

MARTIM PORTUGAL V. FERREIRA  
Coordenação

# A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos

VOL. 1 • GEOLOGIA DE ENGENHARIA



Coimbra • Imprensa da Universidade

## AS CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS E O COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DOS TERRENOS NO BAIRRO DA BICA, LISBOA

I. MOITINHO DE ALMEIDA <sup>1</sup>, J. LOPO MENDONÇA <sup>1</sup>,  
M. OLIVEIRA DA SILVA <sup>1</sup>, G. BARBOSA DE ALMEIDA <sup>2,3</sup> e C. FONSECA <sup>3</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** Lisboa, Miocénico, hidrogeologia urbana, problemas geotécnicos.

**KEY WORDS:** Lisbon, Miocene, urban hydrogeology, geotechnical problems.

### RESUMO

No Bairro da Bica, em Lisboa, tem sido referido o aparecimento de novas emergências de água no piso térreo de alguns edifícios da Calçada da Bica Grande.

Estes fenómenos podem levar à degradação das condições geotécnicas locais e exigem particular atenção devido aos antecedentes desta zona de Lisboa: a própria toponímia está associada à existência de nascentes e no passado houve escorregamentos, por vezes de grandes dimensões, que justificam em parte a sua acidentada topografia.

No âmbito deste estudo recolheu-se informação geológica, geotécnica e hidrogeológica sobre a área do Bairro da Bica e inventariaram-se os pontos de água.

A interpretação dos fenómenos de instabilidade geotécnica registados no passado, o modelo hidrogeológico esboçado e a caracterização das unidades geotécnicas podem servir para antecipar o comportamento e os riscos associados a intervenções urbanas superficiais e no subsolo que colidam com a percolação da água subterrânea.

<sup>1</sup> Centro e Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, C2 – 5º Piso, 1749-016 Lisboa, moitinho@fc.ul.pt, jmendonca@fc.ul.pt, mosilva@fc.ul.pt

<sup>2</sup> Câmara Municipal de Lisboa, Campo Grande, 25 – 3 A, 1749-099 Lisboa, gabinetegeologia@cm-lisboa.pt

<sup>3</sup> Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, C2 – 5º Piso, 1749-016 Lisboa

**ABSTRACT: Geotechnical framework and its hydrogeological conditioning at Bairro da Bica, Lisboa**

Several new water emergencies have been reported on the ground floors of some buildings in the Calçada da Bica Grande, at the Bica quarter in Lisbon.

Given their consequences to the geotechnical properties, these occurrences must be regarded with particular attention in this area of Lisbon, known by the abundance of natural and artificial springs (bica), which justify the toponymy of the quarter (Bairro da Bica). The abundance of water, inducing significant land instability, is one of the remarkable features of this area where historical landslides have occurred.

In order to understand the geological, geotechnical and hydrogeological characteristics of the area data has been collected. The knowledge and interpretation of the geotechnical and ground water flow can be used to predict and minimize the consequences of future urban interventions.

**INTRODUÇÃO**

Recentemente, no Bairro da Bica, em Lisboa, tem sido notado o aparecimento de novas emergências de água no piso térreo de alguns prédios da calçada da Bica Grande que, aparentemente, também é o local do bairro mais afectado por fenómenos passados de instabilidade geotécnica. A constatação destes factos está na base do estudo aqui apresentado, onde se sintetiza a informação hidrogeológica e geotécnica disponível e se esboçam o modelo conceptual de fluxo das águas subterrâneas e as suas influências na estabilidade geotécnica do maciço.

A ocorrência de água nos terrenos é, em regra, um factor desfavorável do ponto de vista geotécnico quer pela degradação das características de resistência e deformabilidade dos terrenos que normalmente se lhe associa, quer pela instalação de subpressões sobre as estruturas quer, ainda, pelas dificuldades construtivas que acrescenta.

A urbanização dos terrenos causa alterações significativas no ciclo hidrológico local e regional, nomeadamente, como é facilmente perceptível, com o aumento dos caudais de cheia e a deterioração da qualidade das águas superficiais. À semelhança do que acontece com as águas superficiais, a urbanização causa impactes nos sistemas aquíferos que se traduzem por alterações na recarga, nos níveis piezométricos, nos escoamentos e na qualidade da água. Um factor importante e muito óbvio que condiciona o regime hidrológico subterrâneo é a impermeabilização de grandes superfícies do terreno, nomeadamente nas zonas urbanas mais antigas, onde as zonas verdes são em geral de área muito limitada. Além da influência na taxa de infiltração profunda, a impermeabilização pode conduzir à contaminação físico-química e microbiológica da água que se infiltra.

As infra-estruturas urbanas podem desempenhar papel importante na alteração dos escoamentos subterrâneos (FOSTER & MORRIS, 1997), comportando-se de forma muito diversificada: como barreiras e zonas preferenciais de escoamento, sumidouros ou fontes de água, como é o caso das redes de abastecimento e de saneamento.

A construção e o desenvolvimento das áreas urbanas podem levar, por outro lado, a alterações de níveis piezométricos com impactes de natureza geotécnica e nas estruturas urbanas (CESANO & OLOFSSON, 1997; HERNÁNDEZ & GONZÁLEZ, 1997; STIPHO, 1997). A construção de estruturas urbanas subterrâneas (caves e túneis, por exemplo) faz-se muitas vezes abaixo da superfície freática ou colide com aquíferos confinados ou semiconfinados superficiais. O rebaixamento do nível piezométrico provocado pela drenagem de água, temporária ou permanente, pode conduzir a problemas geotécnicos, como assentamentos locais, subsidência mais ou menos generalizada e danos em fundações de edifícios, como é exemplo o apodrecimento e a decomposição bacteriológica de estacas de madeira quando expostas ao ar. No entanto, as alterações de níveis piezométricos podem ser de sentido oposto ao relatado. Isto é, a diminuição das extracções de água subterrâneas provocada, por exemplo, pela substituição de origens locais por águas superficiais ou outras exógenas ao perímetro urbano, pode ser a causa da subida dos níveis piezométricos. Também as fugas de água das redes de abastecimento e/ou de saneamento podem conduzir a uma situação em que a recarga é superior à recarga natural o que conduz à subida generalizada dos níveis de água nos aquíferos. Estes fenómenos podem ser a causa de inundações de caves e outras cavidades subterrâneas e implicar a instalação de sistemas de drenagem permanentes. A mesma ocorrência pode ser a origem do desenvolvimento de subpressões sobre as estruturas, de variações de volume dos solos, de alteração da resistência em solos sensíveis, de movimentos em fundações, da deterioração dos betões e da corrosão do aço e elementos metálicos das estruturas.

## **O BAIRRO DA BICA – EVOLUÇÃO URBANA**

A Bica é um bairro típico de Lisboa, de dimensão reduzida que ocupa uma dezena de arruamentos, e está encaixado num vale delimitado a leste pelo Alto das Chagas e a oeste pelo Alto de Santa Catarina (fig. 1).

No Bairro da Bica, ao longo dos tempos que correspondem à sua ocupação urbana, têm-se registado fenómenos de instabilidade geotécnica. Há descrições de escorregamentos de terras que remontam aos séculos XVI e XVII. A presença de emergências de água subterrânea é igualmente reportada e está na origem da sua toponímia.

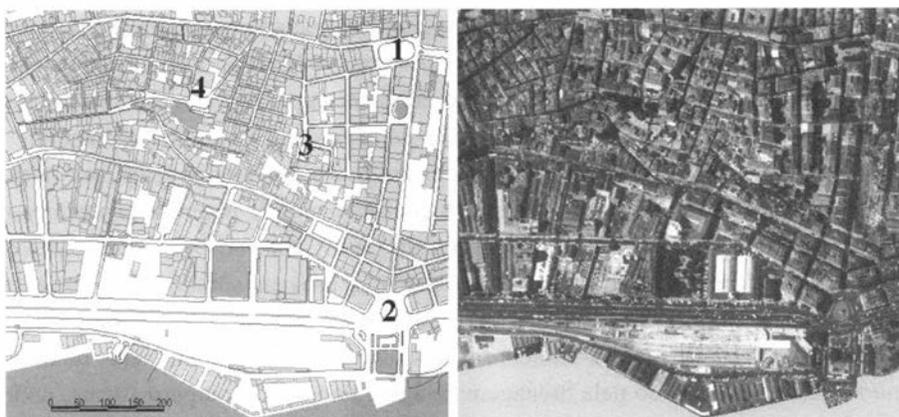


Fig. 1 – Localização da área estudada. 1 – Praça Luís de Camões; 2 – Cais do Sodré; 3 – Alto das Chagas; 4 – Alto de Santa Catarina.

No final do século XV, os terrenos a ocidente da área urbana, limitada pela muralha fernandina, estavam integrados em duas grandes herdades com olivais, vinhas, pomares e campos de cereais, e a estrada de Santos ou da Horta Navia, era uma importante via de acesso à cidade pelas portas de Santa Catarina. A herdade da Boavista, a sul, marginava o Tejo até à Esperança, entre o que são hoje as Chagas e o alto de Santa Catarina. A herdade de Santa Catarina, a norte, ocupava as terras mais altas e ia até à Cotovia e aos Moinhos de Vento, actual Príncipe Real.

No século XVI, a zona ribeirinha foi sendo ocupada, principalmente por gente ligada às actividades do mar. Em Julho de 1597, um aluimento de terras cavou um vale entre os altos de Santa Catarina e Chagas, destruindo três ruas e cerca de 110 casas. A este grande movimento de terras, bem documentado, seguiram-se, em 1621, novos desabamentos de menor dimensão. Na zona correspondente a estas instabilizações existiram diversas emergências e captações pouco profundas de água subterrânea, actualmente quase todas desactivadas.

No início dos séculos XVIII, o bairro encontrava-se praticamente todo construído, sendo o século XIX um período de adensamento da malha urbana com ocupação dos espaços deixados pelos terraços, pátios ou logradouros.

Actualmente, o Bairro da Bica e zona envolvente enquadra-se na chamada Área Histórica de Lisboa, com elevada densidade de construção, com ruas asfaltadas, portanto com baixa permeabilidade, e com passeios de calçada à portuguesa que, em regra, permite uma maior infiltração que o asfalto. Trata-se também de zona onde a redes de distribuição de água e saneamento são antigas e susceptíveis de apresentarem perdas elevadas. Para a Área Histórica de Lisboa há estimativas que apontam para fugas até 40% do caudal distribuído, o que corresponde a um valor de recarga superior ao estimado para a recarga natural.

## ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO

A área correspondente ao Bairro da Bica encontra-se localizada na vertente sul do conjunto de colinas que constituem o interflúvio que separa a sul a bacia da ribeira do Vale de Pereiro - Esteiro da Baixa da bacia do vale da ribeira de São Bento e que tem a norte, como vértice, a colina do Príncipe Real. Trata-se de uma área muito acidentada, onde predominam os declives superiores a 25 %.

Este retalho de uma antiga superfície de aplanação dos terrenos miocénicos, provavelmente protegida pelas bancadas dos “Calcários de Entrecampos”, é actual e quase exclusivamente constituído por terrenos da base da série miocénica (“Argilas e Calcários dos Prazeres” e “Areolas da Estefânia”), que nesta zona constituem, no geral, um monoclinal levemente inclinado para sul e sudeste (fig. 2), localmente perturbado por pequenos acidentes tectónicos. As aluviões do Tejo recobrem os terrenos terciários a sul e, pontualmente, encontram-se alguns depósitos de aterro e depósitos de vertente (ALMEIDA, 1991).

As dificuldades de caracterização das condições geológicas nesta zona podem ser generalizadas a quase toda a área do concelho de Lisboa, densamente coberta pela ocupação urbana. Neste caso, é apenas possível recorrer à cartografia geológica existente (ALMEIDA, 1986), preparada a partir dos levantamentos de campo do final do século XIX e início do século XX e de dados de sondagens geotécnicas existentes e integrar novos dados de sondagens entretanto realizadas. Na área estudada foi possível compilar 8 relatórios geotécnicos, incluindo 34 sondagens e 460 ensaios SPT, abrangendo o conjunto das formações geológicas referidas e que permitiram confirmar a estrutura geológica local e definir as principais características geotécnicas.

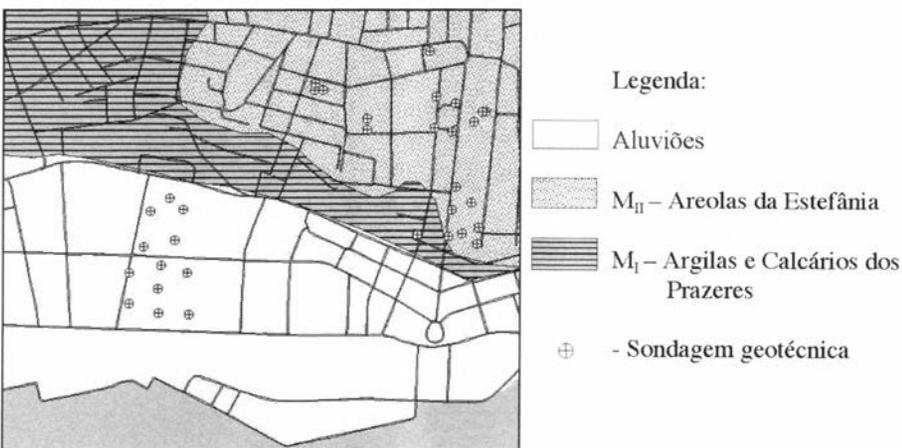


Fig. 2 – Esboço geológico e localização das sondagens geotécnicas.

A área é caracterizada pela diferença de comportamento entre as formações superficiais de aterros e aluviões, quase exclusivamente constituídas por solos normalmente consolidados, compressíveis e com baixa resistência, e as formações do substrato miocénico fortemente sobreconsolidadas e superficialmente descompactadas.

Em todas as sondagens foram atravessados depósitos de aterro, com matriz predominantemente arenosa, englobando não só terra vegetal mas também matérias deslocados, incluindo depósitos de vertente, e materiais antrópicos. A espessura média dos aterros é de 3,6m e máxima de 7,5m numa das sondagens realizada no Largo Barão de Quintela. Os resultados dos ensaios SPT (fig 3) indicam tratar-se de solos muito soltos (42%), soltos (18%) e medianamente compactos (22%). Os valores mais elevados correspondem a elementos mais grosseiros, normalmente associados a fases anteriores de construção. Numa das sondagens realizadas na Rua das Chagas, com aterros atingindo espessuras da ordem dos 7m, foi interceptado um “vazio”, não revestido, entre os 4m e os 5,3m de profundidade. Não tendo mais elementos relativos à geometria deste “vazio” e considerando que as sondagens foram realizadas em época de estiagem (Junho de 2000), com nível de água a cerca de 7,5m de profundidade, instalado na formação das Areolas da Estefânia, pode admitir-se a hipótese de fazer parte de um antigo sistema de captação de água.

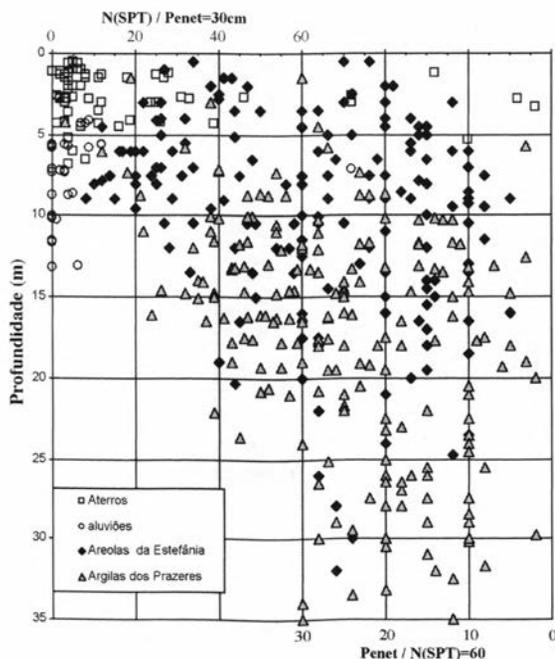


Fig. 3 – Resultados dos ensaios SPT nas sondagens realizadas na área da Bica.

O alinhamento definido pelas ruas de São Paulo e da Boavista, correspondem ao limite da zona aplanada do enchimento a aluvionar (fig. 2). A maior parte desta área terá sido conquistada ao rio, em sucessivas fases, através da construção de aterros. Nas sondagens realizadas entre a Av. 24 de Julho e a Rua da Boavista foram atravessados depósitos aluvionares predominantemente lodosos, muito moles a moles (fig. 3), com níveis dispersos de areias siltosas a lodosas, soltas a medianamente compactas.

Os dados das sondagens realizadas nas “Areolas da Estefânia” indicam que são predominantemente ( $\approx 74\%$ ) constituídas por siltes areno-argilosos micáceos incoerentes (areolas), de tons amarelados, com intercalações calcareníticas ou argilosas. Os ensaios SPT (fig. 3) indicam tratar-se de solos arenosos muito compactos, com mais de 65% dos resultados superiores a 50.

Os níveis do topo das “Argilas e Calcários dos Prazeres”, atravessados nas sondagens analisadas, são predominantemente ( $>70\%$ ) constituídos por argilas siltosas cinzento escuro a negro, com intercalações de margas e calcários ou arenosas. Os ensaios SPT realizados (fig. 3), correspondem a solos muito rijos a rijos, com mais de 75% de valores superiores a 50.

## ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO

A geologia descrita serve de suporte a dois sistemas hidrogeológicos distintos: o aluvionar e o miocénico.

O sistema hidrogeológico aluvionar é caracterizado por unidades lenticulares de condutividade hidráulica e armazenamento contrastantes: as areias, de condutividade hidráulica relativamente elevada, com comportamento de aquífero; os lodos e as argilas, de condutividade hidráulica muito baixa, com comportamento de aquífero ou de aquífero. Isto é, ter-se-á uma estrutura aquífera complexa com camadas mais ou menos contínuas e espessas de lodos ou areias lodosas semiconfinando e delimitando as areias.

O sistema hidrogeológico miocénico é multicamada constituído por alternância de camadas relativamente permeáveis (areias, arenitos e alguns calcários) com outras semipermeáveis, como os argilitos e os siltitos.

As camadas aquíferas deste sistema hidrogeológico fornecem água doce que no passado era aproveitada por nascentes localizadas em zonas de topografia favorável e que abasteciam alguns dos chafarizes de Lisboa. Nalgumas zonas da cidade, o sistema hidrogeológico do miocénico é aproveitado por intermédio de algumas captações por furo com produtividade muito variáveis.

Na zona entre o Terreiro do Paço e Santa Apolónia são numerosas as nascentes (algumas delas foram consideradas minero-medicinais) relacionadas com os terrenos miocénicos e eventualmente com sistemas de falhas. Referem-se algumas: Banhos

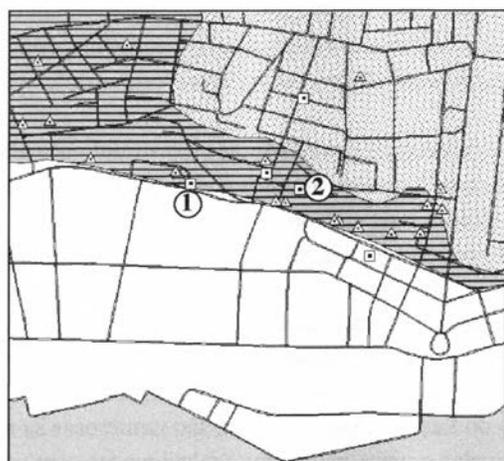
do Doutor (contíguos ao Chafariz de Dentro); Alcaçarias do Duque, Banhos de J.A. Batista e Banhos de D. Clara, na área do Terreiro do Trigo; emergência no local do Chafariz de El Rei.

No âmbito espacial que respeita ao Bairro da Bica, a área de recarga deste sistema hidrogeológico estende-se para norte, desde a margem do Tejo até à zona de Campolide – Parque Eduardo VII, e as zonas de descarga são os vales do Tejo e das antigas ribeiras das actuais avenida da Liberdade e rua de S. Bento.

À semelhança do que acontece na zona entre o Terreiro do Paço e Santa Apolónia, no Bairro da Bica, além das referências históricas a fontes e nascentes, foram inventariados mais de duas dezenas de pontos de água (fig. 4), incluindo nascentes, poços e minas (FONSECA, 2002).

Do inventário realizado destacam-se:

- A Bica dos Olhos ① (actualmente desactivada) alimentada por uma nascente situada no prédio contíguo. Descrevem-se os resultados de uma análise química de 1927: “de acordo com a aplicação médica que o povo, empiricamente descobriu – sendo uma água sulfatada cálcica de elevado resíduo seco, imita as formas galénicas dos oftalmologistas, também à base de sulfato” (FLORES e CANHÃO, 1999).
- A Bica do Pátio do Broas ou Fonte da Bica ② (provavelmente origem da toponímia do bairro), em 1957, segundo Mário Real *in* CORDEIRO (1997) fornecia água aos moradores do Pátio do Broas e “estava metida num grande e alto vão aberto na escarpa e possuía um largo tanque que era utilizado na altura para lavar a roupa”. Actualmente, mantém-se o arranjo da bica, o caudal é de 0,3 L/s e a água tem condutividade eléctrica de 1,3 mS/cm, pH de 7,6 e temperatura de 19,4 °C.



- - bicas e chafarizes
- △ - pontos de água

Fig. 4 – Localização dos pontos de água.

- Cerca de duas dezenas de poços tapados e/ou entulhados, localizado no interior de prédios.
- A maioria dos edifícios onde tem sido notado o aparecimento de novas emergências de água no piso térreo (fig. 4) localiza-se sobre as “Argilas e Calcários dos Prazeres”.

## A HIDROGEOLOGIA E O COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO

De acordo com as descrições históricas existiram três movimentos de terra no Bairro da Bica, o primeiro em 1597, o segundo em data desconhecida e o terceiro em 1621. Apesar da maioria dos autores afirmar que o primeiro movimento de terra foi causado por sismo, a verdade é que não existe notícia de qualquer outro fenómeno que possa ser associado a um sismo nessa mesma data.

O primeiro movimento de terras de 1597 ocorreu em 21 de Julho a que se seguiu a 7 de Agosto do mesmo ano um importante movimento de terra na ribeira de Alcântara. Estes factos fazem pensar que o escorregamento que deu origem ao vale da Bica teve origem numa ocorrência anormal da precipitação que desencadeou um movimento rotacional ou misto nas “Areolas da Estefânia”. A entrada de água no maciço e o correspondentes aumento de peso e a degradação da resistência, devem ter ocorrido através de fendas ou fracturas de descompressão e/ou de origem tectónica paralelas à orientação do relevo e ao do vale do Tejo.

Da descrição histórica do movimento de terras de Fevereiro de 1621 parece poder depreender-se que houve um desmoronamento de terras, favorecido pela atitude das camadas e certamente relacionado com a degradação da resistência do maciço provocada pela água das chuvas infiltrada naquele Inverno.

O aparecimento de novas emergências de água no piso térreo de alguns prédios da calçada da Bica Grande que, aparentemente, também é o local do bairro mais afectado por fenómenos de instabilidade geotécnica, de acordo com o inventário das situações melhor caracterizadas, aparenta estar associado a intervenções no subsolo. Com efeito, no processo de requalificação urbanística em curso no Bairro da Bica, as fundações directas dos edifícios sujeitos a intervenção têm sido substituídas por fundações indirectas do tipo micro-estacas.

Num caso inventariado, a descrição da ocorrência corresponde à emergência de água através do furo, reveladora de fenómeno de artesianismo repuxante provocado por atravessamento de camada aquífera confinada.

Noutro caso, apesar de não aparecer água no piso térreo do edifício onde foram construídas as micro-estacas, as manifestações de água no piso térreo de outros edifícios próximos começaram a surgir após esta intervenção. O mecanismo que pode explicar esta ocorrência é idêntico ao do relato anterior, havendo neste caso um “horizonte” intermédio por onde se escapa a água. Estar-se-ia num situação

típica de “circulação inter-aquíferos” em que as perfurações ou a zona envolvente das micro-estacas promovem o “curto-circuito hidráulico” entre camadas permeáveis.

O aparecimento destas emergências poderá ter duas consequências: (1) a instalação de subpressões sobre os revestimentos de pisos térreos e/ou a emergência de água; (2) a alteração e/ou decomposição de argilas e margas sensíveis com a correspondente degradação da resistência mecânica e o aumento de deformabilidade.

De acordo com o exposto, o volume do maciço correspondente às “Argilas e Calcários dos Prazeres”, onde se localiza a maioria dos pontos de água inventariados, parece ser a zona do maciço mais problemática no que respeita à circulação de água subterrânea:

- Porque a zona superior pode funcionar localmente como substrato menos permeável relativamente às “Areolas da Estefânia”;
- Porque as intercalações calcárias são zonas de permeabilidade relativamente mais elevada por onde se podem dar fluxos concentrados e em pressão, de tipologia idêntica à que se admite estar associada à nascente da Bica Grande que, no contexto hidrogeológico descrito, é uma nascente de caudal elevado;
- Porque sendo a Formação em contacto com o nível de base da circulação da água no miocénico (nível da água nas aluviões) é para aí que convergem os escoamentos.

## BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F. Moitinho (1986), Carta Geológica do Concelho de Lisboa, Escala 1:10000, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- ALMEIDA, I. Moitinho (1991), Características geotécnicas dos solos de Lisboa Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa.
- CESANO, D. & OLOFSSON, B. (1997), Impact on groundwater level when tunneling in urban area. *in* Groundwater in the urban environment, Proceedings of the XXVII IAH congress on groundwater in the urban environment, ed. J. Chilton *et al.*, A.A. Balkema, vol 1, pp.219-230.
- CORDEIRO, G.I. (1997), Um lugar na cidade: quotidiano, memória e representação no Bairro da Bica, Portugal de Perto, 37, Publicações D. Quixote, Lisboa.
- FLORES, A. & CANHÃO, C. (1999), Chafarizes de Lisboa, INAPA, Lisboa.
- FONSECA, C. (2002), Estudo hidrogeológico dos terrenos da área de intervenção do Grupo de Trabalho da Bica, em Lisboa, Relatório de Estágio, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- FOSTER, S. & MORRIS, B. (1997), Groundwater impacts and issues in developing cities – An introductory review. *in* Groundwater in the urban environment – Selected city profiles, ed. J. Chilton, A.A. Balkema, pp.3-16.

- HERNÁNDEZ, M.A. & GONZÁLEZ, N. (1997), Impact of rising piezometric levels on Greater Buenos Aires due to partial changing of water services infrastructure. *in* Groundwater in the urban environment, Proceedings of the XXVII IAH congress on groundwater in the urban environment, ed. J. Chilton *et al.*, A.A. Balkema, vol 1, pp.237-242.
- STIPHO, A.S. (1997), Evaluation of potential geotechnical problems associated with rising groundwater level in Riyadh city, Saudi Arabia. *in* Groundwater in the urban environment, Proceedings of the XXVII IAH congress on groundwater in the urban environment, ed. J. Chilton *et al.*, A.A. Balkema, vol 1, pp.261-271