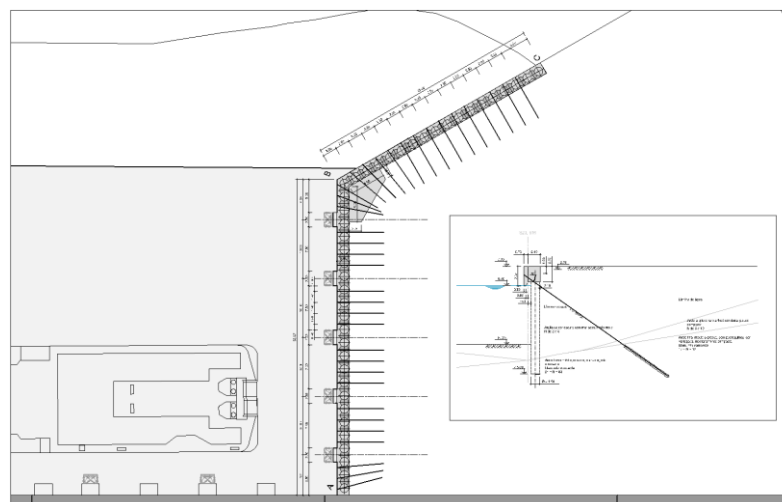
A escolha recaiu na solução B que é mais fácil de construir e em menor prazo, embora tenha custos idênticos às outras duas e todas sejam equivalentes sob o ponto de vista técnico.

Ora, baseado neste princípio, foi estudada uma nova solução (alternativa) mais fácil de construir (estacas verticais e em menor número que as estacas inclinadas do projeto oficial), e que eliminava a utilização de estacas prancha metálicas (muito caras no Brasil), substituindo essa cortina por uma parede moldada, ainda por cima mais duradoura e de menor manutenção.



No que diz respeito à ponte cais (*pier*), uma vez que será executada por via marítima, o perfil projeto é idêntico ao do berço de atracação, mas a parede moldada é substituída por uma fiada de estacas idênticas à dos outros dois alinhamentos, todas elas com molde perdido.

No cais de fechamento, face à existência de margas em profundidade, houve a necessidade de optar por outra solução estrutural, baseada em cortina de estacas de betão armado secantes ancoradas, já que são mais fáceis de construir (atravessar este terreno) que a parede moldada que está incluída no perfil do projeto do cais, adjacente ao terraplino.



## **2.2 Implantação e caracterização geral dos Estaleiros Aliança**

A “língua de areia” onde estão implantados os estaleiros localiza-se na Baía de Guanabara, muito perto da ligação desta ao Atlântico Sul, estando o local bastante protegido da agitação marítima a oeste pela Ilha de Santa Cruz e a sul quer pela península onde está implantada a cidade de Niterói, quer pela ilha de Conceição.

O acesso ao local é efectuado por uma ligação directa à avenida do Contorno (rodovia BR-101-Niterói-Manilha).

A Baía de Guanabara é um espelho de água com 381 km<sup>2</sup>, sendo receptor de 35 rios que englobam uma região hidrográfica de 4 000 km<sup>2</sup>, na sua esmagadora maioria coincidente com a Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

O actual terraplano onde os Estaleiros Navais desenvolvem a sua actividade, tem cerca de 50 000 m<sup>2</sup> possuindo um reduzido conjunto de infra-estruturas portuárias, o que condiciona muito os trabalhos de construção e manutenção de navios, que são as principais componentes dos trabalhos desenvolvidos por esta entidade.

Actualmente o estaleiro opera sobre o terraplano existente, tendo apenas como infra-estruturas portuárias de apoio uma carreira para a construção e lançamento de embarcações com 100 m de comprimento e com capacidade para 3 000 toneladas.

## **2.3- Obras de expansão do estaleiro**

Para garantir os objectivos propostos de construir cinco navios anuais do tipo PSV (*Platform Supply Vassels*) com 88 m de comprimento, 16 m de boca e 5,5 m de pontal (1 200 t) e dois navios de 23 m de comprimento, 23 m de boca e 6,6 m de pontal (1 500 t), em vez dos actuais três navios, foi previsto realizar um conjunto de intervenções, nomeadamente com a construção de obras de acostagem e a execução de dragagens.

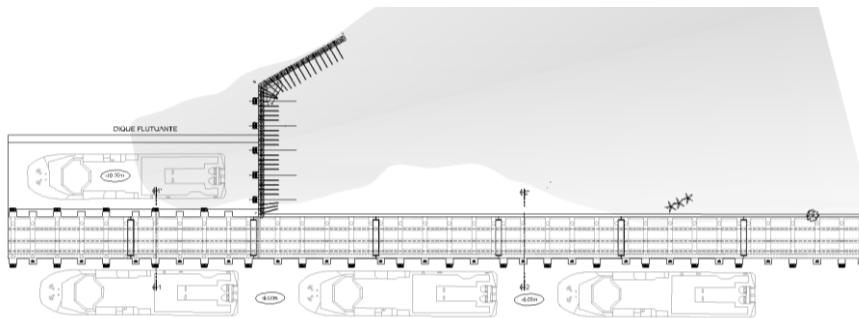
Por forma a cumprir os objectivos propostos é necessário construir 350 m de cais acostável para permitir acabar os navios já em flutuação, libertando o terraplano face à exiguidade do mesmo.

As obras acostáveis são constituídas por uma cais adjacente ao terraplano, com 250 m de extensão e no enfiamento do mesmo haverá uma ponte cais (*pier*) com 100 m de extensão. Ambas as estruturas terão 18 m de largura, para sobre elas implantar o caminho de rolamento de guindastes. Com o intuito de não extravasar muito a actual área de implantação dos Estaleiros, foi decidido cortar cerca de 50 m da ponta da “língua de areia” onde os mesmos estão localizados.

Assim, será necessário construir o cais com 250 m até ao novo topo do terraplano e, a partir daí, avançar em ponte cais com 100 m (saindo para fora dos actuais limites apenas 50 m, face ao corte que será realizado).

Nesse novo topo de terraplano será construído um cais de fechamento, criando uma estrutura de contenção vertical e procedendo às necessárias dragagens para obtenção das cotas de serviço exigidas.

Este novo “lay-out” vai permitir que, do lado de dentro da ponte cais, possa acostar uma doca flutuante com 100 m de comprimento e 37 m de largura. O novo topo do terraplano terá 70 m de extensão dos quais 18 m ocupados pela ponte cais (que tem esta largura) e os restantes 52 m ficarão libertos para a acostagem, de topo, da doca flutuante.

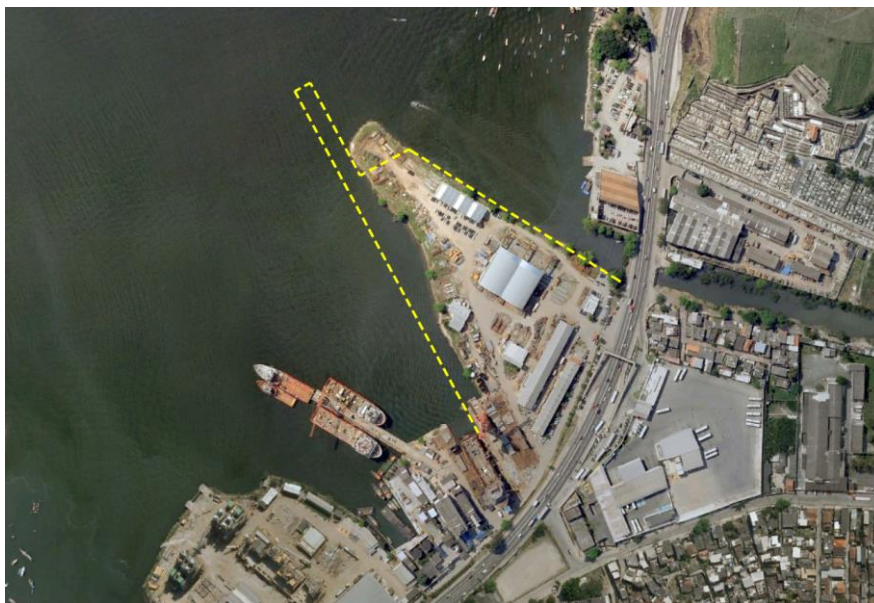


**Planta geral do Cais de Acabamentos, Pier de Atracção e Cais de Fechamento**

As obras acostáveis (cais e ponte cais) foram projetadas para cotas de serviço de (-8,0 m) ZH embora na fase de arranque da exploração só haja necessidade de (-5,0 m) ZH.

No cais de fechamento as cotas de serviço serão de (-10 m) ZH para criar um fosso onde a doca flutuante possa operar.

#### **2.4 – Descrição da solução alternativa projectada**



**Zona de intervenção com implantação das novas estruturas a construir**

Face às condições geotécnicas locais e tendo em conta as diversas condicionantes impostas pela funcionalidade do berço de atracção, nomeadamente o atendimento a navios e às cotas da plataforma de atracção e da zona a dragar, desenvolveu-se uma solução estrutural em betão armado composta por tabuleiro em laje vigada, suportada por pilares de estacas e parede moldada.

A solução projetada não é substancialmente diferente do tradicional perfil em estacas, substituindo a fiada de estacas exterior por parede moldada, na frente acostável, evitando-se assim o contacto entre os materiais de aterro e o plano de água. Para além de eliminar qualquer possibilidade de fuga de material contaminado, a estrutura composta por parede moldada, com duas fiadas de estacas no tardo, permite simultaneamente o futuro aprofundamento do cais, sem constrangimentos estruturais.

A solução estrutural do cais de fechamento do topo do terraplino (da “língua de areia”), difere da anterior, contrariamente ao que a lógica aconselharia, pelas circunstâncias de, nesse local, o subsolo ser muito rijo (margas) e o cais mais profundo, dificultando e onerando a construção de parede moldada. Optou-se assim por solução de idêntica funcionalidade (superfície fechada), com cortina de estacas de betão secantes e ancoradas.

O tabuleiro do cais e ponte cais é composto por uma laje estrutural com 0,40 m de espessura apoiada em grelha de vigas, constituída por três vigas longitudinais de secção b x h de 1,20 m x 1,50 m, sendo que duas delas suportam os caminhos de rolamento do guindaste tipo, a viga de bordadura de dimensões 0,70 m x 1,00 m, e a viga da extremidade de atracação, em U, com dimensões exteriores 2,00 m x 1,60 m. Estas vigas descarregam em vigas transversais, de dimensões 1,80 m x 1,60 m espaçadas de 10 m, que servem também de encabeçamento aos pilares/estacas.

A fundação do tabuleiro será efectuada através de 36 alinhamentos de estacas, de acordo com as três soluções seguidamente apresentadas; estes alinhamentos são afastados de 10,0 m na direcção longitudinal e cerca de 7,15 m na direcção transversal.

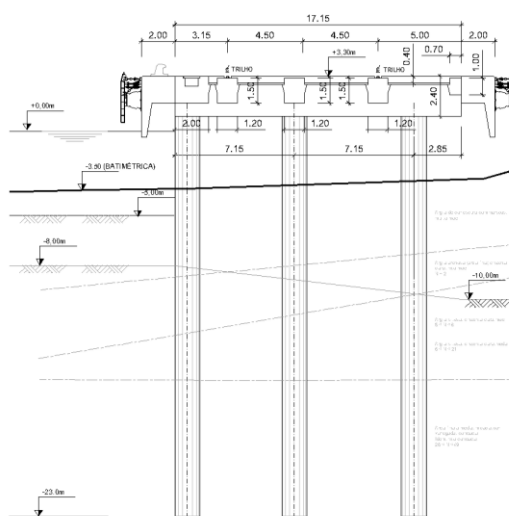
Uma vez que a estrutura acostável possui cerca de 350 m de comprimento, com o intuito de minorar os efeitos das deformações impostas associadas à retracção e às variações de temperatura sazonais, adoptaram-se seis juntas estruturais que dividem o berço em sete módulos distintos e estruturalmente independentes. A transição entre os módulos é efectuada através de uma laje de tamponamento simplesmente apoiada.

Na zona das juntas estruturais houve a necessidade de proceder à duplicação das estacas reduzindo assim o afastamento, na direcção longitudinal, para 8,0 m.

Foram definidas duas soluções, uma mista entre parede moldada e estacas moldadas, e outra em estacas, também de betão armado mas executadas através de tubos metálicos cravados, conforme seguidamente se apresenta.

#### 2.4.1. - Solução de três alinhamentos de estacas Ø1500mm – Ponte Cais (100 m de comprimento)

A tecnologia de execução corresponde a estacas betonadas dentro de tubos metálicos previamente cravados e depois de removido o terreno do seu interior até às cotas de projeto. Todas as estacas serão executadas por via marítima.

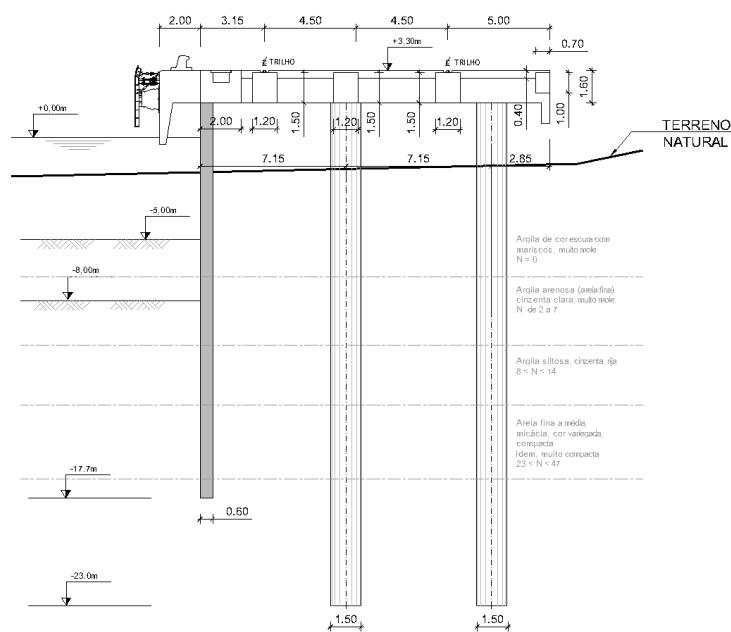


Corte Tipo da Ponte Cais

## 2.4.2. - Solução de parede moldada de 0,60 m no alinhamento da frente de acostagem e estacas Ø1500mm nos restantes dois alinhamentos verticais (250 m de comprimento) – Cais de Acabamentos

Esta solução confere boas condições de durabilidade ao cais e facilidade na contenção dos produtos provenientes das dragagens. Viabiliza também a contenção do aterro e o possível encapsulamento dos terrenos contaminados.

As estacas e a parede moldada serão executadas através da tecnologia das estacas furadas com lamas, após regularização da plataforma por aterro.



**Corte Tipo do Cais de Acabamentos**

## 2.5. Regulamentação

Para o presente estudo considerou-se a regulamentação aplicável e em vigor, bem como regulamentação específica de fundações, nomeadamente as Normas Brasileiras referentes a esta matéria.

## 2.6. - Materiais

A durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do betão e do recobrimento das armaduras. De acordo com a tabela 6.1 da NBR 6118 definiu-se para o presente estudo uma classe de agressividade ambiental de grau IV, a que corresponde uma agressividade muito forte. Os materiais e recobrimentos adoptados estão de acordo com o mínimo preconizado nas tabelas 7.1 e 7.2 da referida norma para a classe de exposição considerada e cumprindo os requisitos do caderno de encargos.

Materiais [-]	Betão [-]	Aço [-]	Cobrimto [mm]
Estacas	C40 ( $f_{ck} = 40$ MPa)	CA-50 ( $f_{yk} = 500$ MPa)	50
Vigas	C40 ( $f_{ck} = 40$ MPa)	CA-50 ( $f_{yk} = 500$ MPa)	50
Lajes	C40 ( $f_{ck} = 40$ MPa)	CA-50 ( $f_{yk} = 500$ MPa)	50

## 2.7. – Condições geotécnicas locais

A caracterização das formações geológicas foi realizada a partir de uma campanha de sondagens levada a cabo pela CAF Botelho Fundações Ltda. para o Estaleiro Aliança. Na zona do berço de atracação foram executados vários furos de sondagem à rotação com execução de ensaios de penetração dinâmica com sonda normalizada (SPT) em intervalos de 1,50 m.

Dos ensaios realizados obteve-se a caracterização lito-estratigráfica e geomorfológica da zona de implantação do berço de atracação, a partir da qual se definiram vários perfis geomecânicos de cálculo utilizados para o dimensionamento das estacas e parede moldada. Na tabela seguinte apresenta-se a síntese dos perfis considerados.

Descrição	Cota Base	$N_{SPT}^{médio}$	$K_w$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$q_c$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$k_c$	$q_{s,calc}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Aterro a colocar	-4 a -6	-	-	2000	-	0.0
Areia argilosa	-7 a -12	2 a 15	5000	4000 a 8000	-	5.0 a 15.0
Areia fina a média	-8 a -19.5	31 a 41	15000 a 50000	20000 a 25000	-	80.0 a 120.0
Areia fina a média	Não detectado	60 (assumido)	50000 a 70000	36000	0.3	150.0

No que se refere à hidrologia verifica-se a presença de nível freático permanentemente condicionado pelo nível das marés, a variar aproximadamente entre as cotas (+1,20 m) ZH e (-0,20 m) ZH.

## 2.8. - Dimensionamento

- Acções Permanentes
- Peso Próprio ( $\gamma_{conc.} = 25,0$  kN/m<sup>3</sup>)
- Restante carga permanente (sobrecarga uniformemente distribuída de 5,0 kN/m<sup>2</sup>)
- Excentricidade construtiva das estacas (de forma a contabilizar as excentricidades resultantes da execução das estacas considerou-se para o seu dimensionamento uma excentricidade accidental máxima de 0,12 m).
- Acções variáveis
- Sobrecargas

Sobrecarga à superfície (Sobre o tabuleiro do berço de atracação foi considerada uma sobrecarga operacional uniformemente distribuída de valor igual a 30,0 kN/m<sup>2</sup>. No trecho entre o paramento e o trilho externo a sobrecarga considerada foi de 15,0 kN/m<sup>2</sup>.

Sobrecarga devido ao guindaste sobre carris Ardelt 100 tons (400 kN/m por carril)

Veículos tipo – Guindaste 60 tons (O caderno de encargos preconiza a utilização de um guindaste de 60 tons, circulando e estacionando as patolas em qualquer posição, excepto junto ao paramento do cais. Como não foi especificado nenhum modelo de guindaste, assumiu-se uma grua LIEBHERR LTF 4060-4.1, de peso 420 kN e 600 kN de capacidade de carga.

Acostagem (a carga transmitida pelas defensas foi simulada por intermédio de uma força horizontal de compressão de 1 080 kN (transversal ao cais) e 216 kN (longitudinal ao cais), alternadamente em vários pontos do cais, ao nível das vigas transversais, por forma a encontrar a situação mais condicionante).

- Combinações de acções.

Estados Limites Últimos (para a verificação das secções aos Estados Limites Últimos consideram-se as seguintes combinações de cálculo):

Acção variável de base: Sobrecarga de Superfície

Acção variável de base: Sobrecarga do Guindaste de Contentores

Acção variável de base: Veículo Tipo (Guindaste 60 ton e trem tipo TB 45)

Acção variável de base: Amarração

Acção variável de base: Acostagem

Acção variável de base: Temperatura

Estados Limites de Utilização (para a verificação de segurança em relação aos estados limites de utilização (fissuração) considerou-se, para uma classe de agressividade ambiental de grau IV, um estado limite de curta duração ao qual corresponde a combinação frequente de acções. As combinações consideradas para a verificação de segurança foram as seguintes:

Acção variável de base: Sobrecarga de Superfície

Acção variável de base: Sobrecarga do Guindaste de Contentores

Acção variável de base: Veículo Tipo (Guindaste 60 ton e trem tipo TB 45)

Acção variável de base: Amarração

Acção variável de base: Acostagem

Acção variável de base: Temperatura

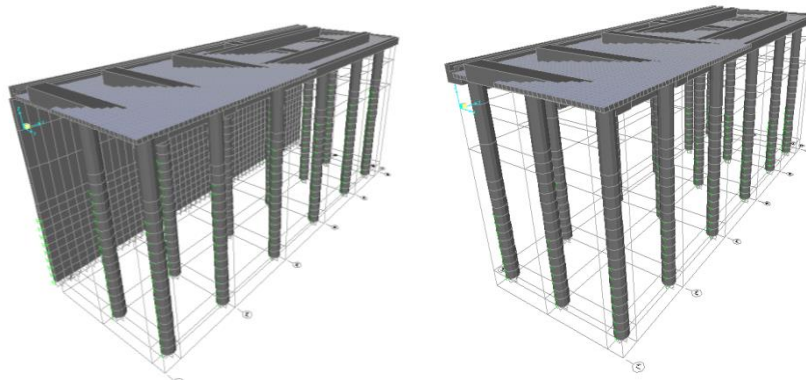
### **Modelo de Cálculo**

Para o dimensionamento da estrutura recorreu-se ao programa de cálculo automático SAP2000, tendo a laje de tabuleiro sido simulada por intermédio de uma malha de elementos finitos de 4 nós do tipo “shell”, adaptada à sua geometria, com aproximadamente 0,25 m<sup>2</sup> de área e espessura igual a 0,40 m.

As estacas e as vigas foram simuladas por intermédio de elementos lineares de secção circular e rectangular respectivamente.

De forma a simular a reacção do solo às acções horizontais, foram colocadas molas ao longo do fuste enterrado das estacas com a rigidez,  $k_w$ , indicada na tabela anterior. A capacidade de suporte das estacas foi simulada por intermédio de apoios rígidos na direcção vertical.

Na figura seguinte apresenta-se uma perspectiva tridimensional dos modelos de cálculo considerados.



**Perspectiva tridimensional dos modelos de cálculo considerados**

### Verificações de Segurança

As verificações de segurança dos elementos estruturais do berço de atracação foram efectuadas para as combinações de acções apresentadas de acordo com as directrizes das normas NBR 6118 e REBAP. Assim, foram efectuadas as seguintes verificações de segurança:

Elemento estrutural	Estados Limites Últimos	Estados Limite de Utilização
Lajes	Estado Limite Último de Esforço Cortante	Estado Limite de Deformação: $\delta^\infty \leq L/500$ (entre pontos fixos) Estado Limite de Fissuração: $w_k \leq 0.2 \text{ mm}$
	Estado Limite Último de Flexão Composta	
Vigas	Estado Limite Último de Esforço Cortante	
	Estado Limite Último de Flexão Composta	
Estacas	Estado Limite Último de Esforço Cortante	Estado Limite de Fissuração: $w_k \leq 0.2 \text{ mm}$
	Estado Limite Último de Flexão Composta	

**Nota** – Se a obra se realizasse na Europa e não no Brasil  $w_r \leq 0,1\text{mm}$

### Capacidade de Suporte das Estacas

A capacidade de suporte da parede moldada foi avaliada com base na geologia do local da obra através do método penetrométrico proposto por Michel Bustamante e Gianceselli (Bull. Liaison Lab. P. et Chaussées nº127 – Sept. – Oct. 1983).

A carga nominal das estacas,  $Q_n$ , é dada pela soma da carga limite de atrito lateral,  $Q_L$ , com a carga limite de ponta,  $Q_P$ , afectada dos respectivos coeficientes de segurança, ou seja:

$$Q_n = \frac{Q_p}{F_p} + \frac{Q_L}{F_L}$$

em que:

$F_P$  – Coeficiente de segurança para a resistência de ponta que toma o valor 3,00;

$F_L$  – Coeficiente de segurança para o atrito lateral que toma o valor 2,00;

A carga nominal determinada com estes factores de segurança corresponde a uma carga de serviço, pelo que para ser comparada com esforços majorados deverá ser multiplicada pelo factor de segurança usual utilizado na majoração das cargas permanentes e sobrecargas. Neste caso, como as acções permanentes são majoradas de 1,40 e as variáveis de base de 1,50, adoptou-se o factor de 1,45.

### **3 – Construção da obra**

#### **3.1. – Intervenção prevista**

A intervenção visa a construção de estruturas acostáveis do lado SW da “língua de areia” onde está implantado o ESTALEIRO ALIANÇA, constituídas por um berço de atracação com 250 m de comprimento, seguido de uma ponte cais (*pier*) com 100 m de extensão. Haverá também um cais de fechamento no topo do terraplino existente, que terá por objectivo a melhoria das condições de operacionalidade das actuais instalações. Será igualmente construída uma retenção marginal a fechar a plataforma a NE, onde estão implantadas as estruturas. Está também prevista a execução de dragagens.

O berço de atracação e *pier* desenvolver-se-ão de sudoeste para noroeste ao longo de cerca de 350 m, permitindo operar com cotas de serviço de (-5,0 m) ZH com possibilidade de no futuro dragar até à cota (-8,0 m) ZH, sem necessidade de realizar quaisquer trabalhos adicionais nas estruturas que agora vão ser construídas. No cais de fechamento a cota de dragagem será de (-10,0 m) ZH.

Assim, as principais actividades contempladas no Cronograma de Trabalhos são:

- Montagem e posterior desmontagem do Estaleiro de Obras;
  - **Construção do Berço de Atracção através de:**
    - Execução de aterro com o material dragado para terra (criando uma plataforma de trabalho que permitirá a execução da parede diafragma no alinhamento de projeto e posteriormente a execução das estacas de fundação do tabuleiro).
    - Execução de duas fiadas de estacas e uma parede diafragma, ambas em betão armado, construídas por via terrestre;
    - Execução de vigas e laje betonadas sobre o aterro (construído a partir dos materiais dragados);
    - Remoção da banquetta de aterro excedentário na parte frontal da parede diafragma e conclusão da dragagem até à cota (-5,0 m) ZH.
      - **Construção do Cais de Fechamento através de:**
        - Execução de parede de estacas secantes de betão armado;
        - Execução da viga de coroamento e tirantes definitivos ao terreno;
        - **Construção da Ponte Cais totalmente por via marítima:**
          - Execução das estacas de fundação;
          - Construção do tabuleiro da ponte cais a partir de peças de betão armado pré-fabricado;
          - Betonagem “in situ” da lâmina de compressão da laje;
- Serão instalados acessórios de cais (cabeços de amarração e defensas) em todas as novas estruturas;**
  - **Dragagens:**
  - **Execução da Retenção de Aterros:**
    - Construção do núcleo da retenção em enrocamento TOT;
    - Protecção do núcleo de retenção com enrocamento de 50 a 100 kg;

- Execução do aterro no tardo com materiais obtidos por dragagem e repulsão;

## **3.2 - Metodologia proposta para a construção**

### **3.2.1. - Nota introdutória**

As características e a especificidade da infra-estrutura portuária impõem que a construção da parede diafragma bem com as estacas do berço de atracação e cais de fechamento se efectuem totalmente por via terrestre, ao passo que a infra-estrutura da ponte cais e a sua superestrutura serão totalmente executadas por via marítima.

A metodologia proposta pressupõe a maior economia possível de meios. Assim, os principais equipamentos serão rentabilizados ao máximo, permitindo reduzir ao mínimo a presença dos mesmos em obra, com a vantagem adicional de evitar, na medida do possível, a indesejada interferência com a actividade portuária, quer por terra, quer por mar.

As várias actividades desenvolver-se-ão com o encadeamento a seguir indicado.

### **3.2.2. – Sequência construtiva**

Previu-se o arranque simultâneo em quatro frentes de obra:

- Pré-fabricação de vigas, lajes e escudetes;
- Execução das estacas da ponte cais por via marítima;
- Execução das estacas secantes no cais de fechamento;
- Dragagens;

Será necessário ter peças pré-fabricadas a tempo de movimentá-las e colocá-las na ponte de cais, à medida que as estacas desta vão avançando.

A dragagem torna-se necessária logo na fase inicial para viabilizar a execução do aterro de apoio à construção do berço de atracação.

A execução do cais de fechamento condiciona o embarque das peças pré-fabricadas, para não haver a necessidade de utilizar qualquer outro cais do ESTALEIRO ALIANÇA, sem ter que se movimentar peças no exíguo espaço que estas instalações industriais possuem, não condicionando assim o seu normal funcionamento.

Iniciar-se-ão os trabalhos na ponte cais pela execução das estacas de fundação, todas elas construídas por via marítima, com recurso a pontões com grua. Apesar de o afastamento entre as estacas ser considerável, este não será ainda assim suficiente para que entre elas se possa movimentar o pontão com a grua que irá proceder à execução das mesmas.

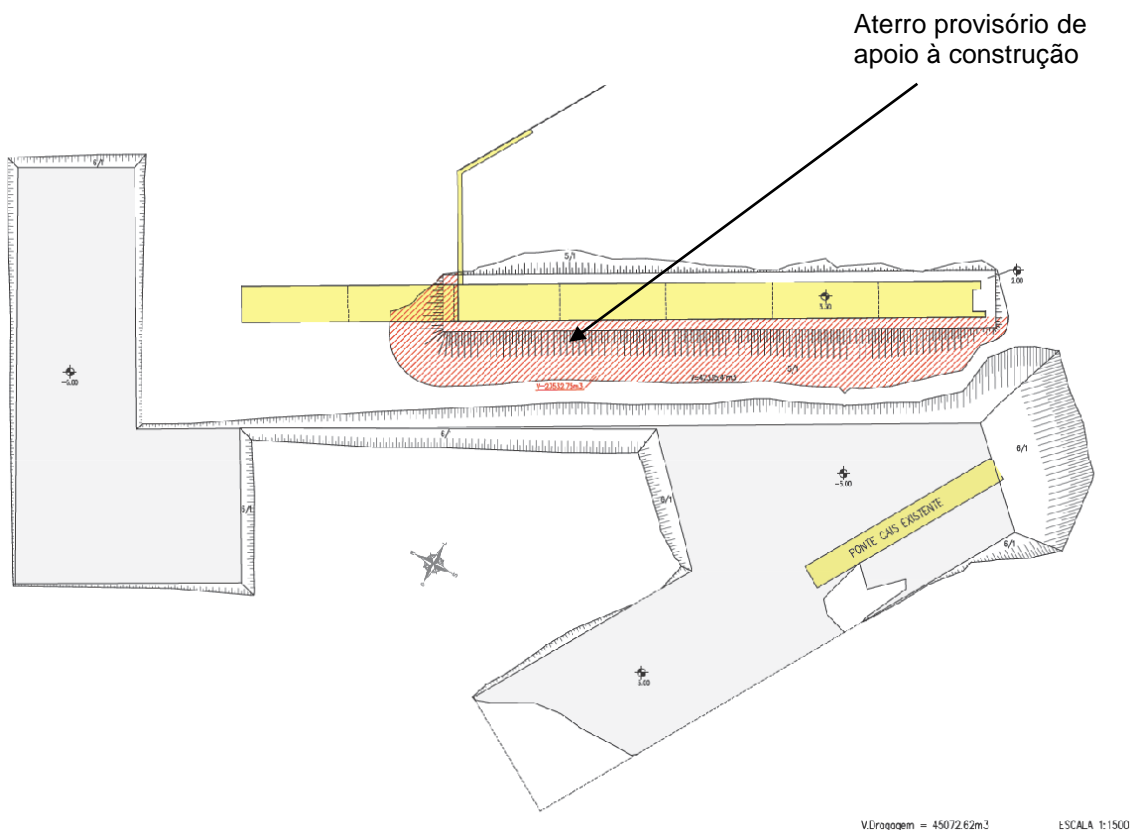
As estacas serão então executadas por fiadas, começando pelas que estão mais próximas de terra. Actuando desta forma, logo que esteja concluído o primeiro módulo, ao fim de dois meses, continuar-se-á com a execução da infra-estrutura dos pórticos imediatos.

Em simultâneo, com o arranque da execução das estacas iniciar-se-á a pré-fabricação das vigas e pré-lajes. Quando concluídas as estacas do primeiro módulo, já haverá vigas para colocar sobre estas, solidarizando a estrutura.

Assim, só se procederá à execução da lâmina de compressão do tabuleiro do primeiro módulo (que será betonado "in situ"), após a colocação das totalidades das vigas e lajes que o constituem. Igual procedimento será adoptado na execução do segundo módulo da ponte de cais.

Não será efectuada qualquer dragagem que interfira com as estacas a implantar na ponte de cais, antes de as mesmas estarem executadas.

Assim, os trabalhos de dragagem iniciais serão restringidos a áreas que não interfiram com a execução de infra-estruturas portuárias.



Os trabalhos da retenção marginal estarão apenas pendentes da conclusão da viga de coroamento do cais de fechamento, de forma a poder-se reperfilar o talude em cima do alinhamento do mesmo.

No berço de atracação, a parede moldada e as estacas iniciar-se-ão logo que esteja concluída parte significativa da plataforma de trabalho com o aterro de material proveniente da dragagem. A execução das vigas e laje terão o desfasamento mínimo necessário, de forma a não perturbar os rendimentos da parede diafragma e estacas.

### 3.3 — Processos construtivos

Uma vez explicada a metodologia preconizada para executar a obra, avançando com as várias actividades de forma sequencial, sem grandes interferências entre si e garantindo simultaneamente a qualidade do produto final, passa-se a explicar a metodologia idealizada para cada uma das principais actividades.

#### 3.3.1 — Trabalhos Preparatórios e Acessórios

Proceder-se-á inicialmente à preparação dos equipamentos, com vista à sua mobilização para o local de trabalhos, bem como ao tratamento das áreas destinadas ao estaleiro e obtenção das respectivas licenças de trabalho.

#### 3.3.2 - Trabalhos Complementares

Como trabalhos complementares entendem-se a execução de levantamentos hidrográficos inicial, de acompanhamento e final, bem como a elaboração de relatórios mensais de progresso e do relatório final.

A execução dos levantamentos hidrográficos, através de DGPS e sonda hidrográfica, será precedida da sinalização da área de trabalhos, com recurso a marcas e bóias munidas de lanternas fotossensíveis.

### 3.3.3 - Áreas de Fabrico e Armazenamento

O Dono da Obra cedeu uma área para implantação do Estaleiro e disponibilizou um cais de embarque, nas imediações da obra, para a operação dos equipamentos flutuantes utilizados para o transporte de tubos metálicos das estacas e, eventualmente, de outros materiais.

Quanto ao embarque das peças de betão pré-fabricado, será utilizado o cais de fechamento, logo que este esteja parcialmente dragado, já que a eira de pré-fabricação será implantada paralelamente a este cais, para facilitar a movimentação das peças a colocar em obra.

No local cedido para Estaleiro serão instaladas as áreas de fabrico e armazenamento de elementos pré-fabricados, posicionadas estrategicamente em zonas contíguas quer às instalações reservadas à preparação de cofragens, quer de armaduras.

A pista de pré-fabricação terá 75 m de extensão e 15 m de largura, possibilitando a execução e permanência simultânea de vários elementos.

#### 3.3.4 — Pré-fabricação

A pré-fabricação de elementos de betão armado compreenderá, de acordo com o projeto, vigas transversais, vigas longitudinais, pré-lajes e escudetes.

A eira constituirá uma pista de pré-fabricação onde as vigas e lajes serão executadas com o auxílio de grua automóvel, servindo de apoio às operações de movimentação de cofragens e de betonagem. Depois de executadas, as vigas e as lajes permanecerão em eira durante três dias (poderão ficar folgadoamente até cinco dias), após os quais serão removidas e transportadas para a zona de stock.

A eira será perfeitamente nivelada, garantindo-se previamente a regularização e compactação do terreno de fundação. Paralelamente a cada um dos lados da eira desenvolver-se-ão dois caminhos de rolamento para pórtico motorizado de 100 tons. Esses caminhos de rolamento serão compostos por carris assentes em vigas metálicas, por sua vez apoiadas sobre maciços de betão.



A área de stock e armazenagem, de onde os elementos de betão sairão para a frente de obra nunca antes de decorridos 28 dias após a sua execução, situar-se-á junto à eira.

A pré-fabricação das vigas e lajes envolve a utilização de cofragens metálicas.

Está prevista a incorporação de vários conjuntos de cofragens de vigas, contando que as peças sejam apenas descofradas e movimentadas após três dias de cura, considerando também a necessidade de incrementar o ritmo de fabrico em períodos específicos, se tal se revelar necessário.

Os jogos de cofragens oferecerão superfícies lisas e desempenadas, garantindo que as dimensões dos elementos de betão, após desmoldagem, sejam rigorosamente as indicadas no projeto. Antes do início da betonagem, as cofragens serão convenientemente limpas de detritos.

As operações de betonagem serão realizadas com equipas especializadas que se encarregarão do tratamento das cofragens e sua montagem, e que procederão também à colocação e vibração do betão com o apoio de grua automóvel.

O betão será transportado por camiões betoneiras, as quais verterão directamente ou em balde de descarga pelo fundo, movimentado pela grua automóvel auxiliar ou pelo pórtico. O betão será convenientemente vibrado dentro das cofragens, no sentido de obviar a sua segregação e eliminar vazios ou “chochos”. O betão será humidificado por rega directa ou por aplicação de tela geotêxtil, logo a seguir à conclusão da betonagem e pelos dias seguintes, de forma a evitar a ocorrência de fissuras devidas à retracção.



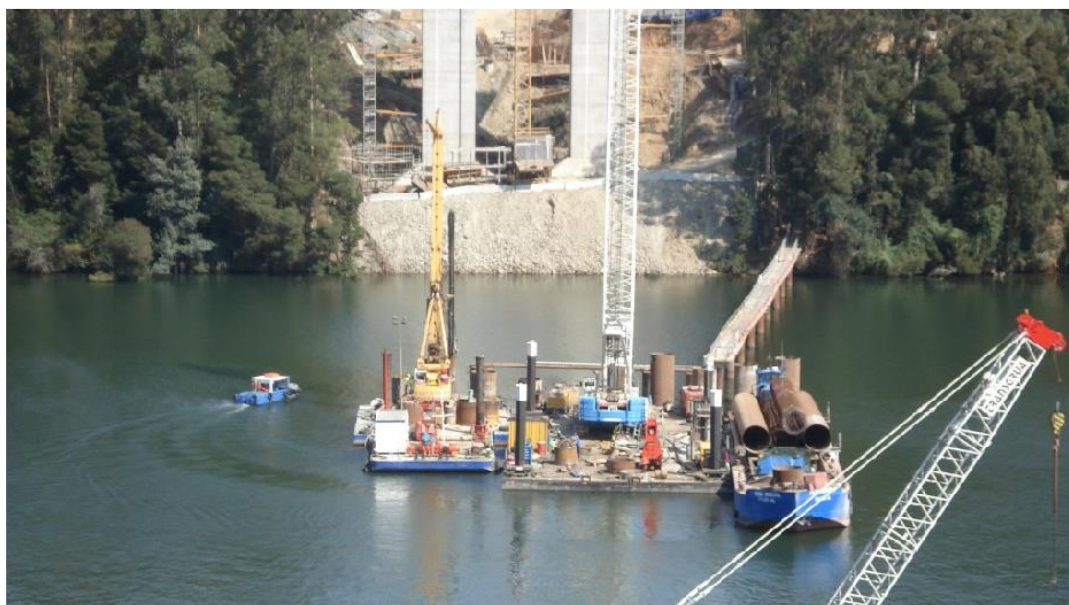
### 3.3.5 — Transporte e Armazenamento

Como se referiu, as peças pré-fabricadas serão elevadas na eira por uma grua de 180 ton, colocando-as no meio de transporte que as levará à frente de obra.

Será esta grua que irá colocar as vigas e lajes sobre o pontão que acostará ao cais de fechamento.

### 3.3.6 — Execução das estacas da Ponte Cais (PIER)

As estacas de fundação do *pier* serão executadas por via marítima. Desta forma, serão mobilizados dois pontões:



O primeiro, com dimensões aproximadas de 35 m x 18 m, será equipado com guindaste sobre rastros de 150 tons de capacidade, um vibrocavador, um conjunto de perfuração “Fly Drill”, um conjunto de tubos tremi e um contentor marítimo, reunindo as condições para executar a cravação das camisas metálicas construtivas, a perfuração das estacas, a colocação de armaduras e a betonagem das mesmas;

O segundo pontão, com dimensões aproximadas de 20 m x 10 m, servirá para o transporte de materiais (tubos, armaduras e outros) entre o cais existente e a frente de trabalho.

Para a movimentação e estabilização dos pontões e transporte de pessoal entre o cais e as frentes de trabalho, será utilizado um rebocador com a respectiva tripulação.

Os trabalhos serão iniciados simultaneamente com a mobilização dos equipamentos (pontões, rebocador, guindaste, Fly Drill, vibrocavador, etc.) e com a montagem das camisas metálicas de revestimento para a execução das estacas.

Estas chegarão ao local da obra por terra em tramos de até 12 m. Visto que se estima um comprimento máximo de tubos de 25 m, estes serão soldados em “terra” de forma a poderem ser carregados para cima do pontão de transporte já no seu comprimento final. Desta forma evitar-se-ão soldaduras dos tubos em posição vertical, no mar, após cravação de um primeiro tramo de tubo, operação esta que seria tecnologicamente mais complicada e morosa.



Uma vez mobilizados os equipamentos e preparado um primeiro lote de tubos, dar-se-á início à execução das estacas, iniciando pelas mais próximas do cais de atracação em direcção à outra extremidade, como, aliás, já foi anteriormente referido.

Os tubos serão carregados de terra até à frente de trabalho, por via de pontão de transporte. Após levantamento, estes serão cravados até ao estrato competente com recurso a vibrocravador montado em guindaste posicionado noutro pontão.

No seguimento, executa-se a limpeza e perfuração do material (lodos, argilas e areias) dentro dos tubos com o equipamento Fly Drill.



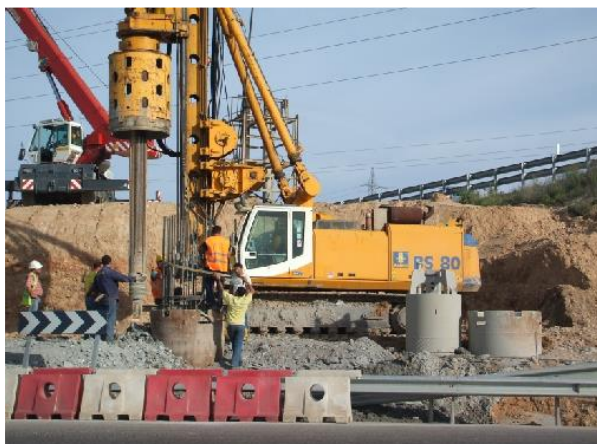
Terminada a operação da perfuração da estaca, é colocada a armadura dentro da mesma e procede-se à betonagem com recurso a tubagem “tremi” em sentido ascendente. Esta operação efectuada com o guindaste.

As armaduras já montadas e completamente preparadas em terra chegarão à frente de trabalho em cima do pontão de transporte.

Numa primeira fase, enquanto a auto-bomba tiver alcance, o betão será bombeado directamente para a boca das estacas. Posteriormente será montada uma linha de betonagem assente em perfis metálicos apoiados nas estacas previamente executadas. À medida que se for avançando com os pórticos, a linha de betonagem avançará também de forma a poder garantir a chegada do betão à frente de trabalho.

### 3.3.7 — Execução da cortina de estacas secantes do Cais de Fechamento

O cais de fechamento será materializado através de uma cortina de estacas secantes de 1 500 mm de diâmetro.



Estas estacas serão executadas com uma perfuratriz equipada com haste “kelly” telescópica e respectivas ferramentas de perfuração.

A estabilização da perfuração será feita com recurso a tramos de tubo de revestimento provisórios.

Após execução do murete guia, executar-se-ão as estacas primárias só com betão de baixa resistência. Posteriormente executar-se-ão as estacas secundárias, que “morderão” lateralmente as estacas primárias de forma a tornar a contenção estanque. Estas estacas secundárias serão betonadas com a armadura resistente.

Concluídas as estacas, será construída uma viga de coroamento de betão armado, de forma a solidarizar todo o conjunto.

Nesta viga serão instalados tirantes definitivos de 500 kN, de forma a suportar os esforços de flexão surgido após a dragagem de toda a frente do cais de fechamento à cota (-10 m) ZH. Para a perfuração dos tirantes utilizar-se-á uma perfuratriz de pequeno diâmetro. Para executar as ancoragens na parte frontal do cais de fechamento, aproveitar-se-á a plataforma de trabalho existente, uma vez que o topo da “língua de areia” ainda não se encontra removido nesta fase, para aí posicionar o equipamento, como é visível na foto junta.



### 3.3.8 — Execução das paredes diafragma do Cais de Atracação



A parede diafragma de 600 mm de espessura será executada por dois guindastes sobre rastos (um equipado com clamshell para escavação da parede e o outro só para apoio na colocação das armaduras e betonagens) para além de uma estação de fabrico de lamas bentoníticas. Proceder-se-á inicialmente à construção de um murete guia, de forma a materializar o alinhamento da parede diafragma. Durante a escavação, o solo vai sendo substituído por lamas bentoníticas de forma a estabilizar as paredes dos painéis. Terminada a escavação, proceder-se-á à reciclagem das lamas bentoníticas, à colocação de tubos-junta e de armadura e, finalmente, do betão dos painéis em sentido ascendente com recurso a tubos “tremi”.

### 3.3.9 — Execução das estacas de fundação das vigas de apoio da laje do tabuleiro do Cais de Atracação



As estacas de 1500 mm de diâmetro de fundação das vigas de apoio do tabuleiro, a betonar “in situ”, serão executadas com perfuratriz equipada com haste “kelly” telescópica e respectivas ferramentas de perfuração.

Após a cravação de um tubo guia no local de implantação das estacas, inicia-se a escavação das mesmas à rotação. O solo vai sendo substituído por lamas bentoníticas fabricadas na central anteriormente montada para a execução da parede diafragma, de forma a estabilizar as paredes das estacas.

Terminada a escavação, proceder-se-á à reciclagem das lamas bentoníticas, à colocação das armaduras e finalmente à betonagem, em sentido ascendente, com recurso a tubos “tremi”.

### 3.3.10 — Construção das Retenções com Enrocamento

O transporte de enrocamento desde a pedreira será efectuado por camiões basculantes. O perfil de projeto foi desenvolvido com o intuito de realizar a totalidade dos trabalhos, nesta frente de obra, por via terrestre, permitindo a descarga directa do enrocamento TOT, sendo necessário regularizar os taludes com a escavadora giratória de 450 tons.

Após a regularização do talude exterior, o manto de protecção exterior de enrocamento de 50 a 100 kg será executado utilizando o mesmo equipamento.

Optou-se por dimensionar a retenção com taludes a 4(h):3(v) porque a agitação incidente é praticamente inexistente ( $H \leq 0,5\text{m}$ ) e esta inclinação corresponde ao talude natural de descarga da pedra, o que facilita imenso a execução da obra.

Antecedendo a colocação do enrocamento TOT, a escavadora giratória irá abrindo a vala de encaixe do núcleo de retenção e apoiará a equipa de mergulhadores a estender a tela geotêxtil do filtro.

O desfasamento entre cada uma das actividades nesta frente da obra não será nunca superior a 15 m, para não haver assoreamento da vala, nem deixar desprotegido o núcleo de retenção.



Apesar de a Obra ser permanentemente acompanhada topograficamente, através de levantamentos topo-hidrográficos, serão instaladas cérceas de controlo visual dos taludes, ao longo do desenvolvimento da retenção marginal.

### **3.3.11 — Colocação de Peças Pré-fabricadas de Betão Armado na Ponte Cais**

Como foi explicado na metodologia de execução, antes de se proceder à dragagem da bacia de acostagem da ponte cais, é necessário executar as três estacas verticais, que constituem cada um dos pórticos transversais, colocar as vigas transversais pré-fabricadas, as quais serão solidarizadas com as estacas onde se apoiam, garantindo este travamento, que se considera adequado e suficiente, para dar início às actividades subsequentes de colocação das vigas longitudinais e pré-lajes e a seguir efectuar a betonagem “in situ” da lâmina de compressão sobre as mesmas.

Os acessórios de cais previstos, nomeadamente as defensas e os cabeços de amarração, serão aplicados na sequência da conclusão dos trabalhos de execução da superestrutura. No entanto, os acessórios de fixação deverão, sempre que possível, ficar embebidos no betão em fase de betonagem da respectiva superestrutura, utilizando, para o efeito, cérceas adequadas.

É de realçar que este procedimento será adoptado no primeiro módulo e que se repetirá no segundo módulo para completar a ponte cais.

### **3.3.12 — Dragagens, Escavações e Aterros**

Da necessidade de executar dragagens de construção e escavações resulta que os respectivos produtos tenham que ser depositados em locais previamente definidos, mormente no vazadouro localizado junto à Ilha Rasa, já que o terraplano absorverá muito pouco material de aterro.

O material designado como contaminado será “enclausurado” no tardo das estruturas acostáveis do berço de atracação e cais de fechamento, já que ambas as soluções estruturais têm junto ao plano de água paredes completamente impermeáveis (cortina de estacas secantes e parede moldada).

As dragagens serão executadas preferencialmente com dragas de sucção e arrasto (Hoppers).

Assim, será preferível deslocar as dragas até perto das zonas a aterrar e ligar as bombas das dragas a bóias junto à obra (terraplano do ESTALEIRO), às quais estão ligadas tubagens que permitem conduzir os dragados repulsados para o terraplano onde serão empilhados e a seguir empurrados para as áreas a aterrar.

As escavações serão sempre que possível executadas com escavadoras hidráulicas, que carregarão os camiões para transportar os produtos escavados aos locais de depósito nas zonas a aterrar.

No entanto, praticamente toda a remoção de materiais será efectuada através de dragagem.

A execução do aterro será efectuada empurrando as areias que se vão amontoando por repulsão das dragas.

Para as últimas camadas acima da cota superior ao nível da água, o material será espalhado com tractor de lâmina, em camadas sucessivas, com espessura máxima de 40 cm, até que sejam atingidas as cotas previstas no projeto.

#### **4 – CONCLUSÕES**

Abordaram-se nesta comunicação as acções desenvolvidas para apresentar uma solução de projeto alternativa, a fim de garantir maior facilidade de execução e assegurar, simultaneamente, quer um preço de construção menor, quer uma durabilidade da obra superior à prevista, em melhores condições de segurança.

No que se refere à elaboração do projeto alternativo, a maior dificuldade resultou da deficiente informação geotécnica que obrigou a extrapolar os resultados das poucas sondagens existentes, recomendando a execução de sondagens complementares. Ao extrapolar resultados de sondagens procedeu-se de forma a ter valores do lado de segurança, pelo que as soluções de projeto são necessariamente bastante conservativas.

No que diz respeito à construção, o projecto alternativo foi pensado para permitir a execução dos trabalhos, beneficiando do facto de se conseguir realizar a esmagadora maioria dos trabalhos por via terrestre, excepção feita às dragagens e pouco mais.

As grandes dificuldades resultam do facto de ter que se executar um aterro provisório de apoio à construção, garantindo que esta deposição de areias não irá afectar a operacionalidade das estruturas portuárias situadas nas proximidades ou assorear zonas que serão alvo das dragagens para obtenção dos fundos necessários para a ampliação do Estaleiro Aliança.

Para o cais com cotas de serviço de (-10 m) ZH, optou-se por uma outra solução de projeto composto por estacas secantes, já que estas são mais fáceis de executar na zona onde é preciso atravessar as margas, e dado que a execução de parede moldada nesse local seria muito difícil e onerosa.

Havendo que executar a parede moldada em aterro recente (aterro provisório de apoio à construção) seria aconselhável uma parede com 0,80 m de espessura. No entanto, sendo o betão muito caro no Brasil, optou-se por tomar cuidados adicionais na construção do aterro e fazer a parede apenas com 0,60 m de espessura, garantindo a mesma qualidade da estrutura.

#### **5 - BIBLIOGRAFIA**

Historial dos Estaleiros Aliança e Estudo de Ampliação dos Estaleiros.

Anteprojeto da Royal Haskoning

Estudo de Impacto Ambiental

Sondagens Geotécnicas realizadas pela CAF Botelho Fundações, Ltda

Levantamentos Hidrográficos efectuados pela CHD cartografia, hidrografia e digitalização de mapas

Bulletin Liaison Lab. Pontes et Chaussées nº127 – Sept. – Oct. 1983 que explica o método penetrométrico de Michel Bustamante e Gianeselli para o calculo da parede moldada