



**XVII CONGRESSO
NACIONAL DE GEOTECNIA**

A Geo, as ciências e a tecnologia

**X CONGRESSO
LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA**

Segurança de obras geotécnicas

LISBOA 2021

**ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA OS TRABALHOS DE
RECONHECIMENTO A REALIZAR PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTE
HIDROGEOLÓGICO PRODUZIDO PELA CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS
SUBTERRÂNEAS EM ZONAS RIBEIRINHAS**

**METHODOLOGICAL APPROACH FOR THE SITE INVESTIGATION
PLANNING IN ORDER TO ASSESS THE HYDROGEOLOGICAL IMPACT
GENERATED BY UNDERGROUND IMPERMEABLE STRUCTURES IN
ALUVIAL AREAS**

Rute, Ramos, *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal,*
rramos@lnec.pt

Jeremias, Filipe Telmo, *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal,*
ftelmo@lnec.pt

Caldeira, Laura, *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal,*
laurac@lnec.pt

RESUMO

Durante a última década tem-se assistido a um aumento de estudos hidrogeológicos na cidade de Lisboa, em virtude da crescente ocupação do espaço subterrâneo (com caves e túneis).

A presença de estruturas impermeáveis no subsolo intercetando o escoamento, pode causar subidas do nível de água a montante e descidas a jusante, e contribuir para o aumento do risco de inundação na zona envolvente.

Para a avaliação do impacte hidrogeológico produzido pelas obras subterrâneas recorre-se a modelos numéricos do escoamento subterrâneo, sendo essencial existir um conjunto de informação sobre as características dos aquíferos intercetados pelas obras.

No presente trabalho propõe-se uma abordagem metodológica para o desenvolvimento dos trabalhos de reconhecimento geológico e hidrogeológico, e de observação, considerados necessários no âmbito deste tipo de estudos.

ABSTRACT

Over the last decade, the requests for site hydrogeological studies has been increased in the city of Lisbon, because of the growing occupation of underground space (with basements and tunnels).

An underground impermeable structure, cutting the direction of the flow, may generate rising water levels upstream and low levels downstream, which can increase the risk of flooding around the structure.

For the hydrogeological impact assessment produced by an underground construction, it is often used numerical models for simulating groundwater conditions and, therefore, it is essential to have a set of information on the characteristics of the ground and of the aquifers intercepted by the construction works.

The purpose of this work is to present a methodological approach for the planning of the engineering geological and hydrogeological site investigation and monitoring works required to perform this type of studies.

1. INTRODUÇÃO

Durante a última década tem-se assistido a um aumento de estudos hidrogeológicos na cidade de Lisboa, em virtude da crescente ocupação do espaço subterrâneo (com caves e túneis). Na sequência do desenvolvimento urbano de Lisboa, o município passou a requerer, em determinadas zonas da cidade, a realização de estudos hidrogeológicos no âmbito do processo de licenciamento das obras subterrâneas, bem como a comprovação de que as soluções de engenharia projetadas (de contenção periférica e estrutural) não irão afetar o sistema de drenagem natural, principalmente, nas zonas ribeirinhas (aluvionares) suscetíveis ao efeito da maré (e.g. Plano de Urbanização de Alcântara (PUA) e Plano de Pormenor do Aterro da Boavista). A presença de estruturas impermeáveis no subsolo, que intercetam o escoamento, podem causar subidas do nível de água a montante e descidas a jusante e contribuir para o aumento do risco de inundação na zona envolvente à obra.

O projeto de obras subterrâneas em zonas ribeirinhas inclui, em geral, a construção de contenções periféricas prolongadas até ao substrato rochoso, independentemente do número de pisos subterrâneos a construir ou da cota da base dos túneis, sendo, portanto, fundamental caracterizar, além dos depósitos aluvionares, também o substrato rochoso.

Para a avaliação do impacto hidrogeológico produzido pelas obras subterrâneas recorre-se, frequentemente, a modelos numéricos do escoamento subterrâneo (Bonomi e Bellini, 2003; Ricci *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2009; Paris *et al.*, 2010; Pujades *et al.*, 2012), sendo essencial dispor de um conjunto de informação sobre as características geológicas e hidrogeológicas dos aquíferos intercetados pela obra a construir.

No presente trabalho propõe-se uma abordagem metodológica para a caracterização geológica e hidrogeológica dos locais em que a construção de pisos subterrâneos é suscetível de constituir uma barreira ao escoamento subterrâneo, podendo, como tal, originar impacto hidrogeológico. A metodologia proposta pretende, deste modo, identificar os elementos a obter, necessários para a realização deste tipo de estudos, visando a integração dos respetivos trabalhos, com a consequente otimização de custos, nas campanhas de reconhecimento geológico-geotécnico efetuadas habitualmente na caracterização dos maciços de fundação das obras.

2. ELEMENTOS NECESSÁRIOS PARA A REALIZAÇÃO DE ESTUDOS DE IMPACTE HIDROGEOLÓGICO

Na realização de um estudo de impacto hidrogeológico associado à construção de caves ou de uma obra subterrânea em zona ribeirinha/aluvionar considera-se essencial proceder, previamente, à realização das seguintes atividades:

- caracterização geológica dos depósitos aluvionares (composição, espessura das camadas e sua distribuição espacial);
- caracterização geológica do substrato rochoso (natureza, estrutura e sequência estratigráfica);
- determinação do coeficiente de permeabilidade dos depósitos aluvionares e das formações constituintes do substrato rochoso;
- determinação das pressões intersticiais e do sentido de fluxo nas formações aquíferas intercetadas pela globalidade da obra (designadamente através do conhecimento da sua solução estrutural e de contenção periférica);
- avaliação do efeito da maré.

Para a obtenção da informação geológica e hidrogeológica referida, recomenda-se a execução dos seguintes trabalhos de reconhecimento e de observação: a) sondagens de furação à rotação; b) sondagens de furação a trado (avanço a seco); c) recolha de amostras; d) ensaios de absorção de água; e) instalação de piezómetros; f) ensaios de bombagem e, g) monitorização dos níveis de água.

2.1. Sondagens para instalação de piezómetros

A definição das condições hidrogeológicas relativas ao local de um empreendimento/edifício parcialmente enterrado, requer a realização, no mínimo, de três sondagens, procedendo-se nestes furos à instalação de piezómetros. Os requisitos a observar na seleção dos locais para instalação dos piezómetros incluem os seguintes aspetos:

- distribuição não colinear visando a determinação das direções de escoamento subterrâneo;
- localização preferencial no exterior da estrutura de contenção periférica, visando a recolha de informação numa área mais alargada do que, unicamente, a zona de intervenção, e viabilizando a monitorização dos níveis de água nas diversas fases da obra, designadamente, após a construção;
- caracterização das áreas situadas a montante e a jusante da estrutura de contenção periférica.

No que se refere às características a considerar nas sondagens a executar para os estudos hidrogeológicos indicam-se as seguintes:

- comprimento suficiente para permitir a definição das condições geológicas locais, designadamente no que diz respeito à distribuição espacial dos depósitos superficiais (aterros e aluviões) e das formações constituintes do substrato rochoso pouco a medianamente alterado numa espessura mínima de 6 m;
- diâmetro adequado ao número e diâmetro de tubos piezométricos a instalar.

Por sua vez, os aspetos a considerar no modo de execução das sondagens incluem:

- interdição da utilização de produtos que alterem a permeabilidade dos geomateriais, em particular de bentonite, admitindo-se, no entanto, o uso de polímeros de degradação rápida, sendo necessário, na sequência da sua aplicação e previamente à realização de ensaios de absorção de água e/ou da instalação de piezómetros, a limpeza dos furos com circulação intensa de água;
- furação à rotação, em zonas aluvionares onde predominem solos de composição arenosa, dado que este tipo de solos apresenta permeabilidade média a elevada, permitindo, assim, a dissipação das pressões de água no decorrer do avanço da sondagem;
- furação realizada a seco, designadamente com recurso a trado até ao limite da capacidade do equipamento, em zonas aluvionares com composição predominantemente argilosa, caracterizadas por permeabilidade baixa a muito baixa, de modo a evitar o aumento da pressão intersticial nos solos;
- furação à rotação nas formações com carácter rochoso, com amostragem contínua;
- entubamento nos trechos sobrejacentes à interface depósitos aluvionares/substrato rochoso, para impedir o colapso das paredes do furo, bem como o aumento das pressões intersticiais nos solos de composição silto-argilosa presentes.

Na Figura 1 apresenta-se a distribuição dos locais selecionados para a instalação de piezómetros numa zona ribeirinha onde estava previsto a construção de edifícios com caves, para definição das condições hidrogeológicas ocorrentes previamente às obras.

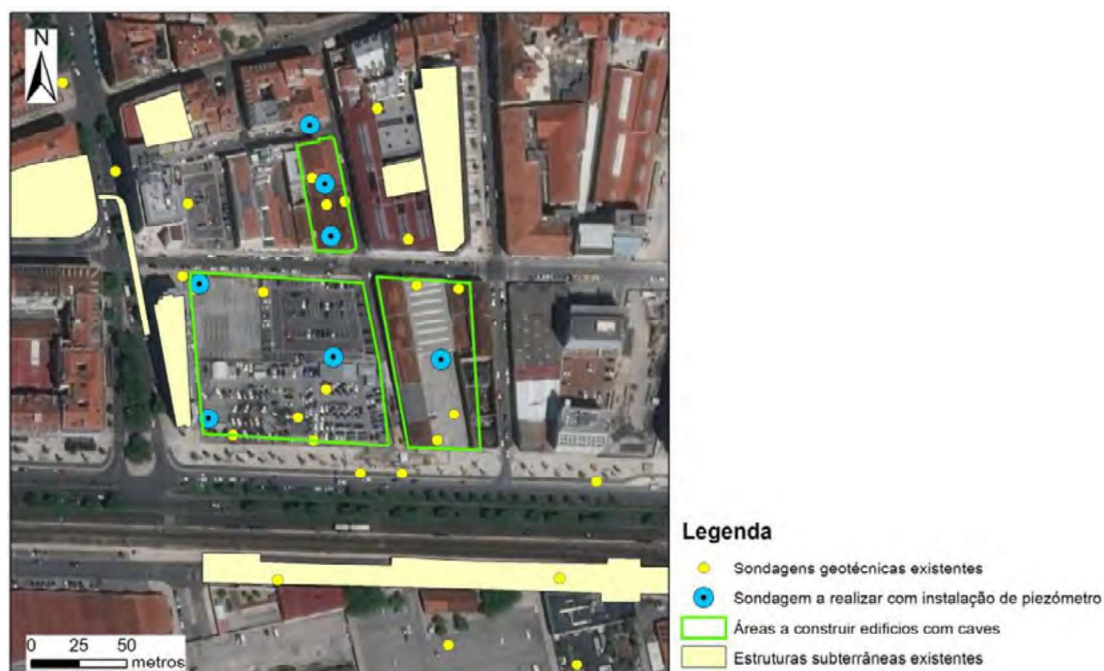


Figura 1 – Localização dos sítios de sondagem recomendados para instalação de piezómetros numa zona ribeirinha a construir edifícios com caves

Após análise da informação relativa aos trabalhos de reconhecimento e de observação previamente existentes na área de estudo, constatou-se que os piezómetros associados a esses trabalhos apresentavam câmaras de tomada de pressão a interseção de formações distintas, o que impossibilitava a determinação dos níveis de água e do sentido de escoamento em cada uma das formações aquíferas interessadas pelas obras. Para além disso, a reduzida profundidade das sondagens não permitia, igualmente, uma adequada caracterização geológica das áreas afetadas pelas obras.

Assim, face aos condicionalismos identificados na área de estudo, nomeadamente, edificado denso, presença de infraestruturas, constrangimentos de ordem temporal para licenciamento de trabalhos de reconhecimento no exterior das zonas de intervenção das obras, definiu-se, para a fase de projeto, um conjunto de 7 locais de sondagem (a realizar a trado, nos solos, e à rotação, nas formações rochosas, com recolha de amostras para identificação litológica), identificado na Figura 1, para posterior instalação de piezómetros. Foram definidos piezómetros duplos (em dois locais) e piezómetros triplos (em 5 locais), em função do número de formações aquíferas que as estruturas a construir iriam interceder nos locais selecionados. As localizações recomendadas e o número de câmaras de tomada de pressão, em cada local, permitiram caracterizar adequadamente três formações aquíferas com distribuições espaciais muito distintas.

2.2. Recolha de amostras

A definição das condições geológicas locais, necessária para o desenvolvimento dos estudos hidrogeológicos, baseia-se na amostragem, em geral de carácter contínuo, recolhida nas sondagens incluídas no programa de reconhecimento. Nos depósitos

aluvionares, quando a percentagem de recuperação é baixa, a amostragem obtida nos ensaios SPT pode constituir uma boa alternativa para a caracterização expedita dos solos e, eventualmente, para a execução de ensaios laboratoriais de identificação, designadamente, de análises granulométricas expeditas.

Constituindo o modelo geológico/litológico o elemento base para a criação do modelo numérico hidrogeológico, torna-se essencial reconhecer um conjunto de informações sobre as características litológicas dos materiais. O conhecimento litológico é, ainda, de primordial importância na análise da solução obtida no modelo numérico do escoamento subterrâneo, durante o processo de calibração, dado que permite justificar, muitas vezes, potenciais hidráulicos que, à primeira vista, podem parecer erróneos.

2.3. Ensaios *in situ* de absorção de água

A caracterização da condutividade hidráulica, a partir de valores discretos, dos materiais litológicos intercetados por uma obra subterrânea, baseia-se, habitualmente, nos resultados obtidos em ensaios de absorção de água, efetuados em curso de furação ou após a finalização da sondagem, com auxílio de obturador simples ou duplo. De notar que a realização destes ensaios acima do nível freático reveste-se de grandes dificuldades, por ser necessário assegurar previamente a saturação da zona de ensaio. Em regra, são executados, no mínimo, um ensaio de absorção de água nos depósitos superficiais e outro nas formações do substrato, por sondagem.

Os ensaios interessando os depósitos aluvionares, a realizar preferencialmente nos níveis mais permeáveis (de composição arenosa), são, com frequência, efetuados em curso de furação, por, em geral, não ser possível garantir a integridade das paredes do furo. Para a execução dos ensaios nestas condições, recorre-se, geralmente, à instalação de um obturador à profundidade selecionada para a realização do respetivo ensaio no fundo do furo (sem a execução de uma cavidade). Nas formações de carácter rochoso, os ensaios são realizados, em regra, no final dos trabalhos de furação, uma vez que, habitualmente, não apresentam problemas de estabilidade das paredes do furo, permitindo, assim, com base no perfil individual de sondagem reconhecido, seleccionar o trecho a ensaiar com 2 a 3 m de comprimento e associado a zona(s) mais fraturada(s) do maciço, posteriormente individualizado com recurso a obturador duplo.

A realização dos ensaios de absorção de água do tipo Lefranc encontra-se descrita na norma ISO 22282-2:2012, e inclui os dois modos de execução mais frequentemente utilizados em função das características dos materiais, nomeadamente, do coeficiente de permeabilidade: carga constante ou carga variável. Este tipo de ensaios permite avaliar localmente a condutividade hidráulica dos depósitos superficiais e das formações com carácter rochoso com a aplicação de um pequeno excesso de pressão de água (os ensaios realizam-se sujeitos apenas a pressões de água gravíticas), sendo, deste modo, pouco suscetível a ocorrência de fenómenos de fracturação hidráulica nos maciços ensaiados.

Salienta-se que, a aplicação de grandes excessos de pressão de água na câmara de ensaio não constitui uma mais valia na determinação da condutividade hidráulica dos maciços, que corresponde ao principal objetivo dos ensaios de absorção de água no âmbito de estudos hidrogeológicos, uma vez que a construção a executar não altera de forma significativa os potenciais hidráulicos prevalecentes no local.

2.4. Instalação de piezómetros

A instalação de piezómetros efetua-se após os trabalhos de furação e os ensaios *in situ* previstos em cada local de sondagem. Consistem em piezómetros hidráulicos, de tubo aberto, sendo os trechos selecionados para a instalação das câmaras de tomada de pressão de água definidos com base no perfil individual de sondagem reconhecido previamente. No âmbito dos estudos hidrogeológicos em causa selecionam-se, geralmente, as zonas mais permeáveis, dos depósitos superficiais e das formações com carácter rochoso que constituem o substrato. Em regra, procede-se, no mesmo furo, à instalação de duas câmaras de tomada de pressão (piezómetro duplo), para a medição das pressões intersticiais de água a diferentes profundidades, designadamente, na aluvião e no substrato rochoso.

Os principais aspetos a considerar na instalação de piezómetros são os seguintes:

- definição do diâmetro do piezómetro a instalar em terrenos de permeabilidade média a elevada, em função do tipo de registo de níveis de água a efetuar, manual (com sonda piezométrica) ou automático (com recurso a transdutores de pressão);
- remoção dos detritos de furação (limpeza do furo); na impossibilidade de realização desta operação, é importante assegurar o esgotamento da água da câmara do piezómetro, após a sua instalação, com recurso a ar comprimido ou a bombagem;
- instalação de tubos crepinados (ponteiros) numa extensão de 0,5 m, nos depósitos aluvionares, e entre 2 a 4 m, nas formações rochosas;
- instalação de ponteiros piezométricos do tipo LNEC, em solos de reduzida permeabilidade;
- materialização de câmaras de tomada de pressão constituídas por areia, com 1,5 m e entre 3 a 5 m de comprimento, respetivamente, nos depósitos aluvionares e nas formações rochosas;
- selagem das câmaras de tomada de pressão de água, com recurso a bentonite em *pellets* e impermeabilização dos trechos do furo, entre câmaras de tomada de pressão de água, com calda de cimento (e/ou material argiloso).

A análise conjunta do registo dos níveis de água, nos piezómetros com mais de uma câmara de tomada de pressão, permite verificar, por um lado, se existem níveis de água sob pressão no substrato rochoso, indiciando a presença de aquíferos confinados ou semi-confinados, que possam estar a influenciar os níveis de água superficiais ou, por outro lado, se os níveis de água estão afetados por ações antrópicas, como extrações de água (permanentes ou efémeras) em furos de bombagem, em sistemas de drenagem/bombagem instalados na base dos edifícios ou em obras a decorrer nas imediações da área de estudo.

A Figura 2 mostra o resultado de dois casos de estudo onde foram instalados piezómetros duplos em três locais, com câmaras de tomada de pressão de água na aluvião (nível arenoso) e no substrato rochoso. No caso de estudo da Figura 2a, constatou-se que os níveis de água no substrato apresentavam pressões mais elevadas que os níveis de água observados nos depósitos aluvionares, principalmente nos piezómetros Pz1 e Pz2, localizados mais a montante, facto que permitiu definir no modelo numérico um maior efeito de confinamento no substrato rochoso nesses locais. Por sua vez, no caso de estudo da Figura 2b, a análise dos níveis de água nos piezómetros duplos sugeriu que as pressões intersticiais na aluvião e no substrato rochoso são semelhantes, pelo que se concluiu que as duas formações apresentam conexão hidráulica. A exceção foi identificada no local do Pz2, onde os dados indicaram influência antrópica no nível de água no substrato rochoso (Pz2_subst), uma vez que se apresentava a cotas negativas (Figura 2b). Esta interpretação foi

corroborada posteriormente no terreno pela existência de um edifício, situado nas proximidades do piezómetro Pz2, com instalação de um sistema de drenagem/bombagem na base da laje, o qual foi incorporado no modelo numérico, viabilizando a sua calibração.

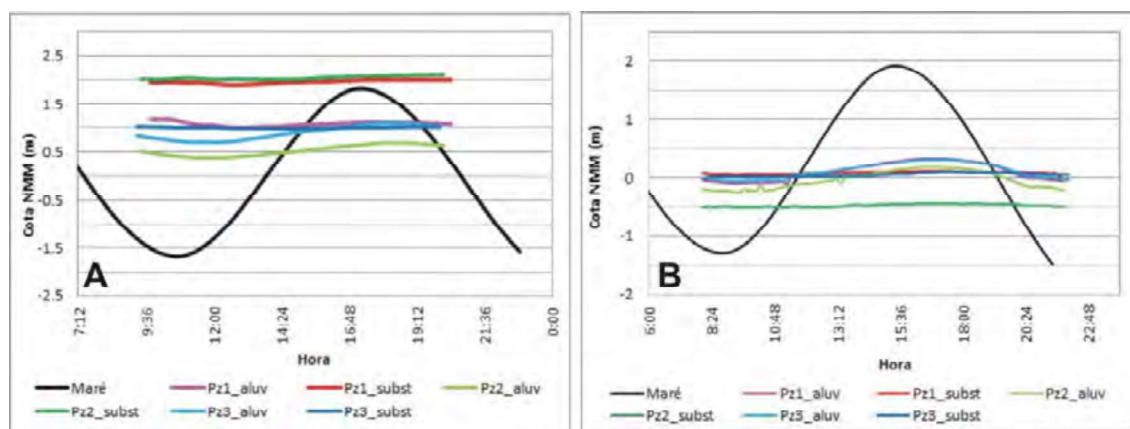


Figura 2 – Casos de estudo de registo de níveis de água em piezómetros duplos

2.5. Ensaios de bombagem

A caracterização da condutividade hidráulica dos terrenos, em termos médios, visando a determinação de valores representativos ao nível da área de implantação da obra, efetua-se, habitualmente, mediante a realização de ensaios de bombagem, a executar nos depósitos aluvionares e/ou nas formações rochosas constituintes do substrato. Face ao elevado custo destes ensaios, a sua realização justifica-se quando, após a análise dos resultados obtidos nos ensaios de absorção de água e nas campanhas de monitorização dos níveis de água, a permeabilidade dos materiais for média a elevada e não se identifiquem variações significativas dos níveis de água provocadas por ações antrópicas (produzidas por sistemas de bombagem instalados na proximidade), num intervalo de tempo correspondente à duração do ensaio de bombagem. Em geral, seleciona-se um ou mais locais para a sua realização, interessando diferentes unidades litológicas, podendo-se instalar no mesmo local, se as condições hidrogeológicas o permitirem, duas zonas de captação distintas (a diferentes profundidades).

Os principais aspetos a considerar no planeamento e na execução dos ensaios de bombagem são os seguintes:

- localização do furo de bombagem nas proximidades de, pelo menos, três piezómetros (existentes ou a executar para o efeito) com câmaras de tomada de pressão instaladas no aquífero a investigar, posicionados, de preferência, a diferentes distâncias do furo de bombagem, respeitando uma distância mínima ao mesmo de 5 m;
- realização dos ensaios de bombagem na aluvião e no substrato rochoso adotando um único furo com duas zonas de captação de água, devidamente isoladas, ou furos independentes, cada um com uma zona de captação dedicada a um aquífero específico;
- definição do diâmetro do poço de bombagem (não inferior a 250 mm) de acordo com o número de zonas de captação a desenvolver no mesmo, bem como da profundidade e do comprimento destas zonas (em regra entre 6 e 10 m);

- interdição da utilização, em quaisquer circunstâncias, de fluidos de perfuração ou de estabilização das paredes do furo que incluam bentonite ou outros produtos que alterem as propriedades hidráulicas dos materiais geológicos;
- definição das características do tubo de revestimento e do material filtrante (espessura e granulometria) na zona de captação, de modo a evitar o arraste de partículas das unidades litológicas atravessadas e a colmatação do filtro e das ranhuras dos tubos de captação durante a realização dos ensaios de bombagem e a permitir a entrada de água com o mínimo de perda de carga;
- remoção dos detritos de furação (limpeza do poço) e desenvolvimento do(s) poço(s) de bombagem, mediante a extração de água, em regime contínuo de sobre bombagem, com paragens e arranques do sistema de bombagem; em geral, estas operações dão-se por concluídas, quando a água extraída se apresenta isenta de material sólido em suspensão;
- monitorização do efeito de maré, nas zonas ribeirinhas, previamente ao início da bombagem, com leituras dos níveis de água no poço de bombagem e nos piezómetros de observação durante 24 h, por forma a viabilizar a correção daquele efeito na interpretação dos resultados dos ensaios de bombagem;
- definição do caudal de ensaio a adotar no período de bombagem, com duração mínima de 24 h;
- monitorização dos níveis hidrodinâmicos, no decurso das diversas fases dos ensaios de bombagem, no poço e nos piezómetros instalados, através de equipamentos de registo manual ou automático (*divers*);
- monitorização da qualidade da água extraída, no decurso dos ensaios de bombagem, mediante a determinação dos parâmetros temperatura, pH e condutividade elétrica.

A Figura 3 mostra um dispositivo de ensaio de bombagem implementado numa área de estudo, situada na zona ribeirinha de Lisboa, onde se selecionou um local para execução de um poço de bombagem, junto à sondagem S8, com uma zona de captação instalada no substrato rochoso. Para além dos piezómetros instalados nos locais das sondagens (simples e duplos), recomendou-se, em complemento, a instalação de um piezómetro adicional (no local S8A), a cerca de 5 m do poço de bombagem, com câmara de tomada de pressão posicionada à profundidade da zona de captação do furo. Os rebaixamentos do nível de água foram monitorizados de forma automática (através de *divers*) e manual no poço de bombagem e em 17 piezómetros de observação instalados nos locais S4, S5, S6, S7, S8A, S8, S9, S10, S11, S12, S13 e S14. Nos restantes locais (S1 a S3) não se procedeu ao registo dos níveis de água, uma vez que se localizavam a uma maior distância do poço de bombagem e não intersectavam a formação rochosa a investigar.

A análise da evolução dos níveis de água registados durante o ensaio de bombagem (Figura 3) permitiu constatar que: 1) a bombagem realizada não afetou os níveis de água de 9 piezómetros, uma vez que três se mantiveram constantes durante todo o ensaio e os outros seis refletiram o comportamento da maré; 2) apenas as curvas de campo obtidas no poço de bombagem e em 7 piezómetros de observação (instalados nos locais S7, S8, S8A, S9, S11 e S12) foram possíveis interpretar, tendo-se determinado valores médios de $3,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, de $3,2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ e de $7,6 \times 10^{-6}$, para a transmissividade (T), a condutividade hidráulica (k) e para o coeficiente de armazenamento (S), respetivamente.

A comparação dos resultados do ensaio de bombagem com os obtidos nos ensaios *in situ* de absorção de água, realizados em cada sondagem, permitiu constatar que a condutividade hidráulica do substrato rochoso obtida através da interpretação do ensaio de bombagem era, pelo menos, uma ordem de grandeza superior aos valores

determinados nos ensaios *in situ* de absorção de água. Esta diferença pode dever-se ao facto de os ensaios *in situ* de absorção de água apresentarem um carácter pontual, fornecendo, apenas, informação relativa aos troços ensaiados ao longo das sondagens, enquanto os ensaios de bombagem visam a caracterização dos parâmetros hidráulicos em termos locais, ao nível do volume de terreno existente entre os pontos de observação e o furo de bombagem. Deste modo, considerou-se que os resultados obtidos no ensaio de bombagem representavam melhor as propriedades hidráulicas da formação aquífera investigada.

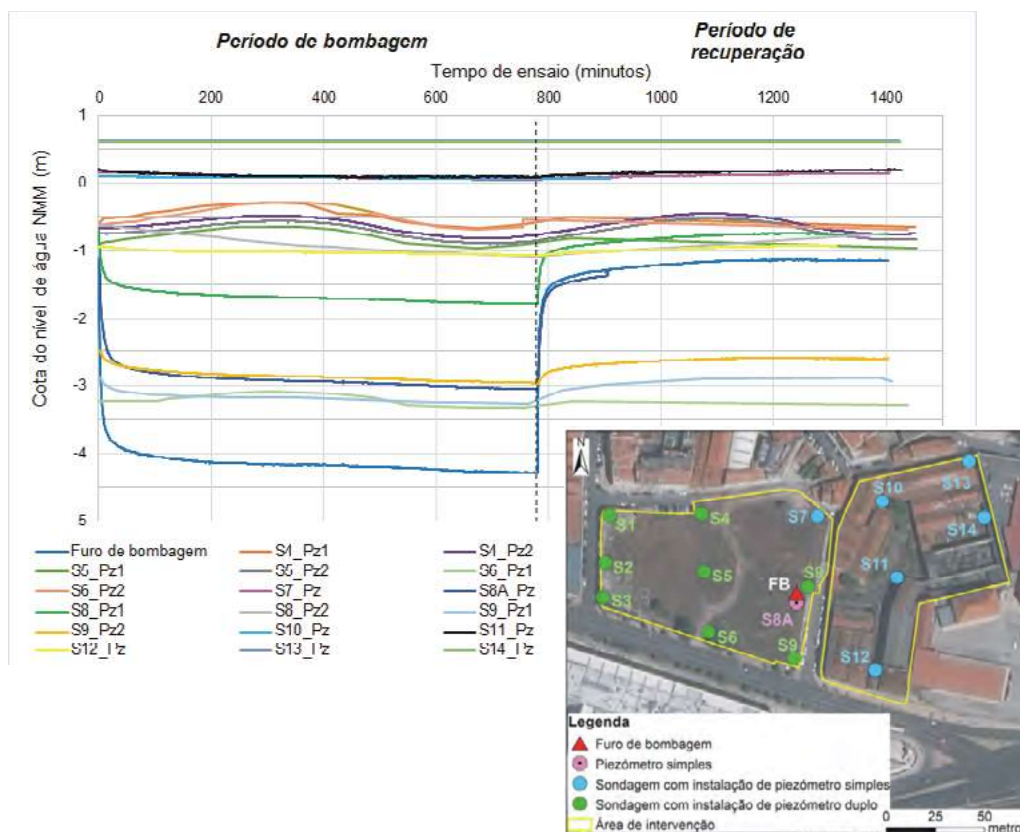


Figura 3 – Localização do dispositivo de ensaio de bombagem implementado numa zona ribeirinha de Lisboa (em baixo) e respetiva evolução dos níveis de água nos piezómetros de observação durante o ensaio de bombagem (em cima)

2.6. Monitorização dos níveis de água

A frequência e o número de campanhas de leituras de monitorização dos níveis de água, no decurso dos trabalhos de reconhecimento, dependem das especificidades dos locais e do estudo a realizar. Em geral, adota-se a seguinte periodicidade de campanhas de leituras: imediatamente após a selagem do piezómetro, passadas 24 horas da sua instalação e semanalmente.

Nos locais de estudo situados nas zonas ribeirinhas ou nas suas proximidades, em que seja suscetível os níveis de água serem influenciados pela maré, é recomendável proceder-se à quantificação do seu efeito no local da obra e à determinação dos níveis de água médios, preferencialmente, para uma maré de maior amplitude (situação de marés vivas, ou seja, em fase de Lua Nova ou de Lua Cheia). A campanha a realizar compreende a realização de leituras dos níveis de água em todos os piezómetros instalados, com um intervalo máximo de 20 minutos, durante, pelo menos, um ciclo de maré (cerca de 13 h). As leituras podem ser realizadas de forma manual ou

automática (com recurso a transdutores de pressão nos tubos piezométricos cujo diâmetro o permita). Previamente, à realização desta campanha é importante assegurar que os níveis de água se encontram estabilizados.

A análise das campanhas de registo contínuo dos níveis de água, durante, pelo menos, um ciclo de maré, permite não só verificar a existência ou não de influência da maré num determinado local e a sua amplitude e atraso, como também determinar níveis de água médios, identificar influências antrópicas e comparar a condutividade hidráulica relativa (baixa, média ou alta), das formações intersetadas pelas câmaras de tomada de pressão dos piezómetros sujeitos ao efeito de maré, com os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos de impacto hidrogeológico realizados no âmbito da construção de estruturas subterrâneas em zonas ribeirinhas, com recurso a modelos matemáticos tridimensionais do escoamento subterrâneo requerem a definição prévia das condições geológicas e hidrogeológicas locais. Assim, os aspetos associados à qualidade da informação geológica e hidrogeológica, em termos da definição dos trabalhos a realizar e dos respetivos procedimentos, desempenham um papel essencial na fiabilidade dos resultados obtidos nos estudos.

A metodologia proposta para a obtenção desses elementos, apresentada neste artigo, baseia-se na experiência adquirida pelo LNEC nos últimos 10 anos na realização deste tipo de estudos, tendo-se verificado que a mesma cumpre os requisitos para a obtenção da informação geológica e hidrogeológica necessária para o desenvolvimento dos estudos de impacto hidrogeológico, com recurso a modelação numérica. Saliencia-se, ainda, que os trabalhos incluídos na metodologia proposta, se integram com facilidade nos programas de reconhecimento a executar no âmbito da definição das condições de escavação e de fundação, podendo, desta forma, proporcionar uma significativa otimização dos custos associados à caracterização geotécnica e hidrogeológica dos locais.

REFERÊNCIAS

- Bonomi, T. e Bellini, R. (2003). The tunnel impact on the underground level in an urban area: a modelling approach to forecast it. *Materials and Geoenvironment*, 50, pp.45-48.
- ISO 22282-2 (2012). *Geotechnical investigation and testing - Geohydraulic testing - Part 2: Water permeability tests in a borehole using open systems*.
- Paris, A., Teatini, P., Venturini, S., Gambolati, G. e Brnstein, A.G. (2010). Hydrological effects of bounding the Venice (Italy) industrial harbour by a protection cut-off wall: a modeling study. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15 (11), pp. 882-891.
- Pujades, E., López, A., Carrera, J., Vázquez-Suñé, Jurado, A. (2012). Barrier effect of underground structures on aquifers. *Engineering Geology*, volumes 145-146, pp. 41-49.
- Ricci, G., Enrione, R. e Eusebio, A. (2007). Numerical modelling of the interference between underground structures and aquifers in urban environment. The Turin subway – line 1. In: Barták, Hrdine, Romancov, Zlámál (Eds.), *Underground Space*. Taylor and Francis Group, London, pp. 1323-1329.
- Yang, F.R., Lee, C.H., Kung, W.J. e Yeh, H.F. (2009). The impact of tunneling construction on the hydrogeological environment of “Tseng-Wen Reservoir Transbasin Diversion Project” in Taiwan. *Engineering Geology*, 103, pp. 39-58.