

Aqueduto das Águas Livres, Lisboa

“Elaboração do projecto de execução para reparação da patologia verificada no intradorso de um dos arcos do Aqueduto das Águas Livres (bloco do módulo 29)”. Rev02

Fase II | Execução - Projecto de Estabilidade

Memória Descritiva e Justificativa

NCREP_1466P0220

Porto

Abril de 2021



Índice

01 Introdução.....	3
02 Enquadramento do trabalho	4
02.1 Breve descrição histórica da estrutura do Aqueduto	4
02.2 Descrição da patologia estrutural	10
02.3 Condicionalismos de projecto	12
03 Solução estrutural	13
03.1 Solução estrutural de reforço do bloco.....	13
03.2 Colmatação/Selagem de juntas e fissuras.....	14
03.3 Metodologia para o meio de acesso ao intradorso do arco	14
03.3.1 Descrição geral	14
03.3.2 Dados técnicos do equipamento.....	16
03.3.3 Solução proposta e condicionamento previsto	17
03.3.4 Plano de trabalhos.....	20
04 Medidas de Conservação e Restauro	22
05 Plano de monitorização local.....	23
05.1 Sistema de instrumentação	23
05.2 Características dos sensores estáticos.....	24
05.3 Periodicidade e apresentação de relatórios técnicos	24
05.4 Aquisição e transmissão de dados	25
05.5 Manutenção do sistema de monitorização.....	25
05.6 Critérios de alerta	25
06 Faseamento construtivo geral.....	27
06.1 Estimativa de cronograma de obra	Erro! Marcador não definido.
07 Considerações finais	30

Anexos:

Anexo 01 | Nota de Cálculo

Anexo 02 | Condições Técnicas

Anexo 03 | Peças desenhadas

Mapa de Trabalhos e Quantidades

01 | Introdução

Na sequência do procedimento lançado pela EPAL (Empresa Portuguesa das águas Livres, S.A.) relativo à Aquisição de serviços para a "Elaboração do projecto de execução para reparação da patologia verificada no intradorso de um dos arcos do Aqueduto das Águas Livres (bloco do módulo 29)", o *NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda.* elaborou a presente memória descritiva e justificativa correspondente à Fase II - Projecto de Execução.

O presente projecto tem como principal objectivo apresentar a solução de intervenção do problema identificado no programa preliminar fornecido na fase de concurso, e que se considera mais adequado, do ponto de vista técnico e económico, de acordo com o trabalho realizado na Fase I | Estudo Prévio - Projecto de Estabilidade.

Em particular, a presente memória tem como objectivos: (1) definir a solução para a reparação da patologia verificada no intradorso do arco; (2) definir o tipo de solução de acesso à zona de intervenção no bloco e (3) definir o faseamento de execução do reforço.

Este trabalho teve como base os seguintes elementos fornecidos pelo adjudicatário: (i) o Relatório de Patologia verificada no intradorso de um dos arcos do Aqueduto das Águas Livres (Bloco do Módulo 29) que fazia parte do programa preliminar de concurso; (ii) um levantamento fotográfico e (iii) o levantamento laser scanner com nuvem de pontos do módulo 29.

Este documento é acompanhado do Anexo 01, onde são apresentados os pressupostos de cálculo e o dimensionamento do reforço estrutural; do Anexo 02, onde são apresentadas as condições técnicas relativas aos trabalhos específicos a realizar; e do Anexo 03, onde são apresentadas as peças desenhadas com a solução de intervenção. Anexa-se ainda a este documento o Mapa de Trabalhos e Quantidades relativo à intervenção proposta.

02 | Enquadramento do trabalho

02.1 | Breve descrição histórica da estrutura do Aqueduto

O Aqueduto das Águas Livres (Figura 1) constituiu um vasto sistema de captação e transporte de água, enquadrado na arquitectura infra-estrutural, barroca e neoclássica (SIPA, 2020), por via gravítica (EPAL, 2020). Dada a sua grandiosidade e o seu valor patrimonial é classificado como Monumento Nacional desde 1910, sendo considerado uma obra notável da engenharia hidráulica (EPAL, 2020).



Figura 1 - Aqueduto das Águas Livres.

O Aqueduto das Águas Livres situa-se num ponto de viragem da Engenharia, onde os métodos empíricos tradicionais ainda se mantêm, mas estão prestes a ser substituídos pelos métodos científicos emergentes (Guerra, 1995). Todavia o Aqueduto é ainda uma estrutura de concepção tradicional, herdeira de dezoito séculos de experiência técnica (Guerra, 1995), e apresentando ainda algumas inovações técnicas de grande relevância.

A concepção do Aqueduto foi obra, sobretudo, de dois engenheiros distintos, Manuel da Maia e Custódio Vieira da Silva, apresentando, contudo, uma unidade construtiva bastante grande (SIPA, 2020).

A entrada em funcionamento do Aqueduto ocorreu em 1748, quando correu água na primeira fonte pública, contudo só em 1835 se deram as obras por concluídas (Guerra, 1995). É importante ressaltar que o Aqueduto nunca garantiu, nem foi projectado para tal, o abastecimento universal casa a casa da cidade. Apenas o Estado e raríssimos particulares recebiam directamente água do Aqueduto. A distribuição de água fornecida pelo Aqueduto foi canalizada para dezenas de chafarizes, espalhados por toda a cidade de Lisboa (Guerra, 1995). A partir da década de 60, do século XX, as águas do Aqueduto das Águas Livres, deixaram de ser aproveitadas para consumo humano (EPAL, 2020).

O Aqueduto arranca à altitude de 172m sobre o nível médio do mar, em Belas, sendo a cota de recepção, no alto das Amoreiras, de 94m. Suficiente para alimentar toda a cidade de Lisboa, cuja altitude máxima não ultrapassa 112m (Guerra, 1995).

O sistema de abastecimento de água das Águas Livres, que resistiu ao terramoto de 1755, é composto por:

- Um troço principal, de 14km de extensão, com início na Mãe de Água Velha, em Belas, e final no reservatório da Mãe de Água das Amoreiras, em Lisboa;
- Vários troços secundários destinados a transportar água de cerca de 60 nascentes;
- Cinco galerias para abastecimento de cerca de 30 chafarizes da capital (EPAL, 2020).



(a)

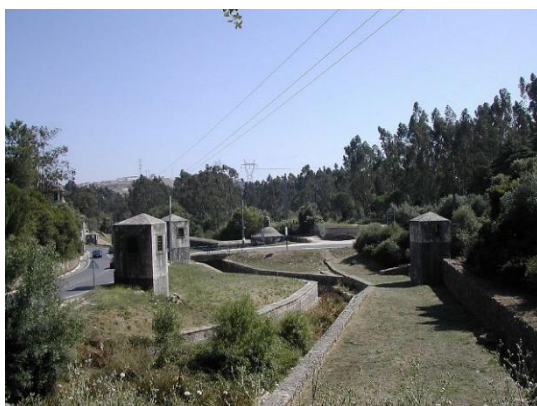


(b)

Figura 2 - Mapas do Aqueduto das Águas Livres: (a) traçado do Aqueduto das Águas Livres (representado a vermelho); (b) Aqueduto das Águas Livres dentro da cidade de Lisboa.

A espinha dorsal do Aqueduto demorou 16 anos a construir, entre 1732 e 1748, no reinado de D. João V (Guerra, 1995). Com 14km de extensão, forma um longo túnel que fura montes em canais subterrâneos, se encosta pelas colinas e atravessa vales em arcadas majestosas. Tem origem na Ribeira das Águas Livres (Mãe de Água Velha), perto de Belas, e termina no grande reservatório das Amoreiras conhecido pelo nome de Mãe-d' Água (Guerra, 1995).

A Mãe de Água Velha, em Belas (Figura 3) é materializada por duas estruturas, com coberturas em domo, coroadas por lanternins encimados por pináculos, tendo no interior pias circulares, de inspiração barroca (SIPA, 2020).



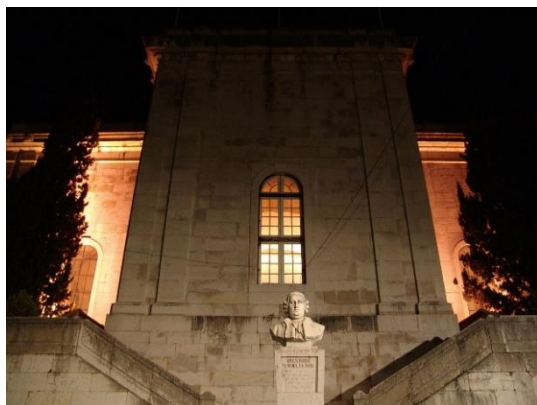
(a)



(b)

Figura 3 - Mãe d'Água Velha, Belas: (a) estrutura circular ao centro; (b) pormenor do Aqueduto em Belas.

A Mãe-d' Água, nas Amoreiras (Figura 4a) apresenta uma planta quadrangular, formada por três corpos adossados com cobertura em terraço, protegido por platibanda, iluminada em todas as fachadas por janelas em arco de volta perfeita, de inspiração sóbria e clássica, tendo o interior com coberturas em abóbadas de aresta, suportadas por pilares (Figura 4b), assentes no fundo do grande tanque central (Figura 4c), que recebe água através de uma cascata (Figura 4d), elemento típico dos jardins barrocos (SIPA, 2020).



(a)



(b)



(c)



(d)

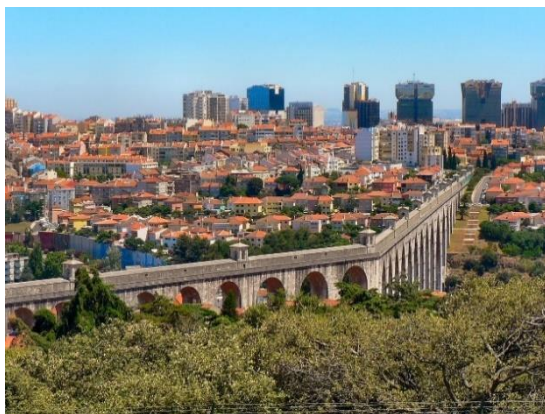
Figura 4 - Mãe d'Água, Amoreiras: (a) fachada, vista nocturna; (b) vista do interior; (c) reservatório de água; (d) cascata.

Nas zonas onde os ramais e aduções ocorrem, aparecem clarabóias circulares, com cobertura em domo, rasgadas por portas de verga recta e janelas, ostentando, por vezes, elementos eruditos, como pilastras, ou gramática decorativa, como volutas ou concheados (SIPA, 2020).

Por forma a garantir a salubridade da água, os troços subterrâneos do Aqueduto são pontuados por clarabóias que garantem, simultaneamente, a oxigenação e a iluminação das galerias (SIPA, 2020).

Ponte-canal de Alcântara

A travessia do vale da Ribeira de Alcântara com a sua extraordinária arcaria (Figura 5a e Figura 5b), numa extensão de 941m, composta por 35 arcos 21 em arco de circunferência e as restantes em arco quebrado (Guerra, 1995), será o troço mais emblemático do Aqueduto das Águas Livres. Neste troço situa-se o maior arco em ogiva, em pedra, do mundo, o *Arco Grande* (Figura 5c), com 65,29m de altura e 28,66m de largura (EPAL, 2020).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5 - Ponte-canal de Alcântara: (a) Aqueduto das Águas Livres, Vale de Alcântara; (b) Vista do Aqueduto de Alcântara desde o chão; (c) Vista alçado do Arco Grande; (d) Placa que assinala o Arco Grande.

A galeria do canal, cuja função é proteger a água circulante contra a poluição (Guerra, 1995), situa-se na parte cimeira sendo coberta por paredes de alvenaria argamassada, com cobertura, maioritariamente, curva, cortada por respiradouros (Figura 6a) (SIPA, 2020). Ladeiam-na dois passeios exteriores\caminhos de ronda (Figura 6b) de 1,5m de largura, vedados por parapeitos (Guerra, 1995).



(a)



(b)

Figura 6 - Nível superior do Aqueduto: (a) lanternim/respiradouro na galeria, sobre o vale de Alcântara; (b) passeio lateral exterior, sobre o vale de Alcântara.

Dentro da galeria existem dois estreitos canais, separados por um passadiço intermédio (Figura 7). Cada canal tem secção em forma de U, com 0,33m de diâmetro na semicircunferência do fundo. Uma das faces do U é a parede da galeria e a outra um murete que limita o passadiço com, aproximadamente, 0,40m de altura (Guerra, 1995).

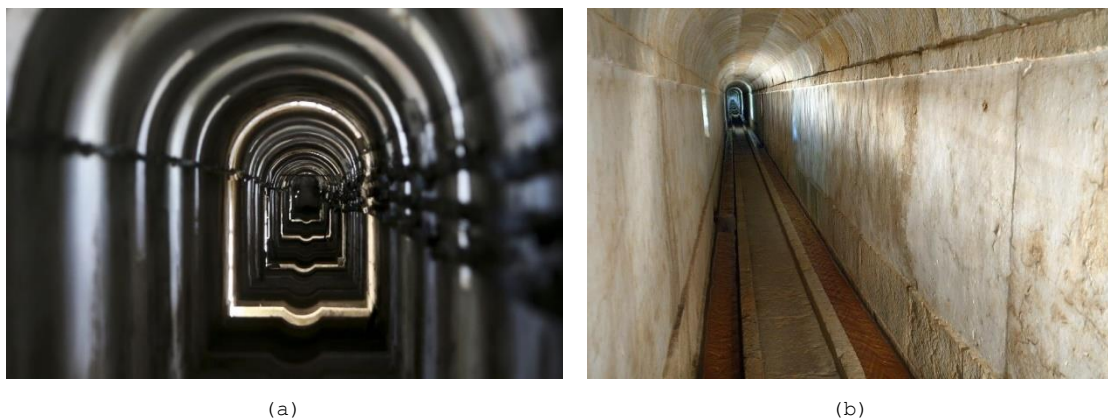


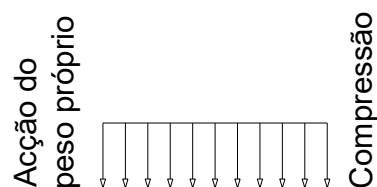
Figura 7 - Interior da galeria do canal.

Comportamento estrutural

A estrutura do Aqueduto é composta por blocos de pedra regulares em calcário ligados com uma argamassa pobre na envolvente exterior e um enchimento em alvenaria irregular no interior, (Schiappa et al., 1996).

Toda a estrutura da ponte-canal está contruída para apenas suportar esforços de compressão. Os esforços laterais dos arcos compensam-se uns aos outros e por isso existem apenas os esforços frontais do vento, que embate contra a galeria, as arcarias e os altos pilares na direcção fora-do-plano do Aqueduto. O peso próprio da estrutura equilibra os impulsos derrubadores exercidos pelo vento (Guerra, 1995).

Analisando um tramo isolado da ponte-canal o impulso do vento sobre ele exercido provoca, na base dos pilares, esforços de tracção a barlavento e esforços de compressão a sotavento (Figura 8).



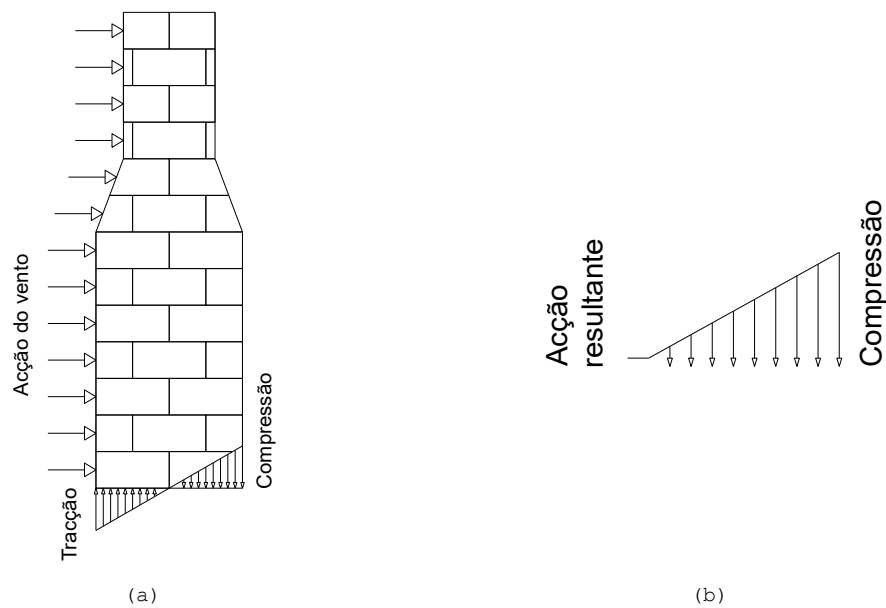


Figura 8 - Equilíbrio dos esforços exercidos sobre um tramo da ponte-canal.

Bibliografia

EPAL. (29 de 01 de 2020). EPAL. Obtido de epal: <https://www.epal.pt/>

Guerra, F. (1995). História da Engenharia em Portugal. Porto: Publindústria.

SIPA. (29 de 01 de 2020). Obtido de SIPA: <http://www.monumentos.gov.pt>

Schiappa de Azevedo, F.; Sousa M.R.; Reis, M.O.B.; Casaca, J.M.M; Rodrigues, J.D.; Veiga, M.R.; Silva, A.S. (1996). Estudo dos efeitos das vibrações no Aqueduto das Águas Livres, produzidas pelas construções e tráfego do eixo Norte-Sul - Relatório 207/96-NDA, LNEC.

02.2 | Descrição da patologia estrutural

De acordo com o relatório fornecido pelo adjudicatário na fase de concurso, este trabalho foi suscitado pela existência do deslocamento de um dos blocos que compõem o intradorso de um dos arcos do Aqueduto das Águas Livres (Módulo 29), na zona junto ao fecho do arco, Figura 9.

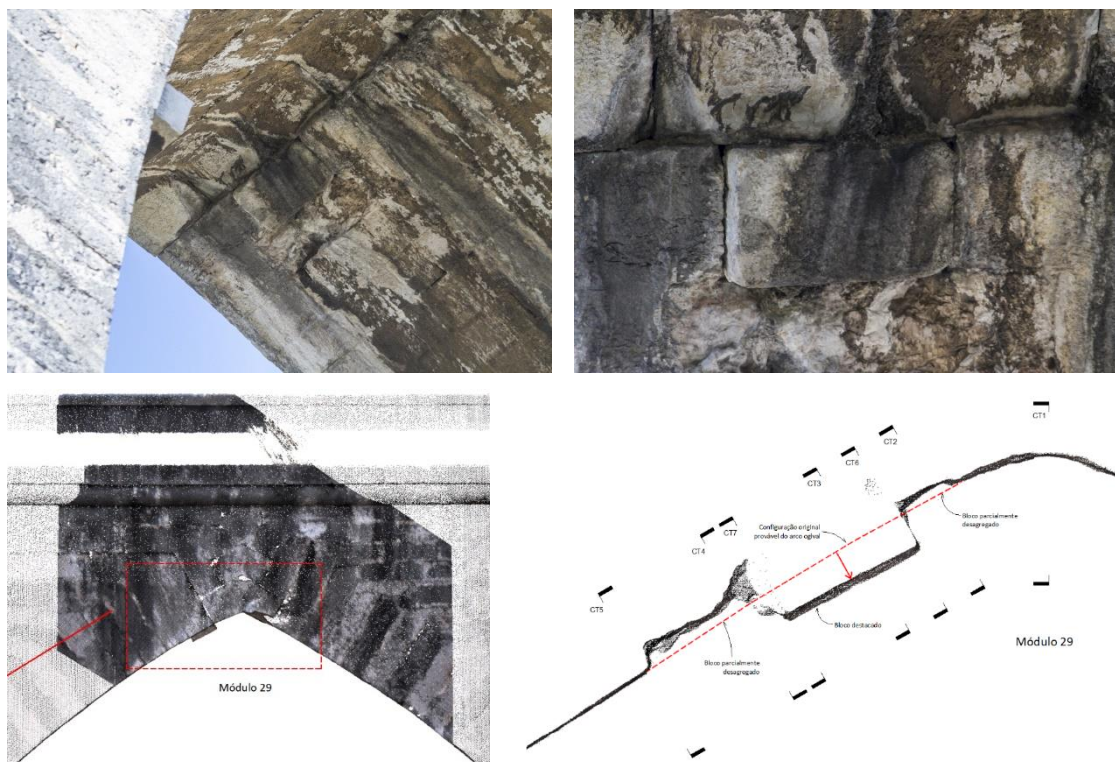


Figura 9 - Imagem ilustrativa do deslocamento do bloco.

Os dados fornecidos pelo contratante, para desenvolvimento do projecto de intervenção no bloco que se encontra deslocado, foram obtidos através dois tipos de levantamento, nomeadamente: (i) levantamento fotográfico e (ii) levantamento por laser scanning nas zonas laterais e inferiores do módulo 29 do Aqueduto. Para além do deslocamento do bloco, que despoletou este trabalho, estes levantamentos permitiram aferir outras patologias essencialmente relacionadas com durabilidade e degradação material.

O registo fotográfico permitiu verificar problemas de durabilidade, assim como patologias de várias ordens: (a) Deslocamento assimétrico do bloco em relação ao seu eixo; (b) Redução de seção de blocos adjacentes tendo como causa provável um processo contínuo de crostas negras e/ou eflorescências; (c) Inexistência de material nas juntas, aliada a erosão das próprias juntas; (d) Concreções originadas pela precipitação de carbonato de cálcio. (e) Alterações da patine de cor por contacto por agentes atmosféricos externos. (f) Colonização biológica.

O levantamento por laser Scanning foi efectuado a partir da Rua 12 do Bairro da Calçada dos Mestres em Campolide e permitiu obter as seguintes informações: (a) o deslocamento excêntrico máximo do bloco deslocado: 9,4 cm; (b) um dos blocos adjacentes apresenta uma cavidade de 14 cm, resultante de mecanismos de deterioração superficiais. (c) as restantes superfícies com alterações de relevo mais ou menos significativas (redução máxima verificada: 17,9 cm), em superfície e em juntas entre blocos.

02.3 | Condicionalismos de projecto

De acordo com os elementos fornecidos e estudos apresentados no documento da Fase I | Estudo Prévio - Projecto de Estabilidade, a presente intervenção teve em conta os seguintes condicionalismos:

- A classificação da zona de intervenção como monumento nacional e a sua visibilidade como retractor histórico da Cidade de Lisboa.
- A obediência pelo critério de intervenção mínima assim como redução de impactos intrusivos no monumento.
- A regulamentação existente, assim como normativas ou informações técnicas de organismos credenciados (LNEC, etc.) sobre a reabilitação de edifícios históricos.
- A especificação técnica de materiais e de técnicas construtivas adequadas, respeitando as melhores regras de construção e restauro.
- A compatibilidade da solução proposta com a base, garantindo a aderência e a preservação do existente, assim como a adequabilidade dos materiais e soluções ao local e aos agentes externos causadores de patologias.
- A importância de estabilizar o bloco, assim como de propor outras acções complementares consideradas necessárias.
- A altura da intervenção em relação ao solo, tendo-se previsto a solução que se considera mais eficiente para redução do tempo de intervenção, aliada à segurança da realização dos trabalhos. Efectivamente, o ponto mais condicionante da intervenção são as condições de acessibilidade ao local do bloco para a implementação do seu reforço, uma vez que o ponto se encontra a sensivelmente a 45m de altura do solo.

03 | Solução estrutural

03.1 | Solução estrutural de reforço do bloco

A solução de reforço do bloco do arco passará pela ancoragem do bloco a um elemento de contraste a colocar, com recurso a uma escavação arqueológica, sob o lajeado de pedra do caminho de ronda. O elemento de contraste pode ser materializado por um bloco de pedra ou por um elemento de betão armado (eventualmente pré-fabricado), desde que se encontre isolado do restante enchimento através de telas impermeável, com uma tela geotêxtil e uma segunda camada com tela betuminosa de alta densidade do tipo BYTUM 750 da Rothoblaas ou equivalente. Alternativamente, e caso não seja técnica possível a remoção do lajeado de pedra (do caminho de ronda), o bloco a reforçar poderá ser ancorada directamente aos elementos do lajeado de pedra do caminho de ronda. Neste último caso, e dependendo da espessura do lajeado, a ancoragem poderá ser assumida e visível no caminho de ronda, e como tal, terá que ser: (i) protegida com um pequeno capacete metálico e (ii) sinalizada para que não ocorram acidentes.

A solução de ancoragem é realizada recorrendo ao sistema do tipo Cintec ou equivalente, composto por um varão roscado em aço inoxidável envolto em uma manga injectável e chapas de contraste, em aço inox classe 316L (classe 1.4404 - segundo EN 10088), em ambas as extremidades. O facto de se tratar de um elemento em aço inox protegido dentro de uma manga injectável, proporciona uma durabilidade acrescida à solução. A implementação deste sistema implicará uma pequena carote na pedra (diâmetro de aproximadamente 3cm) realizada de baixo para cima (desde o bloco até ao caminho de ronda). Previamente ao início da carotagem para implementação do sistema, serão aplicados elementos metálicos para suspensão provisória do bloco a reforçar.

A solução implementada é compatível, reversível e representa uma intervenção mínima, tendo em conta a necessidade de segurança expressa no caderno de encargos e as condições existentes no local. Como tal, a solução respeita e vai ao encontro das principais directivas definidas nos guias e normas de boas práticas nacionais e internacionais.

Em anexo a este documento apresenta-se a memória de cálculo da solução de reforço, complementada com as especificações dos materiais que compõe a solução de ancoragem e do elemento de contraste.

A aplicação do sistema do tipo Cintec ou equivalente deverá respeitar as Condições Técnicas, anexas a esta memória, e indicações do fabricante relativamente a: i) Campo de Aplicação; ii) Características Principais dos Materiais (calda, manga e elemento principal resistente) e Características Principais dos Equipamentos (equipamento de furo e injeção); iii) Características Técnicas e Faseamento de Aplicação.

Note-se que todo o trabalho, deveram ter o apoio e acompanhamento de uma equipa de Arqueologia e uma equipa de Conservação e restauro, desde o começo do trabalho até à conclusão das tarefas executadas.

03.2 | Colmatação/Selagem de juntas e fissuras

Tendo em conta as potenciais causas das patologias detectadas, referidas anteriormente no ponto 02.2|, considera-se necessária a aplicação de um conjunto de medidas orientadas no sentido de impedir e/ou mitigar a infiltração de água no interior da estrutura do Aqueduto, e de consequentemente chegar à zona de intradorso. As medidas passam por:

- Colmatação e selagem das juntas e fissuras (em particular das mais pronunciadas) nas faces laterais do Aqueduto, e junto à zona de intervenção, com recurso a argamassas à base de cal hidráulica, compatíveis com pré-existência. Esta acção terá como objectivo impedir\mitigar a entrada de água pelas juntas abertas nas faces laterais do Aqueduto.
- Para o acesso às faces laterais do Aqueduto, o empreiteiro deve avaliar os meios necessários, que poderá passar pela utilização de uma equipa de alpinistas ou outros meios aplicáveis (salienta-se que o empreiteiro poderá utilizar o bailéu existente no Aqueduto, que deverá ser solicitado à entidade contratante/entidade gestora de Aqueduto, e respeitar os dados técnicos constantes no Manual De Operação do Bailéu de Modelo.B1300-K.
- Colmatação e selagem das juntas e fissuras nos caminhos de ronda do módulo 29, com recurso a argamassas à base de cal hidráulica, compatíveis com pré-existência. Uma vez que se tratam de caminhos utilizados, e como tal, sujeitos a desgaste, a argamassa a utilizar deverá ser de alta resistência, dentro da tipologia de argamassa indicada.
- Note-se que todo o trabalho, deveram ter o apoio e acompanhamento de uma equipa de Arqueologia e uma equipa de Conservação e restauro, desde o começo do trabalho até à conclusão das tarefas executadas.

03.3 | Metodologia para o meio de acesso ao intradorso do arco

03.3.1 | Descrição geral

Neste projecto de execução considerou-se o acesso ao bloco a reforçar, no intradorso do arco (Módulo 29), através do recurso a uma autoplateforma comercial do tipo Palfinger P750 ou equivalente, que possui as características (alcance, capacidade de carga e dimensões para implantação no local) compatíveis com os trabalhos previstos neste projecto, nomeadamente:

- Realização do reforço do bloco do arco, através da sua ancoragem com um varão roscado em aço inox (ver capítulo 06 |);
- Realização da limpeza e tratamento das patologias relacionadas com durabilidade e degradação material, numa área máxima de 1,5mx1,5m (2,25m²) em torno ao bloco a reforçar (ver capítulo 06 |);
- Auxiliar na implementação do sistema de monitorização (ver capítulo 06 |).

A solução da autoelevatória tem como objectivo permitir realizar a intervenção de reforço do bloco, respeitando os seguintes pontos:

- Garantir uma capacidade de carga para duas pessoas e o material necessário à carotagem e selagem dos varões de reforço (estimando-se com um peso total máximo de 3,0kN);
- Ter alcance suficiente para, imobilizando a autoelevatória no arruamento adjacente ao Módulo 29 (Rua 12), conseguir alcançar o bloco a reforçar no intradorso do arco, distanciando cerca de 1,2m da face lateral do Módulo 29. Para conseguir alcançar a zona a reforçar, constatou-se que o alcance horizontal (de aproximadamente de 30,0m) e o alcance vertical (cerca de 30,0m) é garantido pela solução da autoelevatória comercial indicada;
- Assegurar uma plataforma de trabalho com dimensão adequada ao transporte de 2 pessoas, material e equipamento, e aliada à segurança da realização dos trabalhos;
- Garantir a execução de uma metodologia em conformidade com condicionalismos de projecto identificados no capítulo 02.3 | .

No acompanhamento destes trabalhos, o empreiteiro deve avaliar a necessidade de acesso às faces laterais do Aqueduto. Para o acesso às faces laterais do Aqueduto, o empreiteiro deve avaliar os meios que achar necessário, que poderá passar pela utilização de uma equipa de alpinistas ou outros meios (o empreiteiro poderá utilizar o bailéu existente no Aqueduto, que deverá ser solicitado à entidade contratante). Há um bailéu existente no Aqueduto, que se desloca no caminho de ronda para aceder à face lateral do Aqueduto. O empreiteiro poderá utilizar este bailéu nos trabalhos de intervenção, e a sua utilização deverá ser solicitada à entidade contratante /entidade gestora de Aqueduto. O empreiteiro deverá solicitar as fichas técnicas do manual de operação, para avaliar a utilização do bailéu.

Na eventualidade de ser identificado algum condicionalismo até ao início da obra que impeça a utilização do meio de acesso previsto em projecto de execução, o

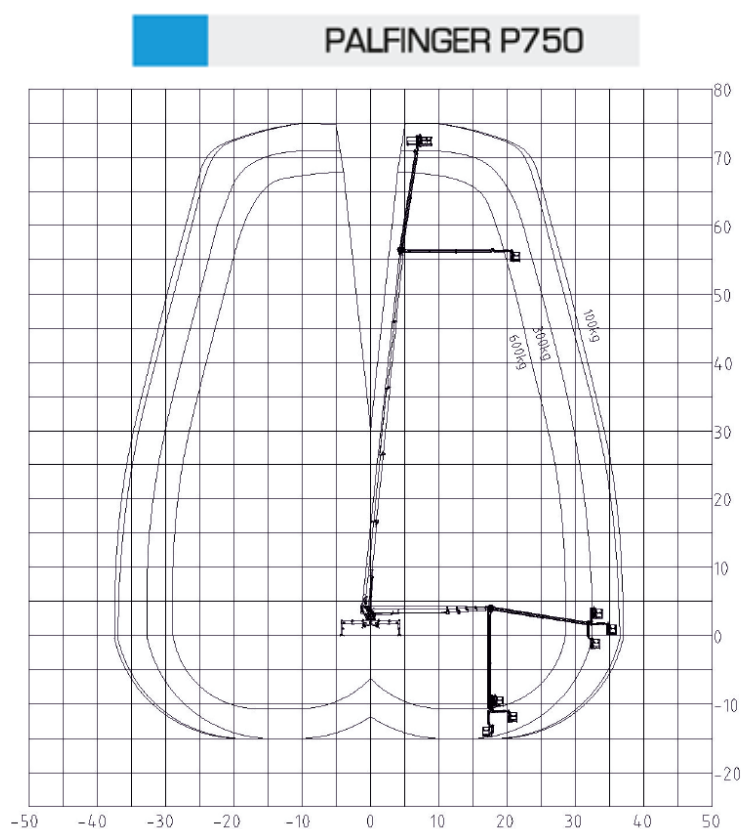
empreiteiro deverá propor uma solução e/ou soluções alternativas à equipa projectista para validação por parte da mesma. Todas as soluções propostas devem estar de acordo com os pressupostos e condicionalismos do projecto e permitir a implantação da solução prevista em projecto, e em particular todos os trabalhos que a compõem.

Note-se que todo o trabalho, deveram ter o apoio e acompanhamento de uma equipa de Arqueologia e uma equipa de Conservação e restauro, desde o começo do trabalho até à conclusão das tarefas executadas.

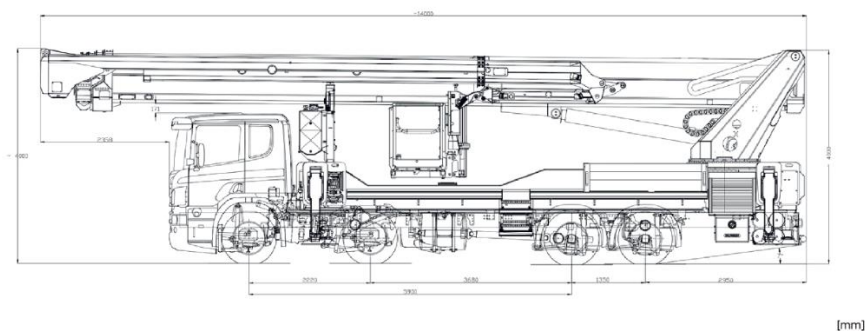
03.3.2 | Dados técnicos do equipamento

Relativamente às características técnicas da autoplateforma comercial do tipo Autoplateforma Palfinger P750 ou equivalente, na Figura 10 apresentam-se os dados técnicos e diagramas de carga do equipamento. Refere-se que a realização de trabalhos com equipamento pesado de características especiais requer um maior tempo de planeamento dos trabalhos junto das entidades fornecedoras.

Note-se ainda que é pretendido elevar uma carga (com o peso total máximo de 3,0kN) em segurança até um alcance horizontal e vertical de cerca de 30,0m.



a) mapa de alcance /capacidade (dados técnicos fornecidos)



Características técnicas:

Dimensão do cesto:	3,81x1,04x1,10m
Capacidade do cesto:	600Kg (6,0kN)
Altura plataforma /trabalho	73m / 75m
Alcance horizontal	39m
Altura da autoplateforma:	4,0m
Comprimento da autoplateforma:	14m
Peso da autoplateforma:	31800kg

Figura 10 - Dados técnicos da Autoplateforma Palfinger P750 ou equivalente.

03.3.3 | Solução proposta e condicionamento previsto

Previamente ao início dos trabalhos deverão ser requisitadas todas as autorizações e licenças necessárias e deverá ser realizada a requisição e análise do cadastro/levantamento das redes de serviços de água, esgotos, energia eléctrica, gás e outros, da Rua 12, por forma a planear a mobilização da autoplateforma para o local e a sua imobilização junto ao Aqueduto. Este trabalho deve incluir todas as diligências relativas ao Plano de Sinalização Temporária necessário para a realização da intervenção.

Para a realização dos trabalhos e para a mobilização e desmobilização da autoplateforma, na zona próxima do Módulo 29 do Aqueduto das Águas Livres, será necessário o corte total da circulação na Rua 12, durante o período de intervenção, (Figura 11). Prevê-se ainda que não poderá haver veículos estacionados na Rua 12, pelo lado Sudoeste do Aqueduto das Águas Livres, nos dias de mobilização e desmobilização da autoplateforma.

Prevê-se que o acesso ao local de estabilização da autoplateforma será efectuado no sentido: Avenida Calouste Gulbenkian - Rua Calçada Estação - Rua 12, para que seja possível posicionar a autoplateforma no lado Sudoeste do Aqueduto das Águas Livres (Figura 11a). Prevê-se também que a desmobilização da autoplateforma poderá ser realizado no sentido inverso (eventualmente em marcha atrás por indisponibilidade de espaço para ser efectuada inversão de marcha). Esta estratégia deverá ser validada junto da empresa fornecedora e especialista neste tipo de meios.

Durante o período de realização dos trabalhos, a autoelevatória ficará imobilizada no arruamento da Rua 12, junto ao lado Sudoeste do Aqueduto das Águas Livres (conforme representado na Figura 11).

Deverá ser criado um perímetro de segurança (Figura 11a) com corte total do arruamento da Rua 12 (faixa de rodagem, estacionamento e passeio), para garantir a segurança dos trabalhos de manobra da autoelevatória. A dimensão do perímetro de segurança deve ser estudada no local, juntamente com as restantes condicionantes da autoelevatória. Estima-se um perímetro de segurança desde o eixo do Aqueduto das Águas Livres até um afastamento de 40,0m (Figura 11a) do Aqueduto. No lado Nordeste, a via do arruamento da Rua 12 também deverá ser cortada, estimando-se um afastamento de 5,0m do Aqueduto.

Todas as operações que envolvam restrições de circulação e estacionamento e corte de vias, devem ser efectuadas com o devido licenciamento e o apoio da polícia.

A estabilização da autoelevatória é garantida através de pontos de apoio ao solo, sobre a via de circulação automóvel, estacionamentos e passeio pedonal. Para prevenir danos nos pontos de apoio, será necessário proteger o pavimento/passeio, por exemplo, através da colocação de uma chapa metálica.

Caso seja incontornável o apoio sobre infraestruturas existentes na zona, por forma a acautelar eventuais danos, prevê-se que o executante utilize elemento rígidos de distribuição de cargas nos apoios ao solo da autoelevatória (por exemplo com vigas em perfil metálico e chapa metálica), para desvio das cargas para zona sem passagem de redes de infraestruturas. Esta estrutura pode ser dispensada se: (i) o cadastro/levantamento das redes de serviços levar a concluir que não existem infra-estruturas a passar na zona de apoio da autoelevatória ao terreno. Na incerteza de qualidade do terreno de apoio da autoelevatória, será mantida a colocação do elemento rígido de distribuição de carga.

Todos os danos que possam ocorrer nos arruamentos, passeios, infra-estruturas, etc..., devem ser reparados e repostos pela entidade executante.

Devido ao corte dos passeios, deverá ser garantida a circulação dos peões em condições de segurança, e como tal deve ser criado um acesso provisório pelo lado Este do perímetro de segurança.

Refere-se ainda que poderá eventualmente haver a necessidade de podar ligeiramente a árvore próxima do local de manuseamento da autoelevatória.



Legenda:

-  - zona de trabalho
-  - zona de permanência\imobilização da autoplateforma
-  - perímetro de segurança, com corte total de via (passeios, estacionamento e circulação de veículos)
-  - sentido de chegada
-  - sentido de saída
-  - acesso provisório para circulação de peões

a) Esquema de planta de acesso (sem escala). Elemento indicativo que deve ser posteriormente validado e trabalhado com a empresa especializada que fornece e opera os meios.



b) Esquema de zona de permanência da autoplateforma

Figura 11 - Metodologia para meio de acesso ao bloco a reforçar no intradorso do arco (Módulo 29), com recurso a uma autoplateforma comercial.

03.3.4 | Plano de trabalhos

O plano de trabalhos da empreitada deverá incluir as seguintes tarefas e encargos:

- Fornecimento, mobilização e desmobilização do equipamento necessário à realização da intervenção, do tipo Autoplataforma Palfinger P750 ou equivalente, desde que permita o acesso à zona de intervenção e que permita a realização da mesma). A metodologia de mobilização, desmobilização e fixação da autoplataforma deverá ser estudada em conjunto com empresa especializada previamente à instalação, em função das condições do local, dos pesos a transportar, garantindo um comportamento satisfatório em termos de resistência mecânica, de estabilidade e de segurança a todos os operários que a utilizam e de todos os transeuntes.
- Solicitar e suportar os custos de todas as licenças e autorizações necessárias à realização dos trabalhos. Deverá incluir o requerimento de licença, e custos associados, de condicionamento de trânsito nas ruas de acesso à obra para o tempo de mobilização, permanência e desmobilização da autoplataforma.
- A reposição das condições do arruamento (incluindo estacionamento e passeios) anteriormente à mobilização dos equipamentos, nomeadamente a reparação de danos nos arruamentos, estacionamento e passeios, entre outros que sejam necessários e que decorreram dos trabalhos afectos a este projecto.
- Suportar quaisquer indemnizações necessárias ou decorrentes da execução dos trabalhos.
- Elaboração e análise atempada de cadastros de infra-estruturas existentes no local de mobilização da autoplataforma, tendo particular atenção aos pontos de apoio da autoplataforma no solo. Os locais de apoio sobre o solo em que existam dúvidas acerca da localização de infraestruturas, ou que se confirma a sua existência, deverão ser reforçados e protegidos com elementos rígidos de distribuição de carga (ex: perfis metálicos e chapa metálicas de protecção), que impeçam a ocorrência de danos, tanto nas infraestruturas como nos próprios revestimentos e acabamentos dos arruamento e passeios. O fornecimento deste tipo de elementos está incluído na empreitada.
- Assegurar as condições de acessibilidade necessárias à correcta mobilização da autoplataforma.

- Assegurar um perímetro de segurança e espaço para o correcto manuseamento da autoplateforma e dos trabalhos envolvidos na realização da solução estrutural de reforço do bloco.

No condicionamento de trânsito, a empreitada deverá assegurar:

- A elaboração do requerimento de condicionamento de trânsito junto dos serviços municipais para o transporte, permanência e remoção da autoplateforma necessária à execução dos trabalhos e o requerimento do policiamento nos dias de ocupação da via pública.
- Elaboração da Memória Descritiva e outros documentos necessários para anexação ao requerimento.
- Os custos associados ao requerimento da licença de condicionamento de trânsito e policiamento.
- Comunicação de início dos trabalhos às entidades competentes e as entidades gestoras do Aqueduto.
- Planeamento dos trabalhos de preparação e obtenção da licença de condicionamento de trânsito, com os serviços municipais e policiamento, comunicado os prazos e datas a entidade contratante.

Por fim, refere-se que, na eventualidade de não ser possível a mobilização do tipo de autoplateforma prevista, todas as soluções de acesso alternativas a propor pela entidade executante deve incluir todas as permissões e custear todos os encargos associados a essa solução, à semelhança da metodologia anteriormente descrita.

04 | Medidas de Conservação e Restauro

Conforme referido anteriormente, o tratamento e estabilização das restantes patologias relacionadas com durabilidade e degradação material, as quais são transversais a todo o Aqueduto, deverão ser realizadas no âmbito de uma intervenção mais alargada ao Aqueduto. No entanto, a pedido do contratante, e com o objectivo de evidenciar a zona de intervenção, foi considerado no âmbito deste trabalho a realização da limpeza e tratamento destas patologias. Esta acção será realizada conforme referido nas medidas de Conservação e Restauro presentes nas Condições Técnicas do presente projecto, e numa área máxima de 1,5mx1,5m (2,25m²) em torno ao bloco a reforçar.

No âmbito dos trabalhos no âmbito da Conservação e Restauro constantes nas Condições Técnicas, serão realizados os seguintes trabalhos:

- Limpeza e tratamento das patologias relacionadas com durabilidade e degradação material numa área máxima de 1,5mx1,5m (2,25m²) em torno ao bloco a reforçar, de acordo com o descritivo previsto nas condições técnicas de Conservação e Restauro;
- Acompanhamento de uma equipa de Conservação e Restauro em todos os trabalhos de intervenção no Aqueduto, desde início do trabalho de prospecção no caminho de ronda, aplicação do reforço e selagem, aplicação do sistema de monitorização, até ao trabalho final de reposição do lajeado de pedra do caminho de ronda e selagem das juntas.
- Note-se que todos os trabalhos de intervenção no Aqueduto, deveram ter o apoio e acompanhamento de uma equipa de Arqueologia.
- Elaboração dos trabalhos preparatórios e do relatório final de intervenção ao abrigo da DL140/2009 pela equipa de Conservação e Restauro, e caso seja solicitado pelas entidades competentes, deve incluir-se a elaboração de relatório intercalar. Ver especificações da elaboração do relatório de acordo com as Condições Técnicas do Anexo 02.

Note-se que todos os trabalhos de intervenção no Aqueduto deverão ter o apoio e acompanhamento de uma equipa de Arqueologia, que deverá acompanhar a equipa de Conservação e Restauro.

05 | Plano de monitorização local

Para além das soluções activas de intervenção anteriormente descritas, será importante a implementação de um sistema de monitorização estático, para o controlo da evolução do movimento dos blocos e das juntas abertas na zona alvo de intervenção.

Com o intuito de implementar o sistema de monitorização estático, é necessário elaborar o Plano de monitorização local, fornecer e aplicar todo o sistema de monitorização estática no local, de acordo com os pontos descritos abaixo neste capítulo 05|.

O Plano de monitorização local deve ser elaborado no início de trabalhos de planeamento da empreitada, e ser comunicado a equipa contratante para obtenção da aprovação.

05.1 | Sistema de instrumentação

O sistema de monitorização a implementar deverá ser dotado de alguma redundância, devido aos custos envolvidos no acesso ao sistema em caso de avaria. Como tal, propõe-se que o sistema deva ser composto por 4 transdutores de movimento, cujo objectivo é medir os movimentos relativos das juntas e blocos na zona onde ocorre maior penetração de água e, consequente, maior lavagem de enchimento e argamassa das juntas, potenciando assim o movimento dos blocos. Para além dos transdutores de movimento deverá ser instalado um sensor de humidade e temperatura que permita contabilizar a influência destes factores no tratamento dos resultados obtidos.

A lista de equipamentos considerados no presente plano é a seguinte:

- 4 transdutores de movimento;
- 1 sensor de humidade e temperatura;
- Sistema de aquisição e transmissão de dados.

A localização dos equipamentos deve ser estudada e ajustada em fase de trabalhos, de acordo com o seguinte critério:

- Colocação de 2 transdutores de movimento, 1 sensor de humidade e temperatura, na zona do bloco de reforço do intradorso do arco;
- Colocação de 2 transdutores de movimento na face lateral do Aqueduto, e à zona de fissuração intervencionada (em particular das mais pronunciadas);

- Colocação do sistema de aquisição e transmissão de dados na zona do caminho de ronda ou no interior do lanternim/respiradouro na galeria (no nível superior do Aqueduto) mais próxima da zona alvo de intervenção. De qualquer forma, este sistema de aquisição deve ser devidamente sinalizado e protegido. O sistema deve também ser acessível para que seja possível realizar operações de manutenção, sempre que necessário.

A colocação do sistema deverá ser feita após a conclusão dos trabalhos de reforço do bloco no intradorso do arco.

A localização dos equipamentos na estrutura deve ser proposta pela entidade executante, seguindo o descrito nos pontos anteriores, para validação por parte da equipa projectista.

05.2 | Características dos sensores estáticos

Os transdutores de movimento deverão ter uma sensibilidade de **0,01mm** ou inferior e deverão ter um campo de leitura de **50mm (+/- 25mm)**.

O sensor de temperatura deverá ter características que lhe permitam funcionar no exterior, nomeadamente **IP65**. Deverá ter uma sensibilidade de **0,1°C** ou inferior e deverá ter um campo de leitura de **-30°C a +70°C**.

O sistema de aquisição estático deverá ser capaz de efectuar o registo contínuo. Estes valores poderão ser ajustados durante a monitorização ou fase de calibração, caso se justifique, desde que devidamente validado e autorizado pela entidade contratante.

05.3 | Periodicidade e apresentação de relatórios técnicos

O sistema de aquisição deverá ser de leitura contínua e com a capacidade de enviar a informação remotamente, e deve incluir todos os materiais, equipamento e acessórios necessários ao seu correcto funcionamento e ligação aos sensores indicados.

O sistema de monitorização deverá ser aplicado após a intervenção terminar, e deverá ser mantido por um período mínimo de 3 anos. Durante o período de monitorização devem ser apresentados relatórios técnicos periódicos mensais de evolução dos deslocamentos dos pontos de leitura e um relatório final com todo o historial. No final do tempo de monitorização, o relatório deverá ser analisado pelas entidades gestoras do Aqueduto, por forma, a concluir a pertinência da manutenção do sistema de monitorização.

Os relatórios técnicos periódicos e o relatório final devem ser enviados para as entidades gestoras do Aqueduto.

05.4 | Aquisição e transmissão de dados

O sistema de monitorização, deverá ser um sistema de leitura contínua, com transmissão remota de dados. Assim, o sistema deverá permitir que a qualquer instante existam leituras dos vários sensores, e que essas leituras sejam transmitidas de forma remota, através de uma rede de internet. Através dessa mesma rede, deverá ser feito o backup automático das leituras efectuadas. O sistema deverá incluir um Modem Router 3G/4G que permita desempenhar as funções atrás descritas. O fornecimento e os custos associados à rede de internet são da responsabilidade da entidade executante.

Note-se ainda que todo o sistema necessitará de alimentação eléctrica, pelo que esta deverá ser solicitada às entidades gestoras do Aqueduto. Alternativamente, e caso não exista alimentação eléctrica da rede, deverá ser previsto um sistema de alimentação eléctrica com base em painéis solares e nunca com geradores, também ao cargo da entidade executante. Note-se que o sistema deve estar munido de uma bateria UPS (fonte de alimentação ininterrupta) que alimente os dispositivos a ele ligados caso hajam interrupções de energia.

05.5 | Manutenção do sistema de monitorização

A entidade executante é responsável por manter o sistema em funcionamento durante o tempo contratualizado e como tal, é do seu encargo todos os custos de material, meios e pessoas que possam ser necessários para a reparação de qualquer avaria ou interrupção das leituras.

05.6 | Critérios de alerta

Os critérios de alerta deverão ter por base o registo de deslocamentos de uma forma contínua, gravando sempre os valores máximos horários e diários, e deverão ser calibrados através de um primeiro período de leitura que se estima de 2 meses. Como valores iniciais para os referidos critérios, deverão ser assumidos os seguintes:

- Deslocamento diário máximo de 1,0cm;
- Deslocamento acumulado máximo de 2,0cm, ao longo do período de leitura.

Após esse período e a respectiva calibração, estes critérios deverão ser sujeitos a reavaliação pela entidade executante, em conjunto com a equipa projectista e a entidade contratante, com o objectivo de averiguar a necessidade de se ajustar os valores iniciais referenciados supra.

Note-se a importância do sistema de monitorização incluir, em simultâneo com a leitura transdutores de movimento, a leitura da temperatura e humidade do exterior na vizinhança do bloco a reforçar. Esta leitura é essencial para

permitir distinguir variações de deformação sazonais resultantes das condições higrótérmicas do local.

06 | Faseamento construtivo geral

A solução estrutural de reforço do bloco e os trabalhos complementares apresentados na presente memória, complementados com as peças desenhada anexas, deverão ser implementadas de acordo com o seguinte plano de trabalho/faseamento construtivo geral:

- Trabalho 1 - Realização de todos trabalhos e diligências necessários à mobilização e implementação das equipas, materiais e meios de acesso necessários, nomeadamente: (i) tratar dos pedidos e licenças de ocupação da via pública; (ii) realizar o levantamento de cadastro na zona de acção dos meios de acesso; (iii) planeamento da mobilização dos meios de acesso necessários; (iv) realizar intervenções relacionadas com a preparação da zona e\ou realização de eventuais desvios provisórios de infra-estruturas; (v) planeamento do cronograma de trabalhos, do aprovisionamento de materiais e da gestão das equipas de trabalho envolvidas na estrutura de reforço do bloco. Nesta fase deve ser realizado o levantamento topográfico, com estações topográficas por uma equipa especializada, com o objectivo de marcação topográfica dos pontos de entrada e saída do varão de ancoragem (com colocação de marcas/alvos topográficos a identificar os pontos) e validação os desenhos de projecto (espessura de alvenaria; comprimento da ancoragem; identificação e marcação dos pontos de entrada e saída da ancoragem) e informar a equipa que executa a ancoragem.

- Trabalho 2 - Elaboração do Plano de monitorização local, de acordo com o capítulo 05.

O Trabalho 2 deverá ocorrer em simultâneo com a Trabalho 1.

- Trabalho 3 - Realização de uma campanha de prospecção que passará por: (i) levantar o lajeado de pedra do caminho de ronda na zona onde será aplicado o reforço. Considerou-se uma área máxima de intervenção de aproximadamente 1,1mx1,5m (1,65m²), que corresponde ao levantamento de aproximadamente 3 pedras de pavimento, (estas dimensões serão ajustadas no local durante a fase de execução e mediante as condições existentes e os resultados que forem obtidos); (ii) realizar uma pequena escavação arqueológica, com os objectivos de, por um lado aferir o estado do material de enchimento do Aqueduto, e por outro preparar o negativo para aplicação do elemento contraste que ficará por baixo da estrutura do lajeado de pedra existente. Considerou-se uma profundidade máxima de escavação de 0,5m abaixo da laje de pavimento, (esta dimensão será ajustada no local durante a fase de execução e de acordo com as condições existentes e os resultados que forem obtidos). Nesta fase devem ser colocadas telas provisórias impermeáveis sobre a área de lajeado levantado, para protecção

do interior do Aqueduto. Estas telas provisórias devem ser mantidas até aos trabalhos finais de reposição do lajeado de pedra do caminho de ronda.

O Trabalho 3 deverá ocorrer em simultâneo com a Trabalho 1 e Trabalho 2.

- Trabalho 4 - Montagem do estaleiro.
- Trabalho 5 - Realização dos trabalhos preparatórios, planeamento e aprovisionamento de materiais.
- Trabalho 6 - Mobilização dos meios necessários para implementação da solução estrutural de reforço do bloco: Prevê-se o acesso à zona de reforço com recurso a uma autoelevatória comercial com curso e capacidade de carga para duas pessoas e o material necessário à carotagem e selagem dos varões de reforço (estimando-se com um peso total de 3,0kN). Os trabalhos nesta fase são descritos no capítulo 03.
- Trabalho 7 - Realizar o reforço e implementar medidas adicionais de selagem e colmatação de juntas e fissuras (os trabalhos nesta fase são descritos no capítulo 03):
 - i. Trabalho 7.1 - Execução da solução de reforço estrutural do bloco, através da sua ancoragem com um varão roscado em aço inox envolto em uma manga injectável e chapas de contraste, em aço inox classe 316L (classe 1.4404 - segundo EN 10088) em ambas as extremidades.
 - ii. Trabalho 7.2 - Colmatação e selagem das juntas e fissuras (em particular das mais pronunciadas) nas faces laterais do Aqueduto, na junto à zona de intervenção, com recurso a argamassas à base de cal hidráulica, compatíveis com pré-existência. Para o acesso às faces laterais do Aqueduto, o empreiteiro deve avaliar os meios que achar necessário, que poderá passar pela utilização de uma equipa de alpinistas ou outros meios (salienta-se que o empreiteiro poderá utilizar o bailéu existente no Aqueduto, que deverá ser solicitado à entidade contratante). Os trabalhos desta fase são descritos no capítulo 03 e nas Condições Técnicas.
 - iii. Trabalho 7.3 - Realizar a limpeza e tratamento das patologias relacionadas com durabilidade e degradação material. Esta acção será realizada numa área máxima de 1,5mx1,5m (2,25m²) em torno ao bloco a reforçar. Esta acção foi requisitada pelo contratante com o objectivo de evidenciar a zona de intervenção. Os trabalhos nesta fase são descritos no capítulo 04 e nas Condições Técnicas.
- Trabalho 8 - Aplicar o sistema de monitorização local com o objectivo de controlar a evolução do movimento dos blocos e das juntas abertas na zona

alvo de intervenção e que apresenta patologias, de acordo com o capítulo 05.

- Trabalho 9 - Desmobilização dos materiais e meios necessários para realização da solução estrutural de reforço do bloco, nomeadamente: (i) desmobilização das equipas de trabalho e dos meios de acesso envolvidas nos trabalhos (autoplataforma comercial e/ou outros).
- Trabalho 10 - Reposição do lajeado de pedra do caminho de ronda, com acompanhamento da equipa arqueológica e de Conservação e Restauro. No final do trabalho deverá ser fornecido um relatório final elaborado pela equipa de Arqueologia e um relatório final elaborado pela equipa de Conservação e Restauro, ao abrigo da DL140/2009 pela equipa de Conservação e Restauro, e caso seja solicitado pelas entidades competentes, deve-se inclui-se a elaboração de relatório intercalar.
- Trabalho 11 - Colmatação e selagem das juntas e fissuras dos caminhos de ronda do módulo 29. Os trabalhos nesta fase são descritos no capítulo 03.2.
- Trabalho 12 - Acompanhamento da equipa de Arqueologia e da equipa Conservação e Restauro. Note-se que todos os trabalhos de intervenção no Aqueduto, deveram ter o apoio e acompanhamento de uma equipa de Arqueologia e uma equipa de Conservação e Restauro, desde início do trabalho de prospecção no caminho de ronda, aplicação do reforço e selagem, aplicação do sistema de motorização, até ao trabalho final de reposição do lajeado de pedra do caminho de ronda e selagem das juntas.

Note-se que deverá ser elaborado um Relatório Técnico De Intervenção, que conste o registo escrito, gráfico e fotográfico de toda a intervenção onde constem, de forma cronológica, as principais operações realizadas, e que inclua em anexo os relatórios técnicos de Arqueologia e da equipa Conservação e Restauro, de acordo com as indicações constates nas Condições Técnicas, anexas a esta memória.

07 | Considerações finais

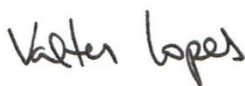
A presente Memória Descritiva correspondente à Fase II - Projecto de Execução realizada pelo NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património Lda., integra-se no procedimento lançado pela EPAL (Empresa Portuguesa das águas Livres, S.A.) relativo à Aquisição de serviços para a "Elaboração do projecto de execução para reparação da patologia verificada no intradorso de um dos arcos do Aqueduto das Águas Livres (bloco do módulo 29)".

A solução estrutural do reforço do bloco em causa, por actuar sobre património arquitectónico classificado de grande valor patrimonial e histórico, deve ser considerada dentro dos parâmetros da actividade de Conservação e Restauro. Nesse sentido, a intervenção deverá ser realizada por um empreiteiro com experiência e valia técnica comprovadas na área da consolidação estrutural e da Conservação e Restauro, devendo todos os trabalhos ser realizados por pessoal técnico especializado nesta área.

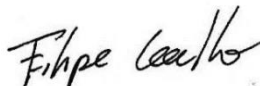
Porto, Abril de 2021



Bruno Quelhas
Eng. Civil



Valter Lopes
Eng. Civil



Filipe Coelho
Eng. Civil



Jorge Soares
Eng. Civil