O CONHECIMENTO DA GEOTECNIA NA CONCEÇÃO E PROJETO DE DOCAS SECAS PARA NAVIOS DE GRANDE DIMENSÃO

José Manuel Cerejeira, Engenheiro Civil
PROMAN – Centro de Estudos e Projecto, S.A.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO

2. PROFABRIL, Anos 60 e 70 do século XX
   2.1 Estaleiros Navais em Portugal
   2.2 Estaleiros Navais no Estrangeiro

3. PROMAN – A partir dos anos 80 do século XX
   3.1 Estaleiros Navais em Portugal
   3.2 Estaleiros Navais no Estrangeiro

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. INTRODUÇÃO

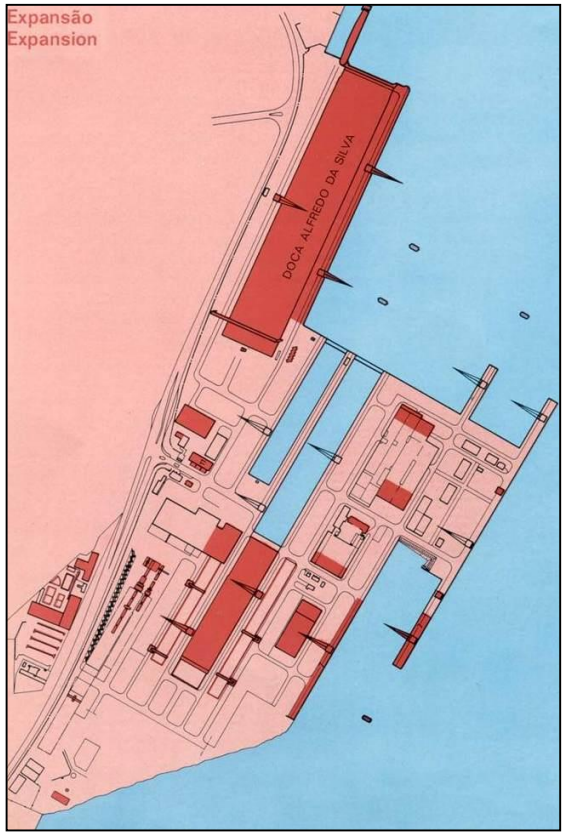
- **A engenharia portuguesa, através da PROFABRIL nas décadas de 1960 e 1970 e da PROMAN depois de 1980, esteve muito envolvida nos estudos de base, projetos e construção de alguns dos maiores estaleiros navais levados a efeito em Portugal e no estrangeiro, com especial destaque para os da Lisnave, na Margueira, da Setenave, em Setúbal, dos Astilleros Espanoles, em Cadiz, Espanha, do ASRY, Arab Shipbuilding and Repair Yard, no Bahrain, do JSRY, Jeddah Shipbuilding and Repair Yard, na Arábia Saudita e, mais recentemente, de 2005 até à data, de alguns grandes estaleiros de construção naval no Brasil, o Estaleiro Rio Grande, no Rio Grande do Sul, RS, o Estaleiro Atlântico Sul, no porto de Suape, PE, o Estaleiro e Base Naval, na baía de Sepetiba, RJ, e o Estaleiro Enseada, em Paraguaçu, BA.**
- **Num estaleiro naval, construído de raiz, as infraestruturas e obras marítimas têm uma enorme preponderância, podendo atingir 65% do custo total do empreendimento. Nele se encontram, praticamente, todos os tipos de obras marítimas e, normalmente, requerem complexas obras geotécnicas (tratamento e consolidação de solos, ensecadeiras e rebaixamentos do nível freático).**
- **O custo das docas secas pode representar cerca de 35% do valor global do investimento e, em alguns casos onde as condições locais sejam muito desfavoráveis, pode mesmo ultrapassar em muito essa percentagem.**
- **O conhecimento das condições hidrogeológicas na conceção de docas secas para navios de grande dimensão é tão importante que deverá mesmo ser devidamente considerado na fase prévia da escolha do local para o estaleiro pois, na prática, escolhido o local, fica estabelecida a ordem de grandeza do valor do investimento a realizar.**
- **Apresentam-se seguidamente as soluções estruturais adotadas nas docas secas dos vários estaleiros de construção e reparação naval em que a engenharia nacional esteve envolvida, com a indicação dos fatores que determinaram a escolha dessas soluções.**

2. PROFABRIL – Anos 60 e 70 do século XX

2.1 Estaleiros navais em Portugal

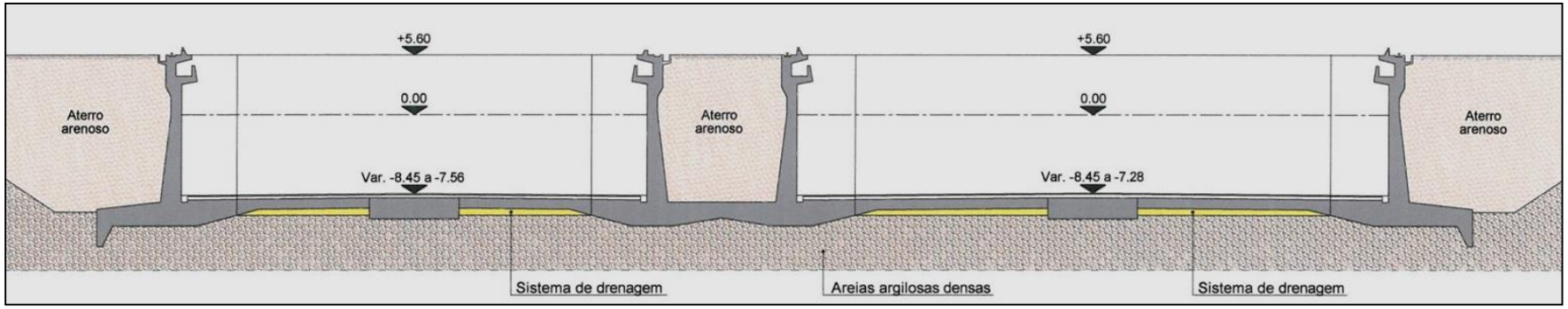
✓ **Estaleiro de reparação naval da Lisnave na Margueira, Almada**

Vista geral

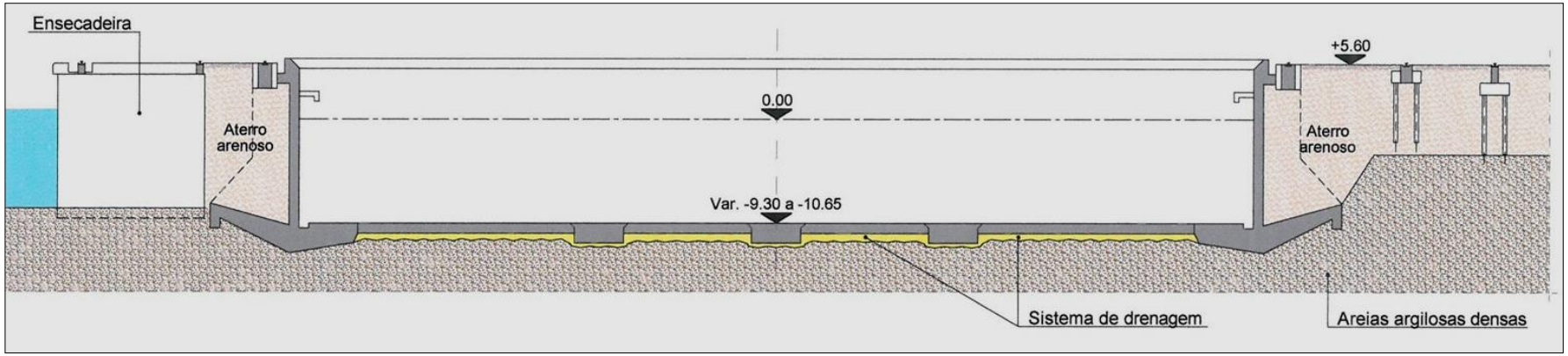


Lay-out

✓ Estaleiro de reparação naval da Lisnave na Margueira, Almada



Doca 12 (266mx42m), construída em 1964-1967 **Doca 11 (350mx54m), construída em 1964-1967**



Doca 13 (520mx97m), construída em 1969-1971

Principais características dos solos locais:

- ✓ **Areias argilosas do Mioceno, muito densas, cujo coeficiente de permeabilidade é de cerca de 10^{-7} m/s ao nível da fundação das lajes de fundo.**

✓ Estaleiro de Construção e Reparação Naval da Setenave na Mitrena, Setúbal

Vista geral do estaleiro em 1975

Vista da execução das estacas de ancoragem

Esta 1.ª fase do Estaleiro da Mitrena, em Setúbal, foi uma extensão do Estaleiro da Lisnave na Margueira, em Almada, realizada por outra companhia chamada Setenave, para a construção e reparação de navios VLCC de até 600.000 tdw

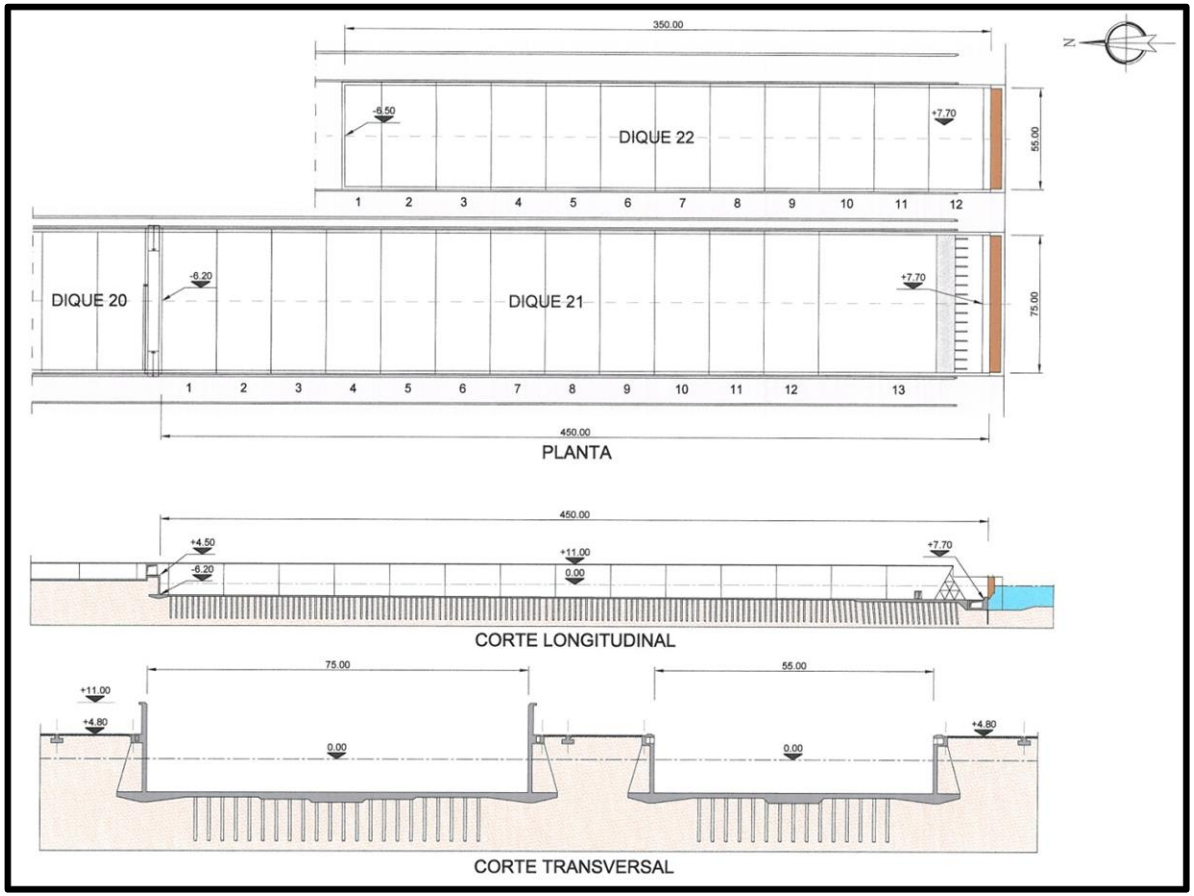
Alguns dados do empreendimento:

- ✓ **Custo global: US$ 100.000.000**
- ✓ **Custo das docas secas: US$ 35.000.000 (35%)**
- ✓ **Prazo de execução: 31 meses**

Estacas de ancoragem:

- ✓ **6305 estacas ϕ520 mm para tracção 85 t_f e compressão 130 t_f**
- ✓ **comprimento variável 11 a 13 m, total de 70.000 m**

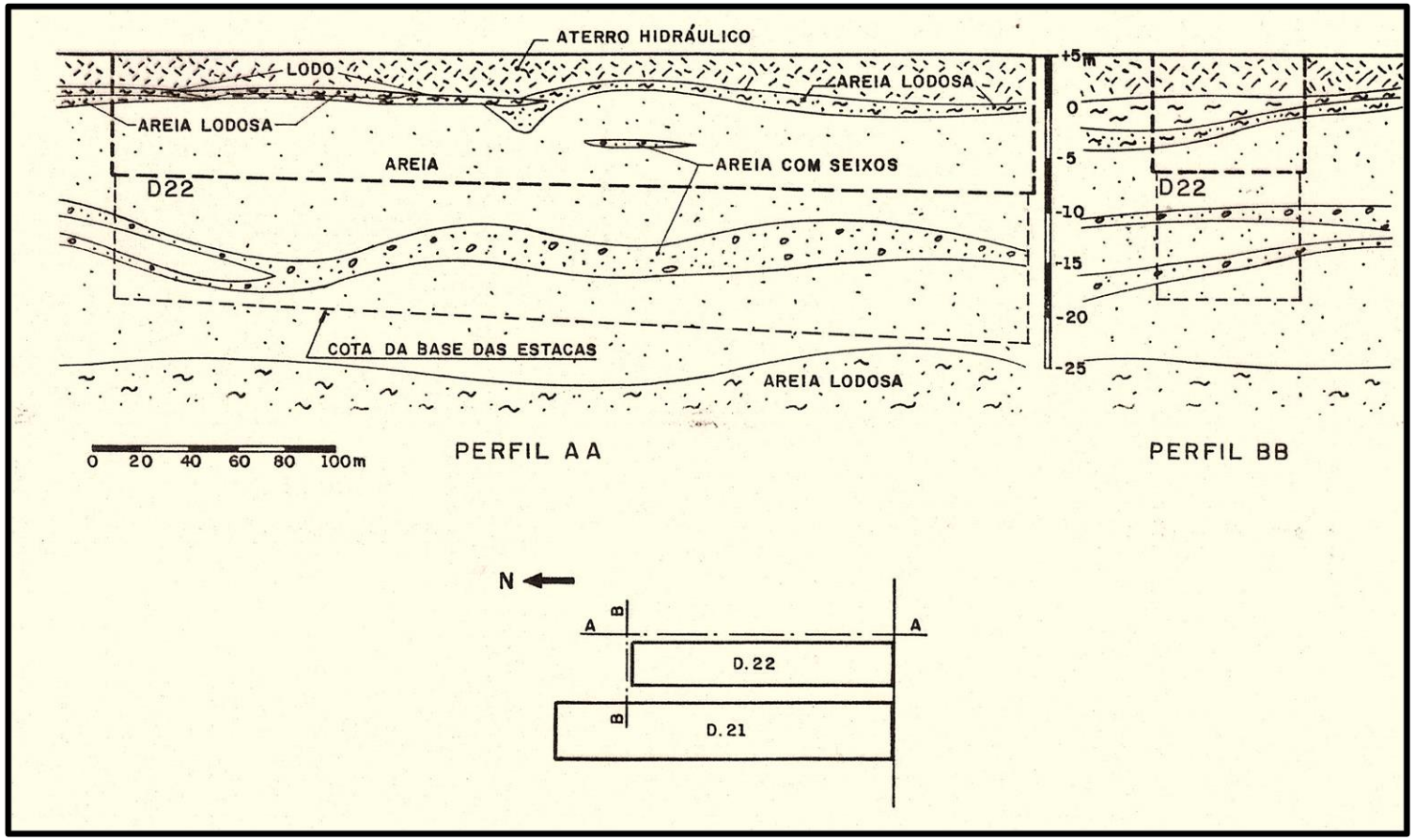
✓ Estaleiro de Construção e Reparação Naval da Setenave na Mitrena, Setúbal



Principais características dos solos locais:

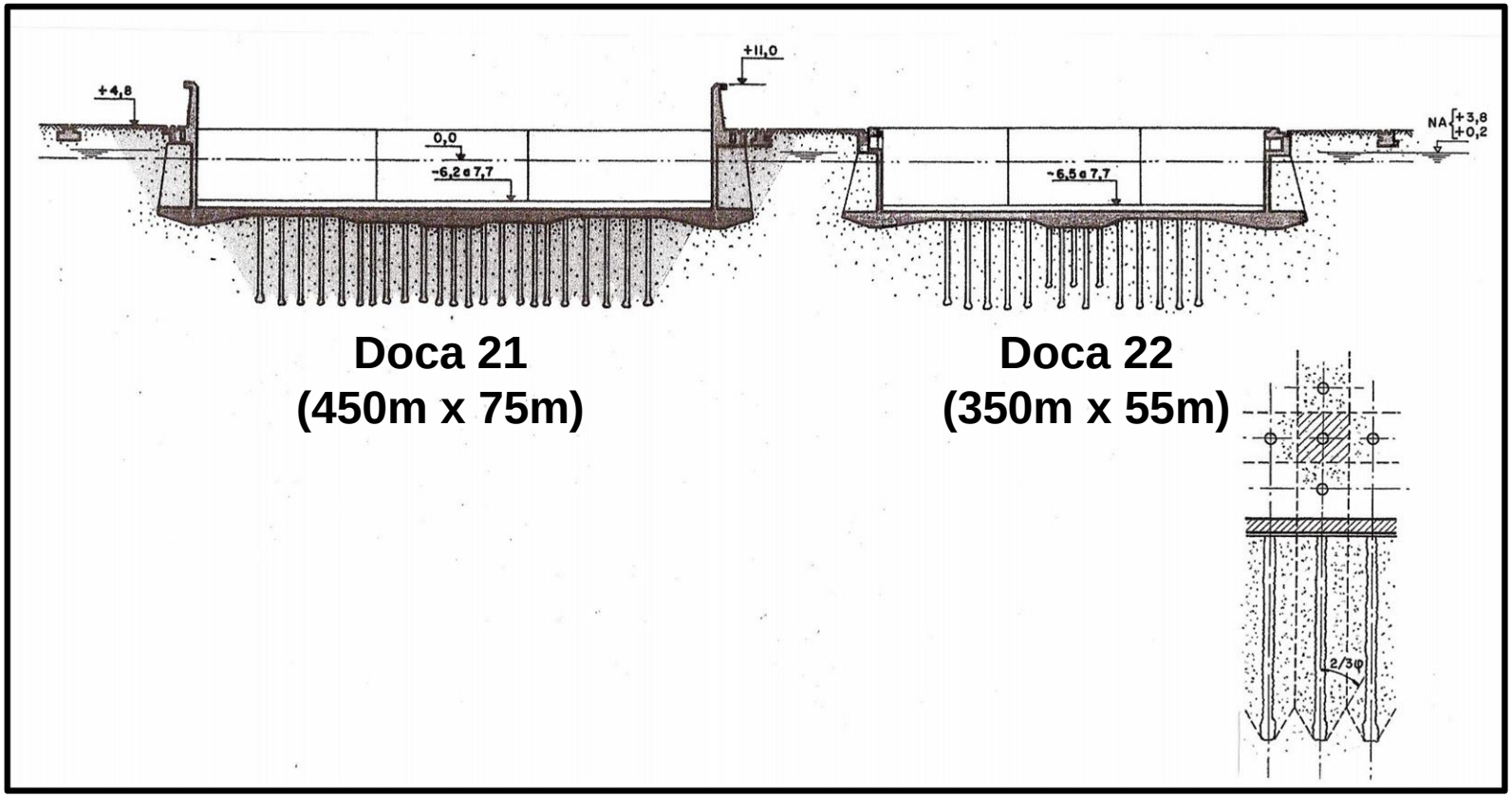
- ✓ **Formação aluvionar, com mais do que 40 m de espessura, de areias limpas de grão médio a grosso, cujo coeficiente de permeabilidade médio varia entre 2 a $3x10^{-3}$ m/s**

✓ Estaleiro de Construção e Reparação Naval da Setenave na Mitrena, Setúbal



Perfis geológicos

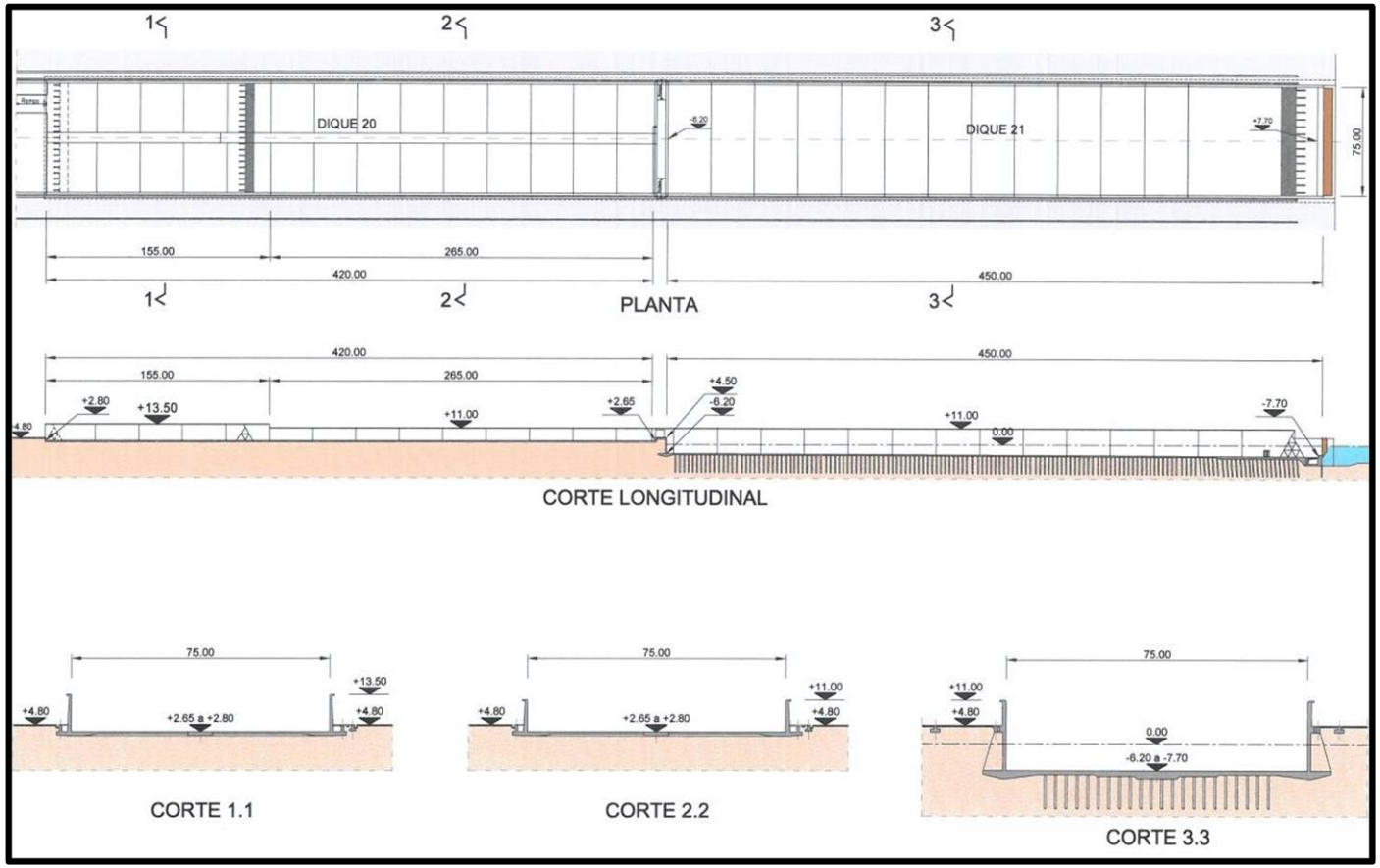
✓ Estaleiro de Construção e Reparação Naval da Setenave na Mitrena, Setúbal



Estacas de ancoragem das Docas 21 e 22

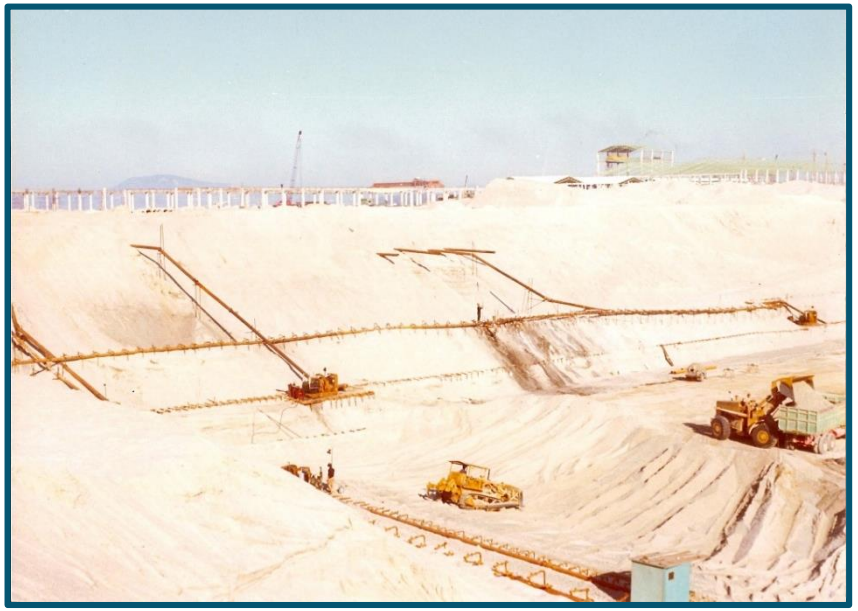
✓ Estaleiro de Construção e Reparação Naval da Setenave na Mitrena, Setúbal

- **Foi esta a solução inovadora adoptada na primeira fase (1972-1975) do Estaleiro da Mitrena, formada pelo conjunto Doca 20/Doca 21**
- **A partir do ano 2001 a doca 20 passou a ser utilizada como doca de reparação.**



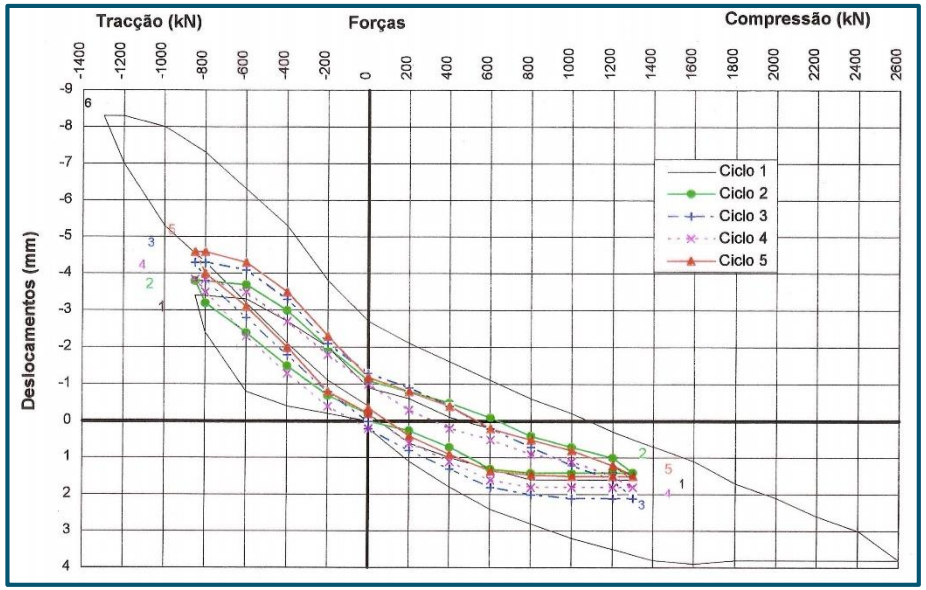
✓ Estaleiro de Construção e Reparação Naval da Setenave na Mitrena, Setúbal

Empreitada de dragagens e aterros

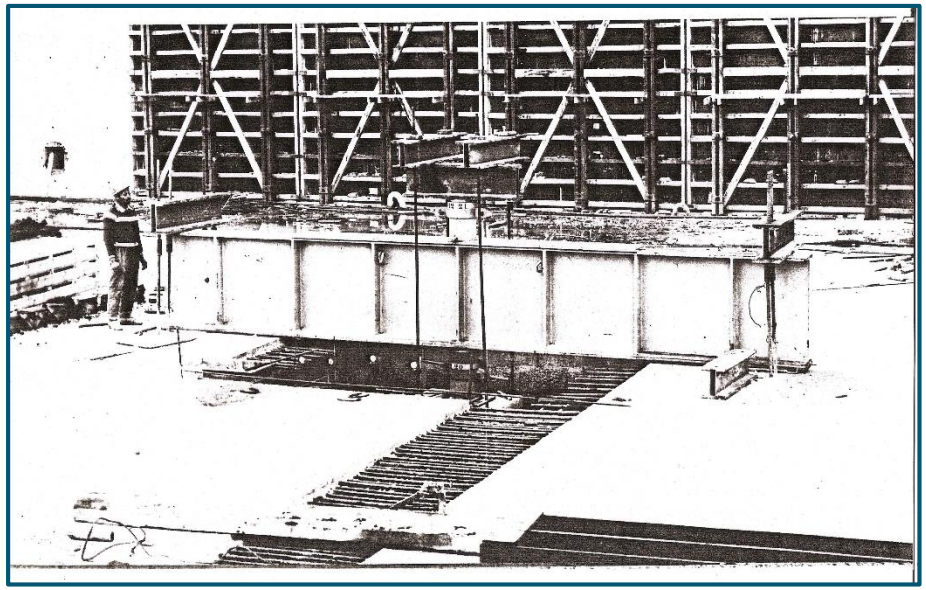


Empreitada do rebaixamento do nível freático

✓ Estaleiro de Construção e Reparação Naval da Setenave na Mitrena, Setúbal



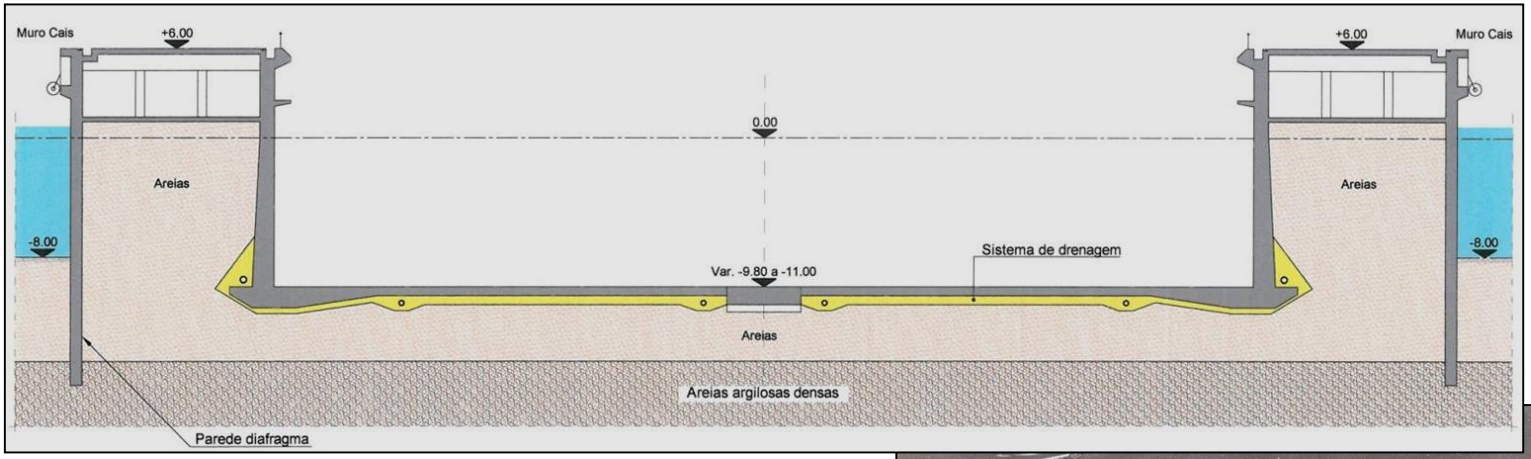
Resultados do ensaio de carga da estaca nº 208 (Doca 21)



Vista da instalação dos ensaios de cargas das estacas

2.2 Estaleiros navais no Estrangeiro

- ✓ **Estaleiro de Reparação Naval dos Astilleros Españoles – Cadiz, Espanha**



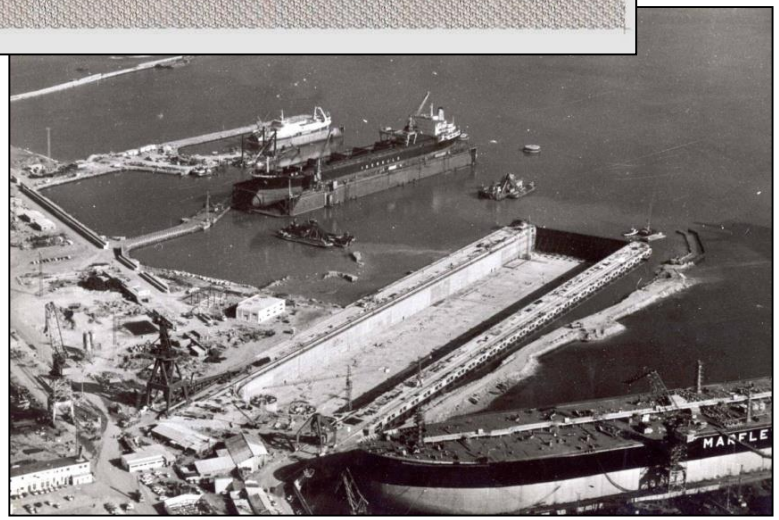
Doca (380mx67m), construída em 1971-1974

Alguns dados do empreendimento:

- ✓ **Custo global: £ 12.500.000**
- ✓ **Prazo de construção: 24 meses**

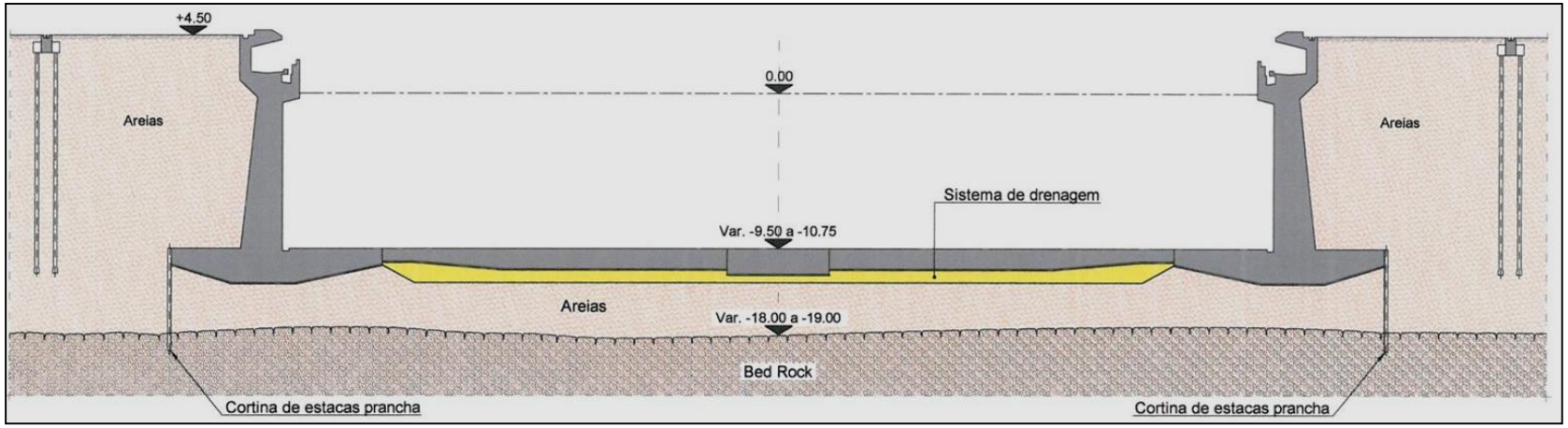
Principais características dos solos locais:

- ✓ **Areias argilosas do Plioceno, densas, cujo coeficiente de permeabilidade é de cerca de 10^{-5} m/s, a pequena profundidade abaixo do nível de fundação da laje.**



Vista geral

✓ Estaleiro de Reparação Naval do A.S.R.Y. - Bahrain



Doca (375mx75m), construída em 1974-1977

Alguns dados do empreendimento:

- ✓ **Custo global: US$ 275.500.000**
- ✓ **Custo da doca seca: US$ 95.000.000 (35%)**
- ✓ **Prazo de execução: 24 meses**

Principais características dos solos locais:

- ✓ **Formação calcária com coeficiente de permeabilidade de cerca de $4x10^{-6}$ m/s , a pequena profundidade abaixo do nível de fundação da laje.**

Vista Geral

3. PROMAN – A partir dos anos 80 do século XX

3.1 Estaleiros navais em Portugal

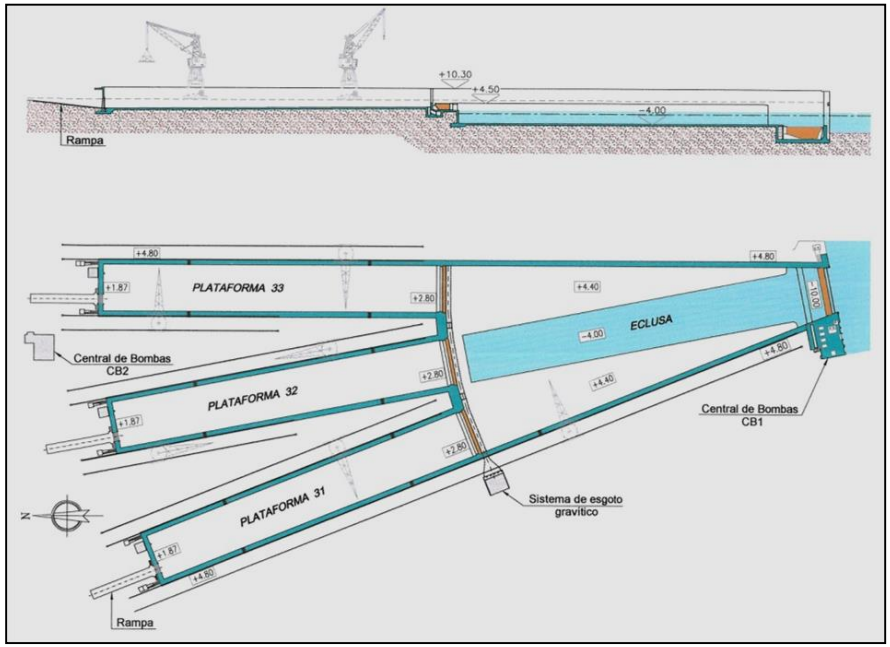
✓ Expansão do Estaleiro da Lisnave na Mitrena (1998-2000), Setúbal

O sistema inovador baseado na "Solução Plataforma" designado por Hydrolift foi adoptado pelas seguintes razões:

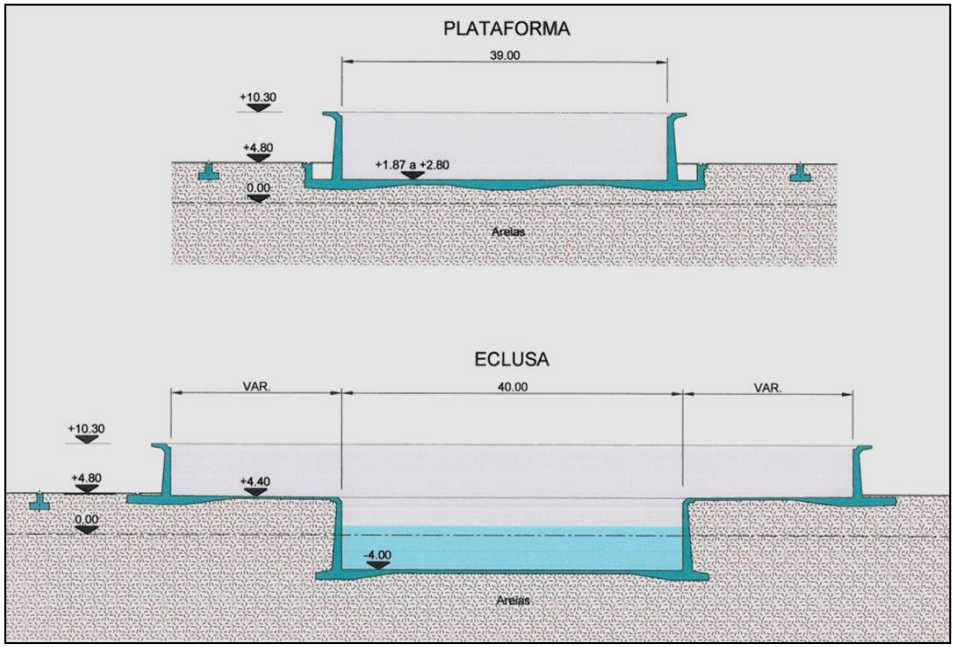
- ✓ **Custo (€50.000.000) e prazo da construção (24 meses) do conjunto das 3 plataformas e da eclusa frontal equivalentes aos de 2 docas convencionais;**
- ✓ **Capacidade de docagem 50% superior;**
- ✓ **Maior produtividade dos trabalhos de reparação naval ao nível do terrapleno com o acesso por roda às plataformas;**
- ✓ **Melhor protecção ambiental por facilitar a segregação e o tratamento das águas e dos detritos sólidos;**
- ✓ **Condições geotécnicas locais muito favoráveis para a construção da "solução plataforma".**

Vista geral do *Hydrolift*

✓ Expansão do Estaleiro da Lisnave na Mitrena (1998-2000), Setúbal



Planta geral



Cortes-tipo

Condições locais:

- ✓ **A formação aluvionar arenosa tem permeabilidade muito elevada de modo que interessava evitar soluções de docas de "fundo ancorado", devido ao elevado custo das ancoragens;**
- ✓ **As lajes das plataformas são colocadas a uma cota tal que evite a subpressão hidrostática e que minimize a cota do topo das paredes elevadas;**
- ✓ **A eclusa frontal nunca fica vazia de modo que não necessita de ancoragem;**
- ✓ **Os solos arenosos, após adensamento por vibroflutuação, são muito adequados para fundar directamente todas as estruturas.**

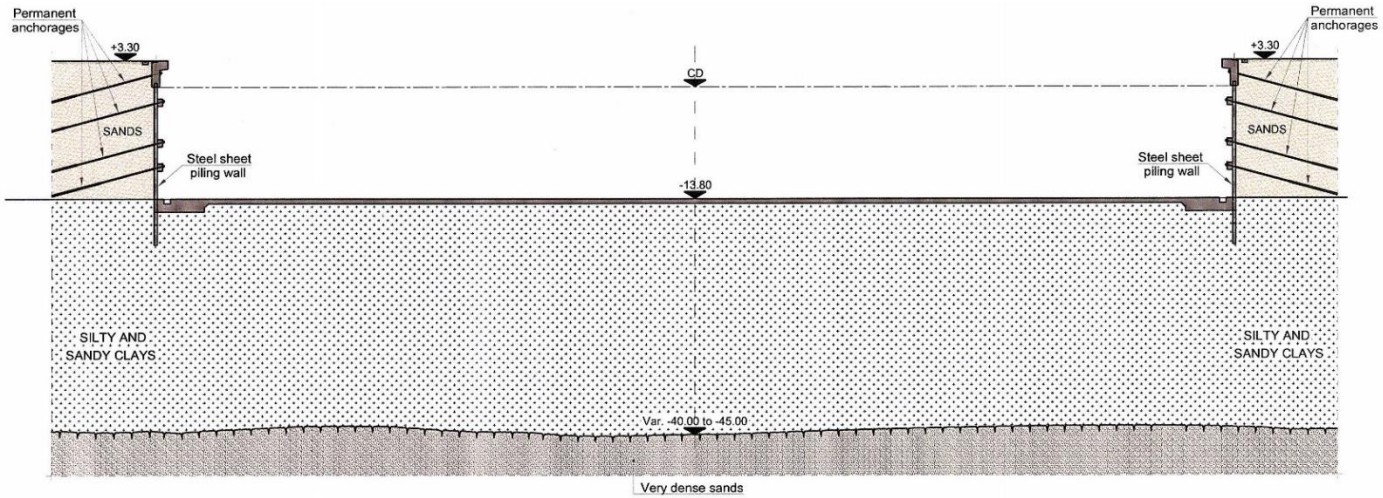
3.2 Estaleiros navais no Estrangeiro

✓ **Estaleiro de Rio Grande, Rio Grande do Sul, RS, Brasil**

Vista geral em 2010

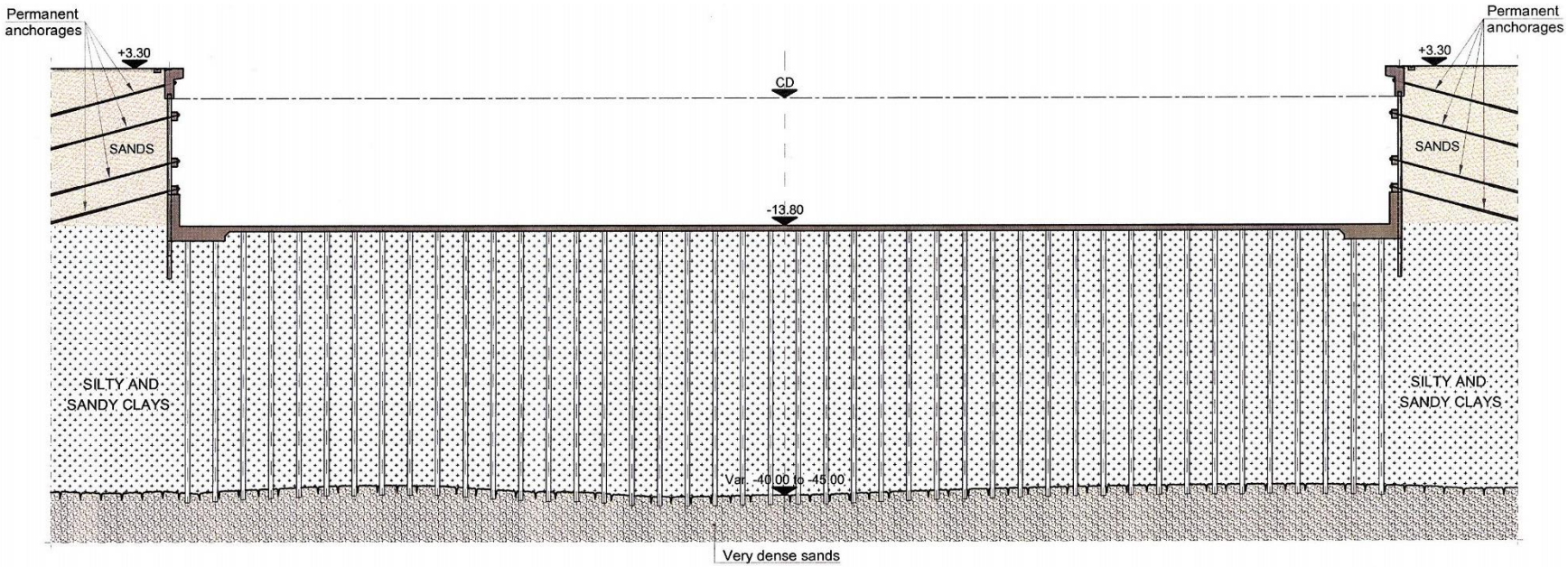
Principais características do solo no local:

- **Argilas silto-arenosas ao nível da base da laje de fundo**
- **Areias muito densas a -40 a -45 m ao nível da base das estacas**



Corte tipo da doca considerado no projeto original

✓ Estaleiro do Rio Grande, Rio Grande do Sul, RS, Brasil

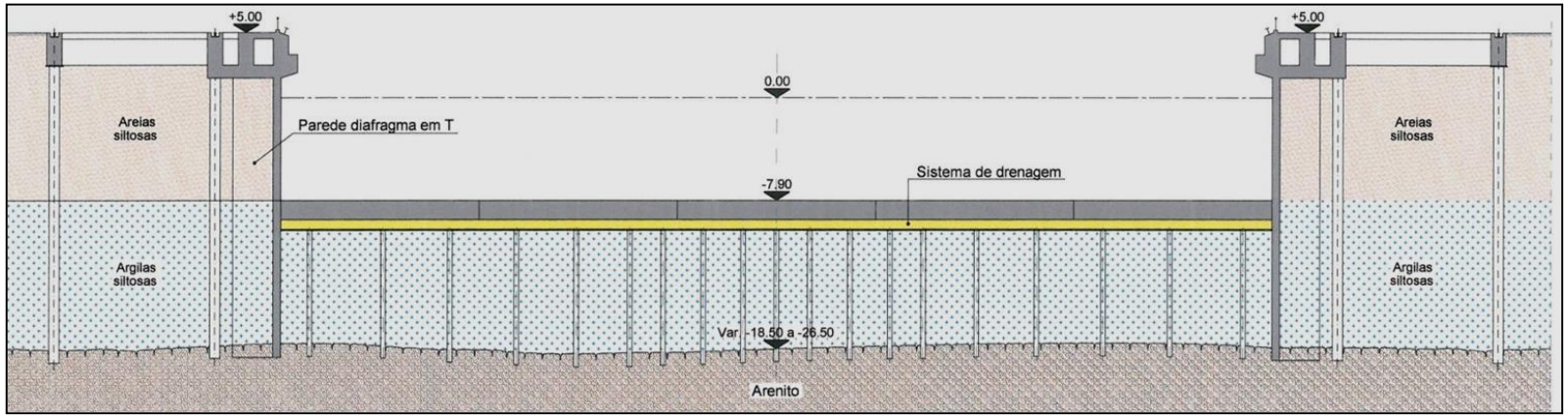


Doca 350m x 133m construída em 2006-2010

- **Durante a construção, a revisão do projeto determinou que a laje e as paredes fossem fundadas entre estacas**
- **Foram necessárias 5000 estacas metálicas (200.000m de comprimento)**
- **O prazo de construção foi de 4 anos, após grande atraso**
- **Custo global: R$ 840.000.000**
- **Custo da doca: R$ 500.000.000 (≅ 60%)**

O CONHECIMENTO DA GEOTECNIA NA CONCEÇÃO E PROJETO DE DOCAS SECAS PARA NAVIOS DE GRANDE DIMENSÃO

✓ Estaleiro Atlântico Sul, Porto de Suape, PE, Brasil



Doca (401m x72m), construída em 2007-2010

Alguns dados do empreendimento:

- ✓ **Custo global: R$ 1.465.000.000**
- ✓ **Custo da doca seca: R$ 520.000.000 (35%)**
- ✓ **Prazo de construção: 32 meses**

Principais características dos solos locais:

- ✓ **Argilas siltosas ao nível da base da laje**
- ✓ **Arenitos, com a superfície a ≅ -24 m, cujo coeficiente de permeabilidade é de cerca de 10^{-6} m/s, ao nível da base das estacas.**

Vista Geral

✓ Estaleiro e Base Naval, Projeto PROSUB, Baía de Sepetiba, RJ, Brasil

Plano Geral do Empreendimento

A PROMAN em 2012 fez o projeto de engenharia básica das duas docas secas, tipo "docas de gravidade", do Estaleiro de Manutenção dos submarinos de propulsão nuclear.

A realização desta parte do Plano Geral do Empreendimento, tal como a Base Naval, foi adiada.

Vista aérea das obras construídas

✓ Estaleiro Enseada do Paraguaçu, BA, Brasil

A doca deste estaleiro, com a dimensão em planta de 260m x 85m, teria, de acordo com o projeto da PROMAN, laje de fundo drenado apoiada diretamente no terreno.

Vista aérea do estado em que se encontra

As obras, iniciadas em 2012, foram suspensas no início de 2015.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- É de assinalar que os custos dos trabalhos de investigação do local foram de 0,10% e de 0,13% dos valores globais dos investimentos dos estaleiros da Setenave e do Bahrain, respetivamente, o que não tem significado quando comparado com as vantagens técnicas e económicas que advêm de uma conceção bem ajustada às condições locais. Uma boa caracterização das formações geológicas que envolvem uma doca seca, nomeadamente a respeito da situação, natureza, capacidade de carga e permeabilidade dessas formações, é requisito fundamental para o estudo da sua conceção. Se apresentam permeabilidade suficientemente baixa ($K<10^{-5}$m/s), pode ser adotada uma solução de "fundo drenado", na qual se efetua a dissipação da subpressão hidrostática por meio de adequado sistema de drenagem.
- A solução do tipo doca de "fundo drenado", apoiada diretamente no terreno, é consideravelmente mais económica quando comparada com as outras soluções, de "gravidade" ou de "fundo ancorado", nas quais a reação à subpressão hidrostática é garantida, respetivamente, pelo peso próprio das estruturas ou por ancoragens nos solos.
- A solução de "gravidade" só é aplicável em docas para navios de pequena dimensão. O aumento da dimensão transversal faz desvanecer a contribuição do peso próprio das paredes e do terreno adstrito para contrariar a subpressão, de modo que é inevitável ter que ancorar, pelo menos em parte, a laje de fundo da doca.
- A redução do custo da construção de uma doca seca de grande dimensão e de "fundo drenado" apoiada diretamente no terreno é muito significativa. Pode ser de 20 a 30% mais económica do que a de uma doca de "fundo ancorado".

OBRIGADO PELA VOSSA ATENÇÃO