

# **EQUIPAMENTO DE CONVERSÃO DO MOVIMENTO DAS MARÉS EM AR SOBRE PRESSÃO**

## **APLICAÇÃO AO ÓRGÃO DE MARÉ DO ESTALEIRO DO OURO, PORTO**

Silveira Ramos e Lucília Luís (CONSULMAR, Projectistas e Consultores, Lda.)

### **RESUMO**

Nesta comunicação descreve-se o equipamento de conversão do movimento das marés em ar sobre pressão concebido para ser aplicado ao órgão de maré do Estaleiro do Ouro, a localizar na margem direita do troço terminal do estuário do rio Douro.

Trata-se de um trabalho inédito, por conciliar o aproveitamento da energia das marés para “consumo” de um instrumento musical do tipo aerofone, em alternativa aos convencionais geradores de “vento” e se inserir num ambiente particular, onde coexistem diferentes agentes naturais, dos quais se destacam as correntes de maré e fluviais, agitação marítima, ventos, etc..

Este estudo apresenta também a particularidade de envolver, não só conhecimentos no âmbito da hidráulica marítima e fluvial e engenharia costeira, como de outras áreas da física, nomeadamente de pneumática.

Descrevem-se igualmente os ensaios preliminares em modelo físico reduzido, efetuados para facilitar a compreensão dos fenómenos físicos envolvidos e a confirmação da abordagem teórica de base.

Embora o principal enfoque seja dado ao sistema de conversão do movimento das marés em ar sobre pressão, nesta comunicação descreve-se o arranjo urbano onde se insere, bem como, as soluções estruturais encontradas para o materializar.

### **1 – ANTECEDENTES E OBJETIVOS**

Na sequência do concurso de ideias lançado pela APDL (Administração do Porto do Douro e Leixões), foi apresentada pela equipa de arquitetura e urbanismo vencedora (Tiago Vidal/Isabel Carvalho, Arquitectos) a ideia de integrar no terraplano do arranjo urbano, proposto para a marginal do Estaleiro do Ouro, um instrumento aerofone (tipo órgão), aproveitando os movimentos da água nessa zona do estuário para a criação de ar sob pressão.

Existe uma diferença essencial entre o aproveitamento do movimento das ondas de vento e das ondas de maré, consequência da grande diferença dos períodos de onda (segundos num caso e horas no outro) e de num caso ser um fenómeno apenas previsível estatisticamente no tempo e, noutro caso, ser um fenómeno onde se conhece antecipadamente a sua descrição temporal.

No caso das ondas de vento o “consumo” de ar sob pressão é simultâneo com a sua “produção”. É o caso do instrumento de produção de sons aleatórios em Zadar e noutros locais, dos gaizares de ar/água do novo Molhe Norte do Douro, nos “respiradouros” naturais observáveis em várias formações calcárias costeiras ou da central de produção de energia das ondas no Pico.

No caso do aproveitamento do movimento das marés, a sua utilização tem características antecipadamente previsíveis mas a “produção” de ar sob pressão será muito lenta quando comparada com a seu eventual “consumo”, o que conduzirá à necessidade da acumulação desse ar para utilização posterior.

Essa equipa de arquitetura e urbanismo contou também na fase de concurso com o apoio do músico Paulo Vaz de Carvalho na definição de objetivos e conceitos musicais e do organeiro Dinarte Machado durante todo o desenvolvimento dos estudos, tendo este último sido um auxílio precioso para a equipa de arquitetura e de engenharia na determinação das necessidades (nomeadamente de pressão e volume de ar), na caracterização dos circuitos, dos equipamentos e dos circuitos dos instrumentos musicais a servir.

## 2 – PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO DE CONVERSÃO

O processo de criação e de transformação de ar sob pressão, a partir da maré, para alimentação de um instrumento musical daquele tipo, passa progressivamente pelas seguintes fases:

- a) - Criação de ar sob pressão a partir das variações do nível de água das marés;
- b) - Acumulação do ar sob pressão em reservatórios, para utilização posterior;
- c) - Captação e extração do ar sob pressão acumulado nos reservatórios;
- d) - Transporte do ar sob pressão e sua entrega nos sistemas de tratamento e de controlo de qualidade;
- e) - Correção das características de qualidade do ar, nomeadamente humidade, temperatura e salinização;
- f) - Controlo das pressões de ar a ser diretamente usado no instrumento de sopro.

Abordam-se aqui essencialmente os problemas referentes aos três primeiros aspetos (sistemas de criação, de acumulação e de captação do ar) ou seja o sistema primário para fornecimento de ar sob pressão.

Os outros três aspetos (sistemas de transporte e de controlo de qualidade e pressão do ar), que constituem o sistema secundário de fornecimento de “vento” ao equipamento musical, são aqui apenas aforados para melhor compreensão do sistema integrado.

### a - Sistemas de criação, de acumulação e de captação de ar sob pressão

Se mergulharmos na água uma garrafa vazia de gargalo para baixo, o ar nela contido entra em pressão. Essa pressão aumenta se a garrafa for mais mergulhada. Se a garrafa estiver fixa e o nível de água subir verifica-se exatamente o mesmo fenómeno. A pressão instalada no interior do reservatório só depende do desnível de água entre o exterior e o interior.

Se criarmos na margem de um estuário ou numa zona costeira, um reservatório de volume confinado e abertura inferior “afogada”, sujeito à ação da subida da maré, iremos dispor de um determinado volume de ar sob pressão quando a maré estiver cheia.

Se o reservatório estiver fixo (sistema de geometria constante) a pressão interior irá aumentar até aproximadamente o valor da altura da maré.

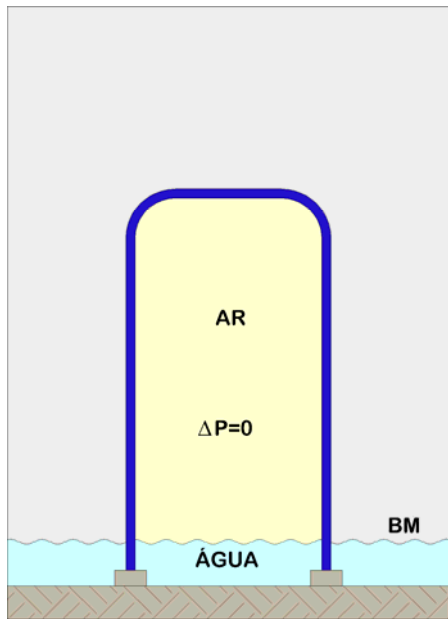
Se o reservatório estiver solto (sistema de geometria variável) e tiver um determinado peso, a impulsão e pressão interior irá aumentar até se estabelecer o equilíbrio peso/impulsão e, a partir desse momento, o reservatório entra em flutuação, acompanhando a subida da maré, e mantendo a pressão interior constante (Fig. 1).

No caso do “sistema de geometria constante” descrito anteriormente, é fácil criar uma saída de ar na zona superior do reservatório fixo. Deve no entanto ter-se em consideração que as pressões internas atingem neste caso valores muito elevados (até 4000 mm da coluna de água) e, portanto, as forças totais de fixação de um reservatório de dimensões apreciáveis podem ser também muito grandes.

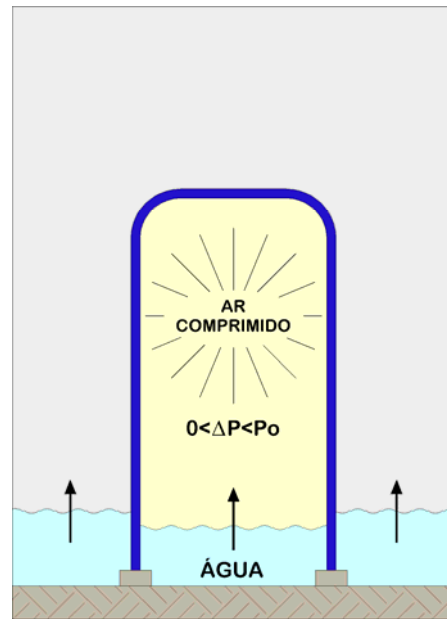
No caso do “sistema de geometria variável”, as pressões são controláveis através do peso considerado para a estrutura do reservatório e não existem forças de fixação desses reservatórios. É necessário no entanto ter em atenção o sistema de controlo do seu posicionamento e deslizamento na fase de flutuação e a conveniência do sistema de captação do ar não dever ter ligação física ao reservatório, de modo a evitar sistemas móveis articulados.

Esse objetivo é atingido extraindo o ar comprimido através dum tubo em “U” que liga a zona interior/superior do reservatório cilíndrico à zona exterior do sistema de conversão e acumulação de ar (Fig. 2).

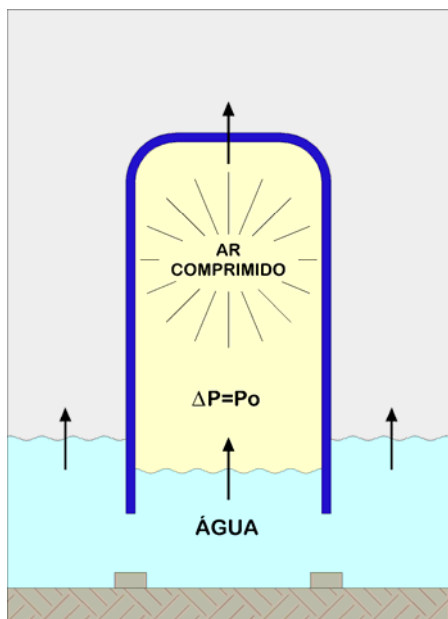
É este conjunto “reservatório deslizante e tubo “U” ladrão”, representado nas Figs. 1 e 2, que constitui verdadeiramente um sistema inovador para criação, acumulação e captação de ar sob pressão controlada.



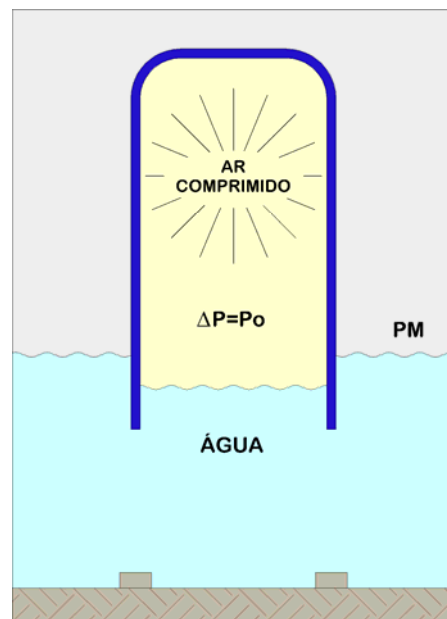
Fase A - Reservatório pousado.  
Maré em baixa-mar.  
Ar ainda não comprimido.



Fase B - Reservatório pousado.  
Maré a subir. Peso > Impulsão.  
Pressão crescente.



Fase C - Reservatório a subir.  
Maré a subir. Peso = Impulsão.  
Pressão constante.



Fase D - Reservatório imóvel.  
Maré em preia-mar. Peso = Impulsão.  
Pressão constante.  
Volume de ar máximo disponível.

Fig. 1 – Esquema de produção de ar comprimido a partir da maré

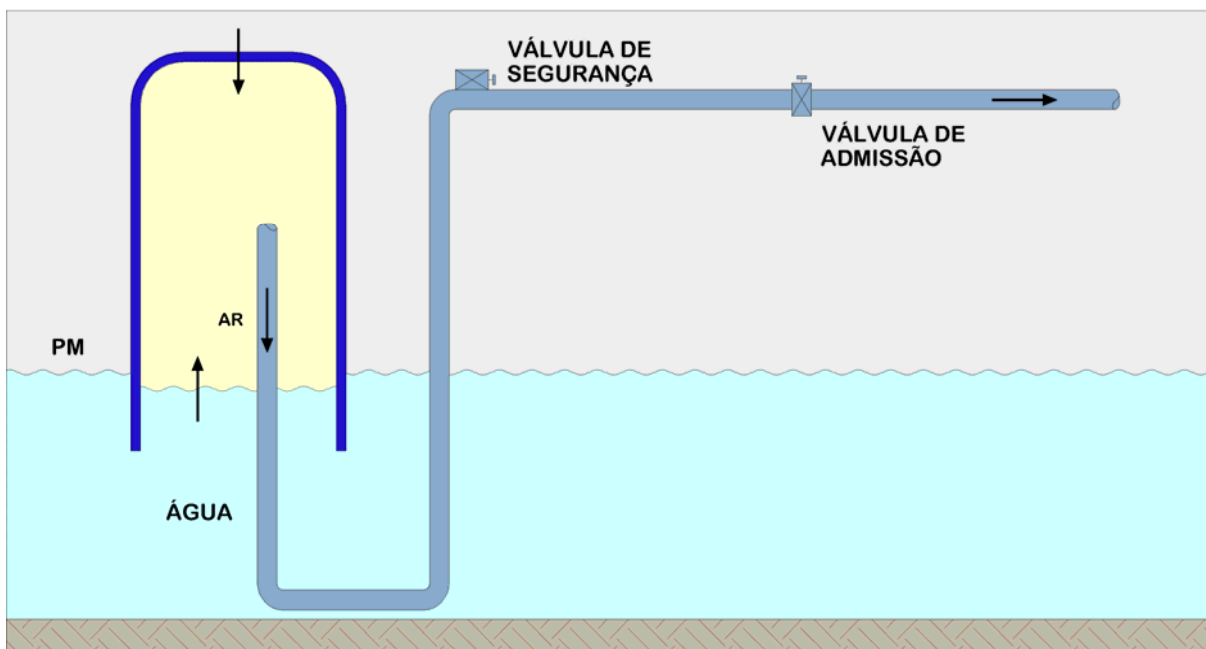


Fig. 2 – Esquema de captação do ar comprimido acumulado no reservatório

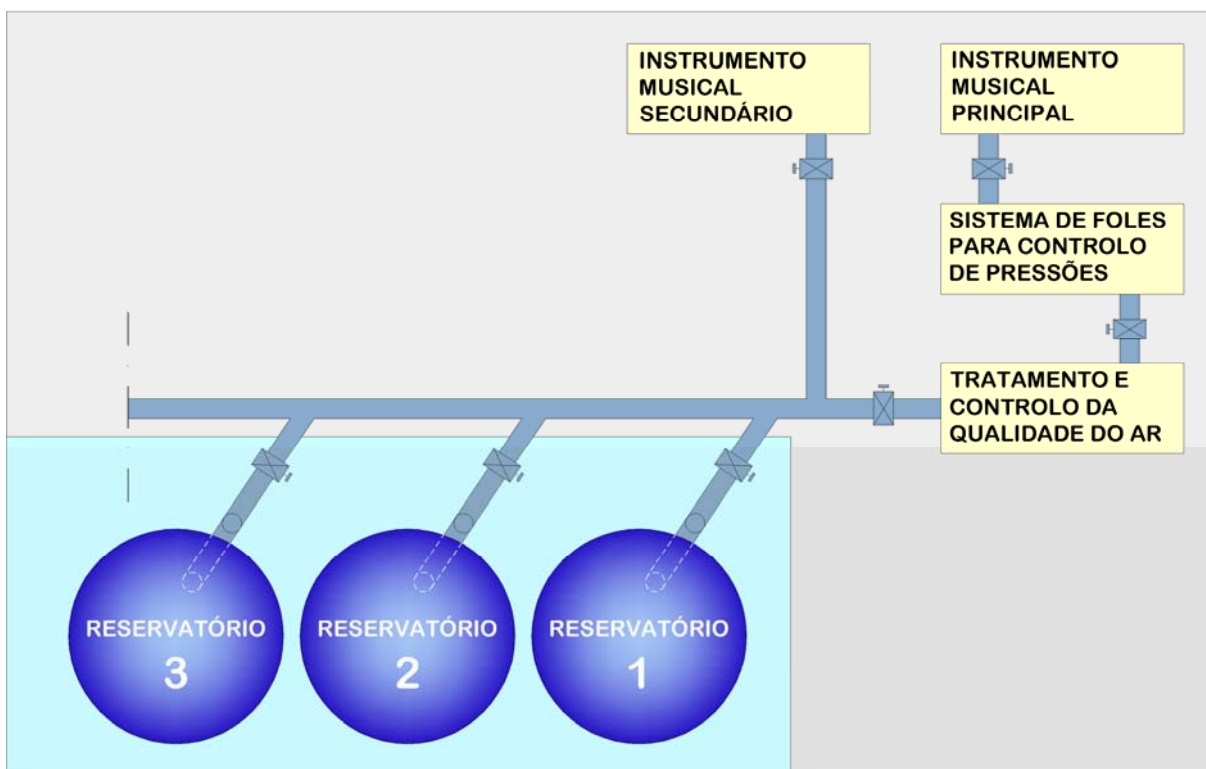


Fig. 3 – Esquema do circuito de ar comprimido no sistema de transporte, tratamento e controlo de pressões de “vento” a fornecer ao instrumento musical

Note-se que, em qualquer dos casos, todo este sistema primário de transformação do movimento da água em ar comprimido, tem de ser completamente hermético, pois terá que se manter sob pressão durante meia maré (cerca de 6 horas), para ser depois utilizado num período de tempo muito mais curto (desejavelmente entre 30 e 45 minutos).

## **b - Sistemas de transporte, de tratamento e de controlo da pressão do ar**

A condução do ar sob pressão, extraído de um ou de vários reservatórios em paralelo, é efetuado num sistema simples de tubagens e válvulas de controlo e segmentação, com configurações e secções apropriadas, para não introduzirem perdas de carga significativas, e também totalmente hermético.

Esse ar vai sofrer primeiro um tratamento que lhe garanta valores de temperatura, humidade e salinização compatíveis com o equipamento musical a que se destina.

Na sua fase final o ar assim tratado vai sofrer uma transformação de controlo das pressões, através de um conjunto de Foles, e de circuitos de estabilização das velocidades do “vento”, determinantes para a qualidade de desempenho do instrumento musical.

Este circuito constitui, como se disse anteriormente, o sistema secundário de transporte, tratamento e controlo das pressões do “vento” a fornecer diretamente ao instrumento musical (Fig. 3).

Estes aspetos não são aqui desenvolvidos.

## **3 – APLICAÇÃO AO ESTALEIRO DO OURO**

### **3.1 – Objetivos musicais pretendidos**

O objetivo proposto pelo arranjo urbano da zona do Estaleiro do Ouro, é criar uma área de lazer onde se integram e sobressaem dois tipos de instrumentos musicais (aerofones), cujo “vento” vai ser criado a partir da conversão das alterações de nível da maré oceânica em ar comprimido.

Em primeiro lugar e de modo determinante na concepção do espaço, pretende-se criar um aerofone de qualidade, tipo Órgão, a instalar em local abrigado, de acústica adequada e com espaço controlado para auditório (coberto e/ou ao ar livre). São as necessidades deste instrumento que condicionam ou determinam as características do equipamento de conversão.

Em segundo lugar, pretende-se dispor de um instrumento lúdico, para criação de sons mais ou menos aleatórios, a ser experimentado e utilizado por “amadores”, nomeadamente por jovens. Este instrumento utilizará as potencialidades criadas pelas necessidades do instrumento principal, sendo menos exigente do que este quer nas necessidades da qualidade do ar quer nas exigências de controlo da pressão. Em princípio para este equipamento lúdico o ar comprimido pode ser extraído diretamente dos reservatórios de acumulação de ar.

### **3.2 – Características do ar sob pressão no sistema primário**

As características do ar a fornecer à saída do sistema primário de conversão do movimento da água em ar comprimido, são essencialmente de dois tipos: a) pressões de serviço e, b) volumes disponíveis.

A pressão mínima necessária para o funcionamento de um instrumento de sopro, tipo Órgão, que atinja os objetivos pretendidos, nomeadamente de nível sonoro ao ar livre, é essencialmente condicionada pelas características do “vento” que se pretende utilizar à entrada do instrumento musical, ou seja depois do ar atravessar o sistema secundário de tratamento do ar e de controlo de pressões.

Neste caso concreto pretendem-se utilizar pressões de ar à entrada do instrumento musical entre 90 e 300 mm-ca (milímetros de coluna de água). Fixou-se, em diálogo com Dinarte Machado, organeiro da equipa de projeto, que a pressão a fornecer pelo sistema primário não deveria ser inferior a 700 mm-ca.

O volume de ar comprimido desejável acumular nos reservatórios, é de muito mais difícil determinação. Ele depende muito de vários factores: a) objetivos musicais; b) características e duração dos concertos; c) características do instrumento musical; d) características das marés e níveis de água em condições de cheia; e) pressões no sistema primário de conversão; f) configuração do sistema secundário; etc.

Do diálogo interno efectuado, das limitações físicas da área de intervenção, do arranjo urbanístico proposto e dos ensaios preliminares em modelo reduzido executados, concluiu-se que este será o parâmetro crítico e limitativo no desempenho do novo equipamento, nomeadamente da duração dos concertos.

Uma avaliação preliminar levou a fixar em cerca de 200 m<sup>3</sup> o volume de ar comprimido a fornecer ao sistema secundário em maré de águas vivas, nas condições de pressão indicadas e em condições de ser aí manipulado e utilizado no instrumento musical.

### 3.3 – Marés, condições de cheia e correntes no local

As condições hidráulicas de referência consideradas nesta fase de estudo para esta zona do estuário do Douro, nos parâmetros que aqui interessam, podem ser caracterizadas do seguinte modo:

- Nível mínimo da água com caudal mínimo (BMAV) ..... +0,20 m (ZH)
- Nível médio da água com caudal mínimo (NM) ..... +2,00 m (ZH)
- Nível máximo da água com cheia média de anual (PMAV) ..... +3,90 m (ZH)
- Nível máximo da água com cheia de 20 anos ..... +5,90 m (ZH)
- Nível máximo da água com cheia extraordinária ..... +6,80 m (ZH)

Além destes níveis de referência será considerada a existência simultânea de ondas de vento, geradas localmente, com cerca de meio metro de altura e de curto período (inferior a 2 segundos).

Assim considerou-se como desejável não implantar abaixo da cota +6,00 m (ZH) quaisquer válvulas, tubagens ou equipamentos mecânicos, nem considerar para usos de lazer permanente cotas abaixo dos cerca de +5,00 m (ZH).

Para efeito de projeto, cálculos de estabilidade das estruturas, infra-escavações nas fundações e alterações nas condições de escoamento, serão ainda tidas em conta as condições de corrente de enchente e vazante, com e sem cheia.

## 4 – CARACTERIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE CONVERSÃO E ACUMULAÇÃO DE AR

A aplicação dos conceitos descritos anteriormente ao caso do Estaleiro do Ouro, levando em conta os objetivos musicais referidos, o arranjo urbano proposto, as características do instrumento pretendido e as condições hidráulicas existentes no local, conduziram a um equipamento com as seguintes opções e características (Fig. 4):

- a) - Opção por um sistema de acumulação de ar de “geometria variável”, conforme definição referida no ponto 2a). Deste modo evitam-se os problemas provocados pela presença de pressões muito altas e desnecessárias (até perto de 4 000 mm-ca quando são apenas necessários cerca de 700), rapidamente variáveis na fase de consumo, e maximizam-se os volumes de ar disponíveis (parâmetro crítico);
- b) - O sistema de acumulação de ar é constituído por um conjunto de reservatórios cilíndricos colocados na vertical, com o seu fundo aberto e localizados no interior do terrapleno destacado. Para esse efeito é criado no interior desse terrapleno, uma zona fechada pela estrutura marítima de contenção periférica (uma espécie de grande caverna), onde esses reservatórios estão pousados e podem entrar em flutuação, controlada por um sistema de guiamento vertical;
- c) - Os reservatórios cilíndricos terão cerca de 3 m de diâmetro, cerca de 7 m de altura, e, quando pousados, o seu fundo situar-se-á cerca do zero hidrográfico, mantendo-se portanto sempre afogado. O volume total de ar no início da fase de compressão é de cerca de 40 m<sup>3</sup> por cada reservatório, mas o volume útil disponível à pressão nominal de 700 mm-ca é apenas de cerca de 20 m<sup>3</sup> nas maiores marés de águas vivas e residual nas menores marés de águas mortas;

- d) - Estes cilindros terão, quando pousados, o seu topo superior à cota do terraplano, superior a +7 m (ZH), ou seja a cotas superiores ao nível de máxima cheia. Eles não estarão nunca totalmente submersos. O tubo “U” de captação de ar comprimido nunca tem o seu topo superior afogado, permitindo que, com a válvula de segurança aberta, o sistema nunca entre em pressão e o cilindro não esteja sujeito a forças exteriores;
- e) - Estes reservatórios iniciam o seu deslocamento vertical, por efeito da impulsão, quando esta ultrapassar o seu peso (P). Isto acontecerá, por opção técnica, quando a pressão interior subir, em princípio, acima de cerca de 700 mm-ca, o que significa neste caso um peso  $P = 5 \text{ ton}$ . No caso do peso próprio do reservatório ( $P_p$ ) ser inferior a esse valor, ele pode ser corrigido com a colocação de um contrapeso ( $C_p$ ) no topo do cilindro. Esta solução permite com facilidade adaptar esta pressão interior à experiência de funcionamento do sistema, alterando o valor deste contrapeso;

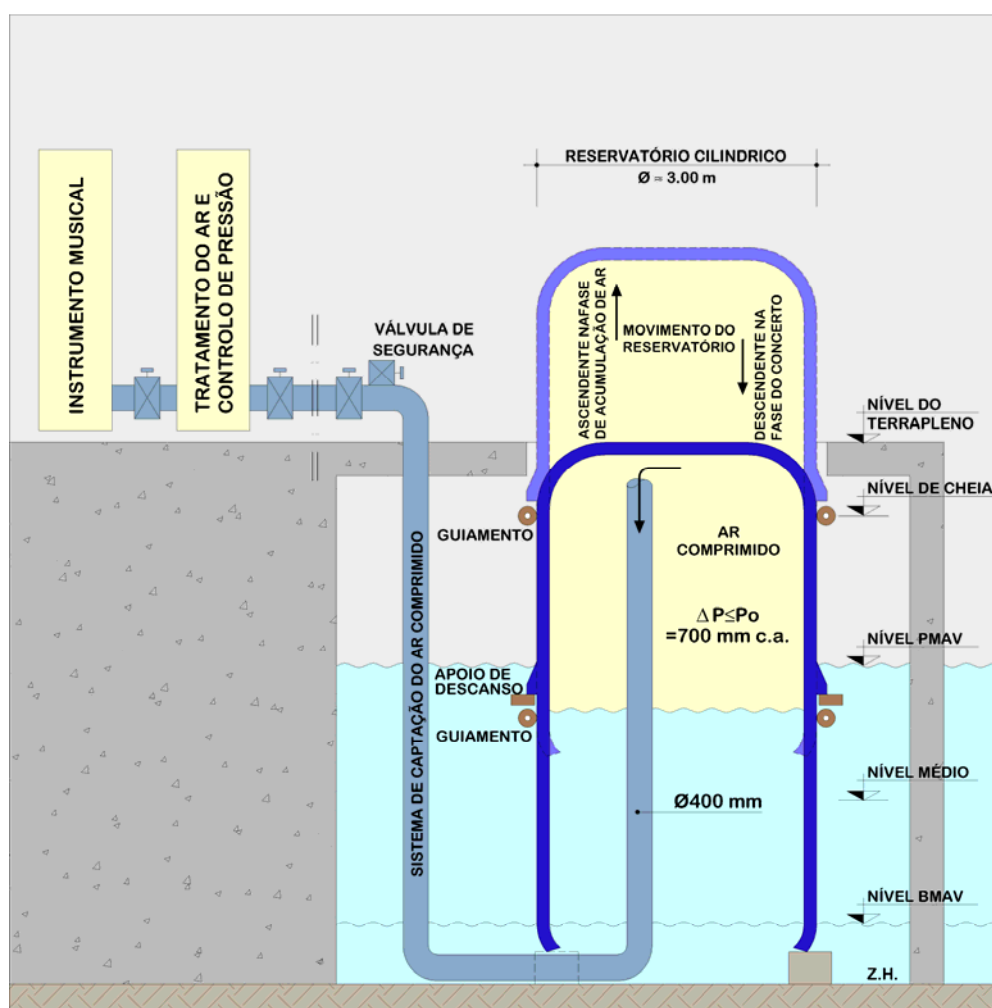


Fig. 4 – Sistema de produção, acumulação e captação de ar comprimido para o Estaleiro do Ouro

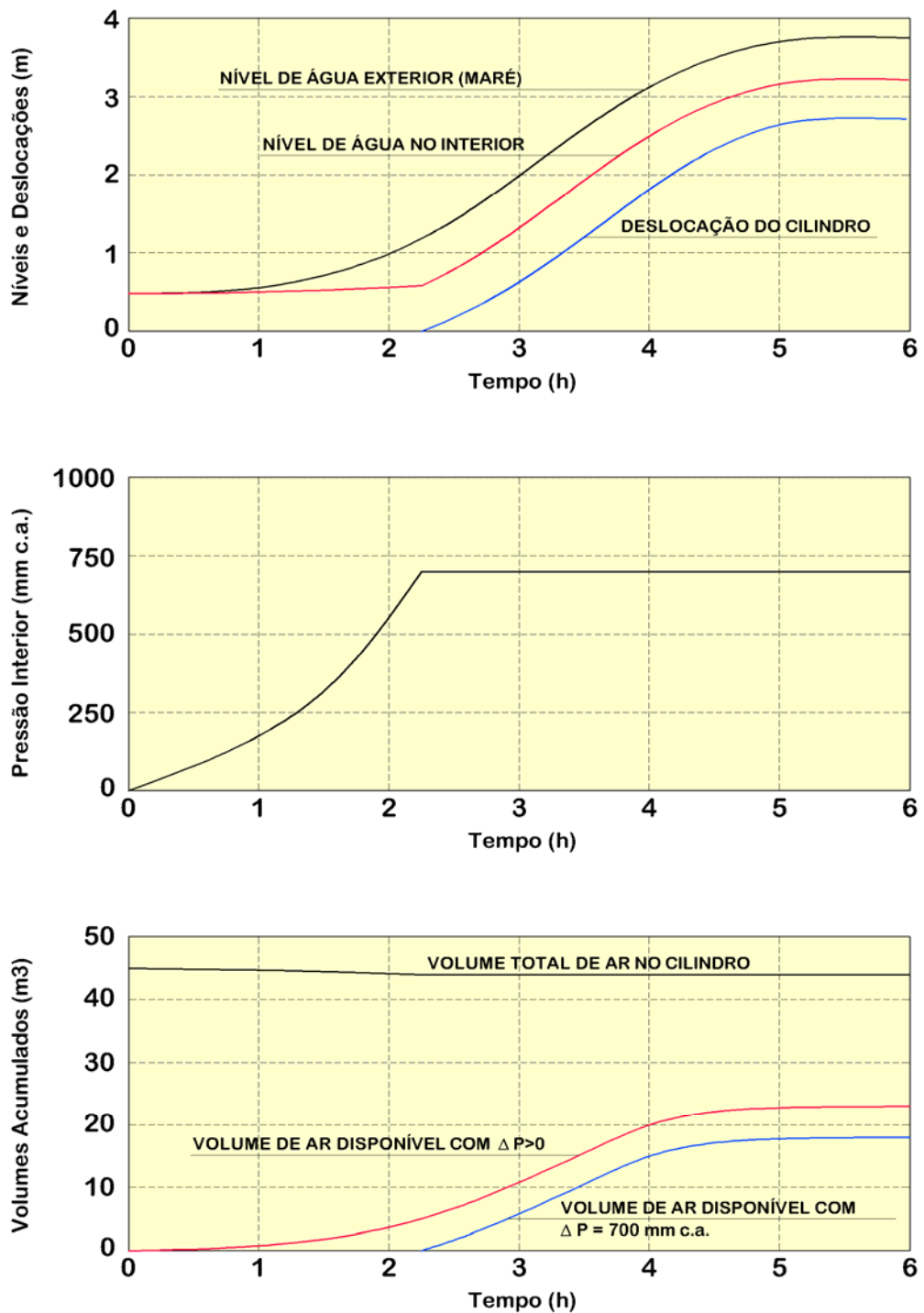


Fig. 5 – Exemplo da variação das principais variáveis físicas características do funcionamento do equipamento de conversão, no caso do Estaleiro do Ouro

- f) - A deslocação vertical destes reservatórios depende da pressão nominal pretendida e da altura da maré, podendo atingir cerca de 2,5 m nas marés vivas. Estando o topo destes reservatórios cilíndricos perto da cota do terraplano +7,40 m (ZH), eles irão emergir lentamente deste terraplano, até atingirem ao fim de cerca de 4 horas uma cota de cerca de +10 m (ZH);



- g)** - Durante um concerto, o ar comprimido consumido pelo instrumento musical irá fazendo baixar os cilindros, mantendo a sua pressão interior aproximadamente constante até pousarem. A partir dessa altura a pressão interior do ar ainda acumulado começa então a diminuir. Um volume residual de ar comprimido, agora a pressão variável, poderá ser ainda utilizado, até que seja atingida uma pressão já inútil para o instrumento musical (Fig. 5).

Estas características do equipamento de conversão e acumulação de ar sob pressão permitem a instalação no novo terrapleno do Estaleiro do Ouro de 10 reservatórios cilíndricos com as dimensões indicadas.

Com esta solução todas as válvulas, tubagens e outros equipamentos do sistema de transporte e tratamento do ar estão, como se pretendia, acima da cota +6 m (ZH); as pressões primárias instalados nos reservatórios são controláveis e independentes da altura da maré; e durante as cheias fluviais não são introduzidos esforços horizontais em nenhum elemento do sistema de produção, acumulação e captação de ar comprimido.

## **5 – ENSAIOS PRELIMINARES EM MODELO REDUZIDO**

Para uma melhor compreensão dos fenómenos físicos envolvidos e com o objetivo de se ganhar maior sensibilidade às limitações e aos riscos das soluções propostas, nomeadamente durante o funcionamento do sistema, foram efectuados alguns ensaios preliminares em modelo reduzido, simplificado e “amador”.

Primeiro foi utilizado um modelo físico reproduzindo o conceito de um “sistema de geometria constante” e, depois, outro modelo reproduzindo o conceito de um “sistema de geometria variável”.

A escala física utilizada em qualquer dos casos foi de cerca de 1/10, não tendo havido a preocupação de reproduzir resistências mecânicas nem avaliar as faltas de semelhança de segunda ordem do modelo/protótipo devidas à elasticidade dos materiais nem à compressibilidade e viscosidade do ar e da água (semelhança de Froud).

Do mesmo modo não se consideraram as faltas de semelhança devido às características dos instrumentos musicais utilizados, para além de se ter verificado necessitarem (modelo e protótipo) de pressões de funcionamento da mesma ordem de grandeza (50 a 100 mm-ca).

Não só como consequência dos testes iniciais efectuados, mas principalmente tendo em conta a existência de cheias fluviais, aspectos construtivos, riscos de funcionamento, garantia de melhor estabilização das pressões e maiores volumes de ar acumulados, abandonou-se o “sistema de geometria constante” e os estudos e ensaios concentraram-se nos “sistemas de geometria variável” (Fig. 6 e 7).

Foi utilizado para simular a subida da água durante a maré, e a manutenção do seu nível na preia-mar, um recipiente equipado com uma boia tipo autoclismo.

Reproduziram-se os reservatórios de acumulação de ar utilizando acrílico transparente, o que facilitou muito a observação dos fenómenos, nomeadamente as variações dos níveis de água interior e exterior e as movimentações verticais dos cilindros e do seu sistema de guiamento.

O controlo da pressão interna era efectuado por um piezómetro colocado no sistema e a sua variação conseguida através da simulação de variações do peso dos reservatórios provocadas pela utilização de contrapesos colocados sobre os cilindros.

Os circuitos de captação do ar sob pressão e o seu transporte até aos instrumentos musicais utilizados, foram materializados através de vulgares tubagens e acessórios de abastecimento de água doméstica e de rega.

Inicialmente foi utilizado um trompete plástico de criança mas na maior parte dos testes foi utilizada uma “escaleta” (instrumento musical de sopro com teclado tipo piano). Num dos últimos testes foi ainda utilizado, um elemento de órgão, gentilmente cedido pelo organeiro Dinarte Machado, o que deu maior consistência ao conjunto dos testes executados.

Essencialmente este conjunto de testes permitiu confirmar a abordagem física e matemática efectuada, com especial relevo para as variações conjugadas dos níveis de água interiores e exteriores, volumes de ar acumulados e disponíveis, pressões de ar instaladas durante o funcionamento do sistema, variações do consumo de ar para várias notas musicais, etc.

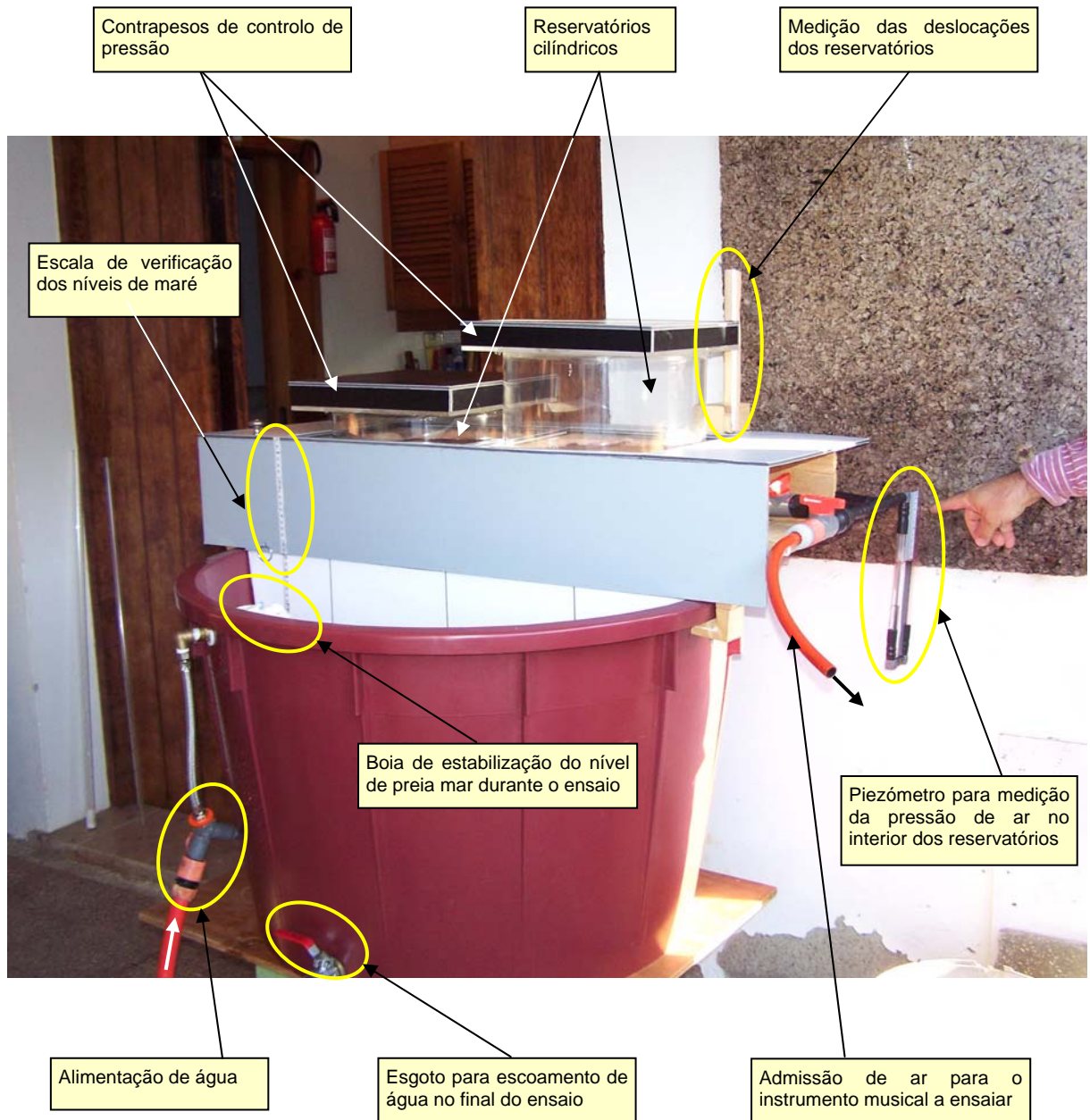
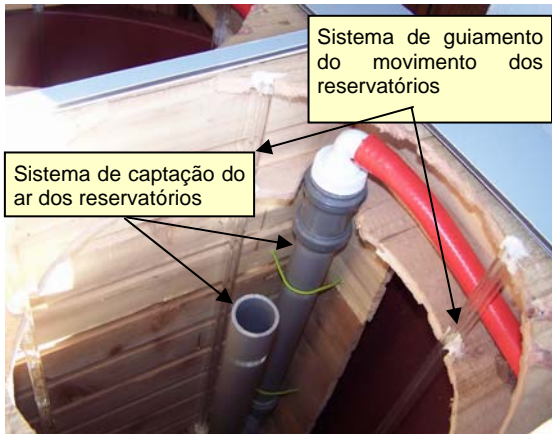


Fig. 6 – Fotografia geral do modelo de ensaio



Situação de início do ensaio.  
Reservatórios pousados.



Interior do modelo.



Pormenor da bóia reguladora e estabilizadora do nível de maré.



Piezómetro de verificação das pressões de ar instaladas no interior dos reservatórios.



Ensaio com várias pressões, dos volumes de ar utilizados por uma componente de órgão (Dinarte Machado).

Fig. 7 – Fotografias de pormenor do modelo de ensaio

## 6 – ARRANJO URBANO E PROGRAMA FUNCIONAL

NOTA: O texto deste capítulo é um resumo extraído do texto da memória geral do projeto apresentado pela equipa de Arquitetura e Urbanismo (Tiago Vidal/Isabel Carvalho, Arquitectos) que ganhou o concurso de ideias lançado pela APDL.

### 6.1 – Organização Espacial

A proposta de arranjo urbano, apresentada pela equipa de Arquitetura e Urbanismo, assenta na construção de duas plataformas que definem os dois eixos principais do lugar, sobre as quais se desenvolve o espaço público num total de 5 600 m<sup>2</sup> (Fig. 8).

A sua implantação e ligações criam um novo percurso urbano, que permite novas perspetivas do lugar, novos locais de conhecimento e interpretação do antigo estaleiro do Ouro e do novo órgão de marés.

A grande característica deste espaço público é ser ele próprio um elemento dinâmico, permitindo ao público diferentes sensações e a visualização permanente do sistema de conversão do movimento das marés em ar sobre pressão e sua utilização final.

Este local poderá, vir a ser utilizado para serviços educativos, pela transversalidade de saberes que potencia, desde a história, à hidráulica, à física, à mecânica, passando pela ecologia.

O espaço arquitetónico é o reflexo de uma série de condicionantes técnicas importantes tendo como objetivo a tradução dessa dinâmica e diversidade nas suas características essenciais.

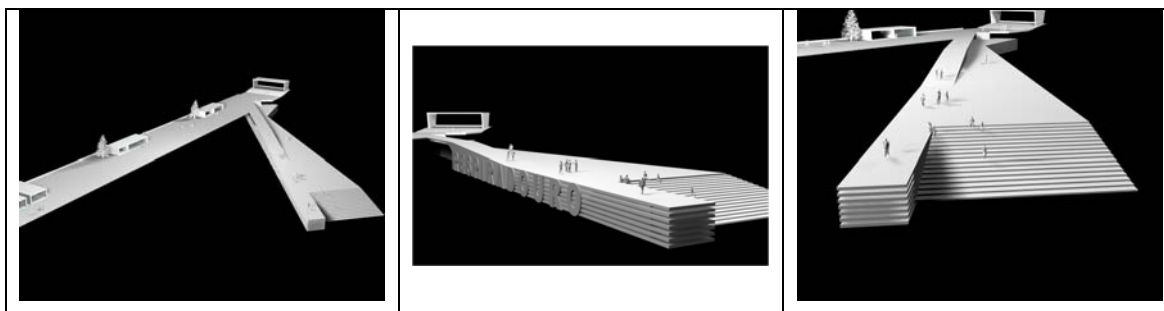


Fig. 8 – Diferentes perspetivas do Arranjo Urbano para requalificação do Estaleiro do Ouro

O Arranjo Urbano para Requalificação do Estaleiro do Ouro e Zona Envolvente, englobam assim a construção dos seguintes equipamentos:

- Órgãos de Marés (teclado do Órgão Popular e Órgão Convencional);
- Anfiteatro ao ar livre com área de conhecimento/interpretação do lugar;
- Edifício polivalente e edifício restaurante/bar;
- Recuperação do Plano de Querenagem existente.

Estas plataformas apresentam larguras e comprimentos distintos, bem como cotas altimétricas, prevendo-se que a plataforma aderente à margem se desenvolva por volta da cota +7,4 m (ZH) (cotas não inundáveis próximas do desenvolvimento da Rua do Ouro), enquanto a plataforma destacada se desenvolverá, em parte, às mesmas cotas da plataforma aderente, e em parte, a cotas próximas do +5,0 m (ZH), inundáveis por ocasião das grandes cheias do Douro.

No que se refere às dimensões em planta, a plataforma aderente à margem, com configuração retangular, onde se situam os instrumentos musicais, apresenta cerca de 20 m de largura por 210 m de comprimento, enquanto a plataforma destacada, com configuração trapezoidal, onde se situa o sistema de acumulação de ar comprimido, apresenta cerca de 17 m de largura média por cerca de 100 m de extensão.

As cotas de fundação das estruturas são também diferentes, estimando-se que variem entre a +4,0 m (ZH) e a +1,0 m (ZH), no caso da plataforma aderente e que variem entre a cota -1,0 m (ZH) e a -7,0 m (ZH), no caso da plataforma destacada.

O ar captado sobre pressão poderá ser utilizado sobre dois registos:

- O Popular, que não exige especialistas da área musical para o fazer tocar. Este registo consiste na produção de sons desconexos e imprevistos ao longo da plataforma, que podem ser manipulados pelo público em geral através de um mega teclado localizado na plataforma aderente;
- O Convencional/clássico, traduzido num órgão onde músicos podem tocar mediante horários condicionados pela maré. Este órgão situado no anfiteatro será projetado de forma a produzir um som que permita a sua audição até uma área considerável das plataformas.

## **6.2 – O Respiradouro**

O Respiradouro é a designação atribuída pela equipa de Arquitetura e Urbanismo ao sistema que produz o fluxo de ar necessário para o funcionamento dos órgãos.

Conforme anteriormente referido, trata-se de um sistema de geometria variável, composto por várias câmaras hidropneumáticas instaladas em linha, sistema este dinâmico e visível de todo o espaço público.

Como se descreveu nos capítulos anteriores os cilindros sobem com a maré e descem ao ritmo do consumo do ar pelos órgãos. Assim, o público visualiza o mecanismo desde da captação/conversão até ao uso final, percebendo de uma forma simples e original o potencial do sistema.

Os cilindros podem funcionar como:

- Pequenos palcos que se movem ao ritmo das marés;
- Espaços para colocação de publicidade – Outdoors;
- Pequenos laboratórios de um possível espaço educativo (medição de marés, medição de pressões, mecanismos vários, etc.).

O ar sobre pressão tem de chegar ao órgão convencional com uma qualidade inexistente na altura da sua captação.

Em oposição ao órgão Popular, que utiliza o ar diretamente acumulado nos cilindros, o ar do órgão convencional necessita de um tratamento e estabilização prévio. Este tratamento e estabilização da pressão serão efetuados durante o percurso do ar na conduta de ligação entre os reservatórios e o órgão.

O ar, ou “vento” é conduzido dos cilindros até ao órgão convencional através de uma conduta estanque. O percurso desenvolve-se numa galeria técnica onde um sistema de foles na extremidade, o ar vai sendo respetivamente tratado e estabilizado.

Esta solução permite o faseamento da construção do próprio sistema, já que pode ser executado numa 1.ª fase apenas um ou dois cilindros. Estes servirão de protótipo e neles poderemos experimentar todas as suas potencialidades.

Esta versatilidade espacial que permite o acesso a toda a área técnica funciona como um laboratório à escala real, atraindo universidades, laboratórios e outras entidades.

Uma vez obtido o ar sobre pressão em quantidade suficiente, estima-se que o sistema, permitirá tocar um instrumento de aproximadamente 10 a 20 registos, distribuídos por três teclados manuais e um pedal, com secções (teclados) de Órgão Principal, Órgão de ecos, Órgão de bombardas e Órgão de pedal.

Estas 4 secções do Órgão funcionarão com pressões diferentes, obtidas e controladas pelos foies de estabilização do vento/ar.

## 7 – SOLUÇÕES ESTRUTURAIS DAS OBRAS MARITIMO-FLUVIAIS

### 7.1 – Infraestrutura aderente à margem

A plataforma aderente à margem é constituída por duas estruturas distintas (Figs. 9 e 10): a de montante (corte F-F), transparente e descontínua, formada por um tabuleiro que apoia sobre um conjunto de estacas e a de jusante (corte E-E) opaca e contínua, formada por uma cortina de aduelas, sobre a qual apoia um tabuleiro, parcialmente em consola.

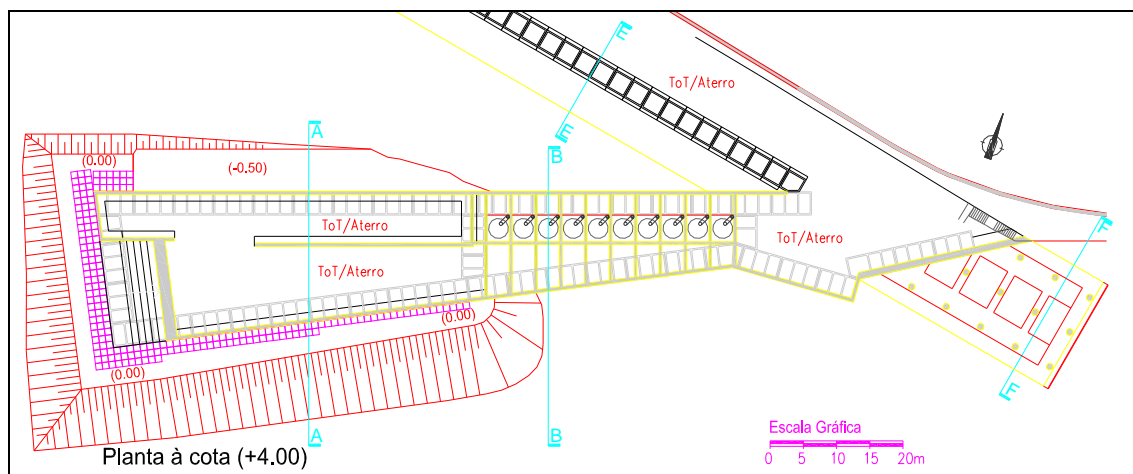


Fig. 9 – Planta estrutural (ao nível da cota +4,0 m (ZH))

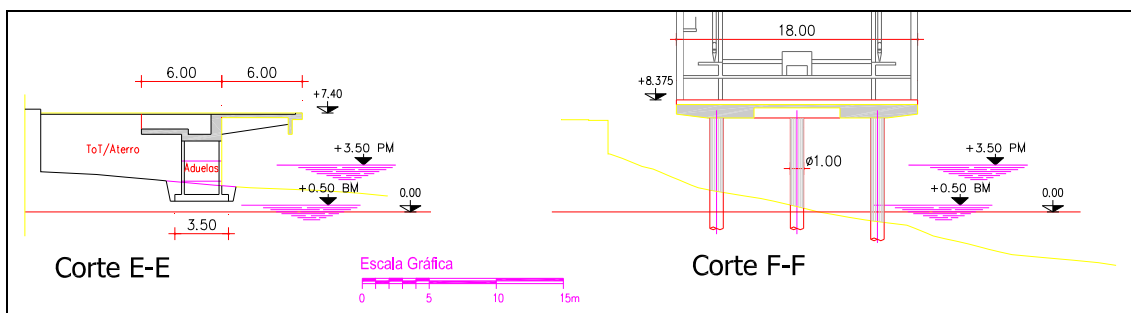


Fig. 10 – Cortes transversais-tipo da infraestrutura marítima aderente à margem

No primeiro caso (corte F-F), trata-se de uma estrutura do tipo “ponte”, sobre a qual o fluxo do rio se dá, quase sem perturbação, devido à reduzida presença dos elementos estruturais. Esta estrutura embora surja na continuidade da estrutura aderente à margem, neste troço, encontra-se destacada.

O seu tabuleiro apresenta ainda a particularidade de ser formado por uma laje de grande espessura, cujo perímetro avança em consola sobre o rio.

No segundo caso (corte E-E), a infraestrutura aderente à margem, estruturalmente será constituída por uma plataforma que se desenvolve sobre o plano de água, ficando uma parte desta em consola.

Para suportar esta plataforma prevê-se uma estrutura contínua, formada por colunas de aduelas sobrepostas e justapostas, sobre as quais apoia um conjunto de vigas afastadas de 6 m, ligadas entre si por uma laje, que se desenvolve em dois planos. O plano exterior, à cota superior da plataforma e o plano interior, cerca de 1,5 m abaixo, formando assim uma cavidade que será preenchida com terras, para desta forma se tirar partido do peso destas, com vista a este contribuir para a estabilidade global do conjunto.

O espaço entre a margem e o tardo das aduelas será preenchido por aterros provenientes da escavação e de empréstimo, sobre o qual assenta o pavimento da plataforma.

## 7.2 – Infraestrutura destacada da margem

Estruturalmente, esta plataforma será constituída por dois troços distintos (Figs. 9 e 11):

- O troço inicial (corte B-B), no qual se insere o equipamento de conversão do movimento das marés em ar sobre pressão, onde se molda uma cavidade para o alojar;
- O troço final (corte A-A), mais destacado, em estrutura “maciça”.

O perímetro de ambos os troços é constituído por colunas de aduelas sobrepostas e justaposta que formam uma contenção e servem de apoio à superestrutura. Esta é constituída, no caso do troço inicial, por uma malha de vigas que solidariza o conjunto e serve, superiormente, de apoio à laje de pavimento, e lateralmente, à estrutura de deslize dos cilindros de compressão e armazenamento do ar.

No caso do troço final, as colunas de aduelas são solidarizadas por muros em forma de “L”, em todo o perímetro. O espaço interior deste troço é preenchido com tot ou aterros, sobre o qual assenta o pavimento da estrutura.

A fundação da estrutura também difere de troço para troço. No troço inicial, devido às pequenas profundidades e devido à necessidade de assegurar a proteção da fundação contra a erosão das correntes, as colunas de aduelas assentam diretamente sobre o fundo rochoso, sobre uma vala moldada para o efeito, sendo estas seladas na rocha, através de chumbadores e de rolhões de betão.

Já no caso do segundo troço, como este se implanta a maiores profundidades, optou-se por funda-lo sobre um prisma de tot, exteriormente protegido por enrocamento pesado e blocos de betão, que asseguram a sua proteção contra a erosão.

No interior da cavidade do troço inicial, para além da estrutura metálica de apoio ao deslize, prevê-se também a regularização do fundo com enrocamentos, para assentamento dos cilindros, bem como a execução de maciços de encastramento da tubagem de extração de ar.

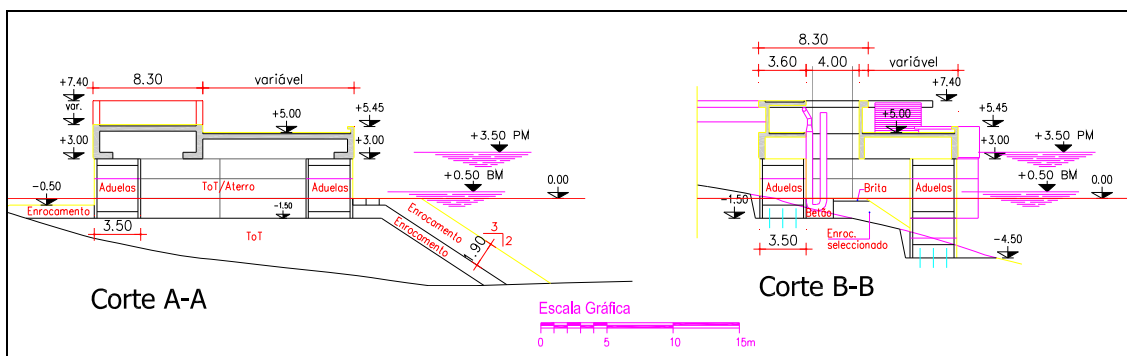


Fig. 11 – Cortes transversais-tipo da infraestrutura marítima destacada da margem

No término desta estrutura dispõem-se de um conjunto de degraus que permitem a proximidade dos visitantes deste espaço público à água, degraus esses que serão revestidos por pedra de superfície irregular, na parte superior e grelhas metálicas ou em material extrudido, na parte inferior, para reduzir a possibilidade de escorregamento.

Para além das questões hidráulicas e estruturais, por se tratar de uma obra destacada da margem, com o seu limite próximo do limite do canal de navegação, terão que ser também analisadas as questões de segurança associadas ao assinalamento marítimo, prevendo-se nesta fase que seja necessário colocar um farolim no término da plataforma e, eventualmente ajustar o assinalamento do canal, nesta zona.

## 8 – IMPLANTAÇÃO/ALOJAMENTO DO SISTEMA DE CONVERSÃO E ACUMULAÇÃO DE AR

Conforme já referido anteriormente, o sistema de conversão e acumulação de ar é constituído por um conjunto de cilindros, instalados em série (Fig. 12), que se movem na vertical livremente em função da oscilação da maré, não estando por isso fixos a qualquer estrutura, deslizando através de umas guias e apoiando-se no fundo.

Trata-se portanto de um sistema “solto” que não poderá estar sujeito a esforços horizontais, sob pena de estes poderem comprometer o livre deslize através das guias verticais, não podendo por isso ficar exposto à forte ação das correntes que se fazem sentir nesta zona do rio, resultantes da maré e do caudal fluvial.

Para o efeito, no troço de montante da infraestrutura marítima destacada, criou-se uma cavidade tipo grande caverna, na qual se instala o sistema de guiamento e alojam os cilindros pneumáticos, cavidade esta, que comunica com uma galeria técnica, na qual se instalam as condutas que conduzem o ar sobre pressão ao sistema de tratamento e posteriormente à adutora do órgão.

Com vista a alojar cerca de 10 cilindros, implantados em “linha”, de 3 m de diâmetro por 7,4 de altura, cria-se uma cavidade com uma geometria em planta trapezoidal, com cerca de 37 m de extensão, por aproximadamente 9 e 4,4 m de largura, base maior e base menor, respetivamente e 7,4 m de altura, cavidade esta delimitada por uma parede, formada por aduelas sobreposta e justapostas, preenchidas interiormente por betão, para solidarizar todo o conjunto.



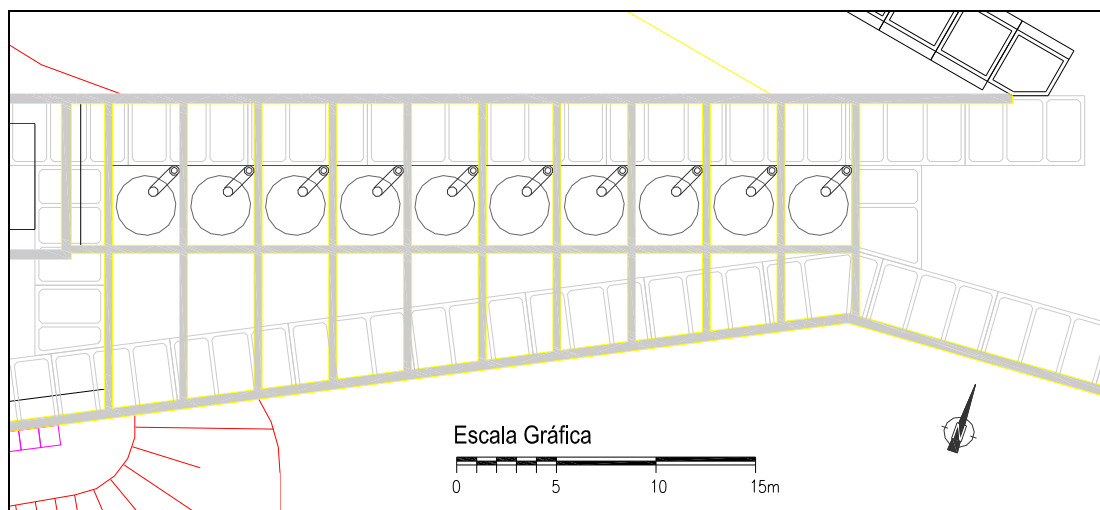


Fig. 12 – Implantação dos cilindros pneumáticos

O guiamento dos cilindros dentro da cavidade é assegurado por uma malha de vigas, nas faces verticais das quais se fixam os perfis metálicos de guiamento dos cilindros. O movimento de ascensão inicia quando, devido à elevação do nível da maré, a força da impulsão excede o peso do cilindro, situações em que estes se elevam em relação à face superior da estrutura, mantendo-se estes apoiados sobre um prisma de enrocamento nas situações de maré em que tal não acontece. À semelhança da cavidade, o prisma é contínuo, regularizado por brita, no qual se integram os blocos de fundação do tubo de captação de ar.

A cavidade de alojamento dos cilindros comunica com o rio, inferiormente, através de aberturas realizadas nas aduelas de base, que permitem a entrada de água, e por conseguinte, a variação do nível de maré dentro desta. Com este esquema nunca são introduzidas forças horizontais nos cilindros, nos sistemas de deslize e nos equipamentos da captação de ar sobre pressão.

Superiormente esta unidade, comunica com a galeria técnica que se desenvolve ao longo de todo o seu comprimento, continuando depois até ao anfiteatro. Nesta galeria técnica, que será visitável pelo público, serão instaladas as condutas de ar, que o transportam até ao sistema de tratamento onde lhe é retirada a humidade, o sal e outras impurezas, sendo posteriormente conduzido ao conjunto dos foles que ajustam as pressões necessárias para satisfazer as necessidades do programa musical.

## 9 – CONCLUSÕES

- A. Os estudos efectuados, conjugando as soluções propostas para o arranjo urbano com as necessidades próprias dos equipamentos musicais, e com as soluções de engenharia capazes das materializarem, comprovam a viabilidade técnica de instalar na nova área lúdica e urbana do Estaleiro do Ouro um instrumento musical, tipo Órgão, onde a produção e fornecimento do ar sob pressão seja efectuado à custa exclusiva da energia das marés.
- B. A concepção proposta para o equipamento de conversão do movimento das marés em ar sob pressão cria no interior do novo terraplano, um sistema de geometria variável, formado por um conjunto de reservatórios cilíndricos verticais que dele emergem à medida que se instalam as pressões e se acumula o ar no seu interior.
- C. O ar comprimido acumulado nos reservatórios é posteriormente extraído do seu interior à medida que decorre o concerto musical e lançado no sistema de tratamento da qualidade de ar e de controlo das pressões a serem utilizadas pelo instrumento musical.

- D. Utilizando, no todo ou em parte, o mesmo sistema de produção, acumulação e captação de ar, pode ser instalado, em paralelo com o equipamento musical principal (tipo Órgão), um equipamento complementar e simplificado de produção de sons mais ou menos aleatórios, para utilização lúdica e pública.
- E. A estrutura de alojamento do sistema de conversão e proteção contra a ação das correntes do rio é do tipo convencional, constituída por colunas de aduelas preenchidas com betão, seladas contra o fundo rochoso e assentes sobre um prisma de enrocamento e protegidas da infraescavação gerada pelas correntes por blocos paralelepípedicos de betão.
- F. A acessibilidade e visualização do equipamento, quer para efeitos de manutenção quer para efeito de visitas técnicas-turísticas, processasse por intermédio de uma galeria técnica, sendo igualmente possível observar o equipamento pelo exterior.
- G. As soluções de engenharia encontradas, quer para os sistemas de produção, de acumulação e de captação do ar, quer para as obras de contenção periférica e de suporte dos sistemas referidos, não agravam substancialmente os custos das infra-estruturas marítimas e permitem o faseamento da instalação do equipamento musical e dos equipamentos mecânicos a ele associados.