



**1.º Conferência de Planeamento Regional e Urbano & 11.º Workshop APDR  
TERRITÓRIO, MERCADO IMOBILIÁRIO E A HABITAÇÃO  
11 de Novembro de 2011 | Universidade de Aveiro**

## **A água subterrânea como fonte térmica na climatização de edifícios: - Situação em Portugal e perspectivas futuras**

**Costa, A.T.M.<sup>1</sup>, Amaral, H.I.F.<sup>2</sup>, Coelho, L.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> augusto.costa@lneg.pt, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Portugal

<sup>2</sup> helena.amaral@lneg.pt, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Portugal

<sup>3</sup> luis.coelho@estsetubal.ips.pt, Instituto Politécnico de Setúbal, Portugal

### **RESUMO**

Portugal está fortemente envolvido na procura de fontes de energias renováveis à escala global. Fontes de energias limpas são progressivamente mais baratas e o seu papel na redução da emissão de gases de estufa para a atmosfera, é inegável. A climatização de edifícios requer grandes quantidades de energia e as suas fontes, em Portugal, são principalmente o carvão, o gás natural, e/ou as energias solar, eólicas e de biomassa. Contudo, o uso do subsolo até profundidades da ordem de 100 m como reservatório térmico para aquecimento e arrefecimento é quase inexistente em Portugal, apesar de já ser aplicado em alguns países. Esse armazenamento natural de calor no subsolo pode ser aproveitado para fornecer a edifícios calor no Inverno e frio no Verão. Tal sistema de Armazenamento Subterrâneo de Energia Térmica (UTES, em inglês) pode ser virtualmente explorado em quaisquer condições de subsolo, contribuindo para uma resposta sustentável às necessidades energéticas.

A tecnologia UTES recorre à aplicação de bombas de calor em sistema aberto ou fechado (Aquífer, ATES ou Borehole, BTES, em inglês), designando-se internacionalmente por Ground Source Heat Pumps. Estas bombas de calor são acopladas a conversores de calor no subsolo (sistemas fechados) ou são alimentadas por água subterrânea (sistema aberto). Operando no 'modus' aquecimento, a água actua como agente de transferência de calor da terra para um vaporizador da bomba de calor, usando assim a energia geotérmica. No 'modus' de arrefecimento, as bombas de calor usam a terra como retentora de calor. Em sistemas abertos, a água é captada num aquífero, utilizada e depois injectada no mesmo sistema aquífero. Nos sistemas fechados não há uso directo da água do aquífero, pelo que a água de circulação nas tubagens instaladas em furos 'secos' é aquecida ou arrefecida por condução térmica dos materiais.

Em Portugal, no Instituto Tecnológico de Setúbal (IPS), foi já aplicada com êxito a tecnologia BTES em sistema fechado (Coelho et al., 2010). Contudo, esta não é suficientemente competitiva quando comparada com as tecnologias tradicionais. Conceptualmente, os sistemas abertos (ATES) são energeticamente muito mais eficientes, atendendo à quantidade de fluido condutor envolvido em cada sistema. Neste contexto, o uso de sistemas abertos ATES tende a melhorar relação custo-eficiência. Todavia, estes sistemas potenciam impactes ambientais ao nível dos aquíferos, que devem ser considerados e estudados.

Em Portugal, a utilização dos aquíferos menos profundos para aplicação de sistemas UTES não foi ainda alvo de um estudo suficientemente detalhado, pese embora o Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis, preconizar para um futuro próximo, pós 2020, o contributo desta tecnologia. Nesta comunicação, além da apresentação esquemática dos sistemas aberto e fechado, serão sumariamente apresentados os principais sistemas aquíferos de Portugal Continental, identificando alguns de maior potencial como fonte energética.



**1.º Conferência de Planeamento Regional e Urbano & 11.º Workshop APDR  
TERRITÓRIO, MERCADO IMOBILIÁRIO E A HABITAÇÃO  
11 de Novembro de 2011 | Universidade de Aveiro**

**Palavras-chave:** água subterrânea, bomba de calor, climatização, energia renovável, Geotermia.

## 1. INTRODUÇÃO

A tecnologia UTES (Underground Thermal Energy Storage) baseia-se na utilização do ambiente subterrâneo em trocas de calor com vista à climatização de edifícios (Figura 1). Para isso são utilizadas bombas de calor (as chamadas bombas de calor geotérmico) que, em particular se forem articuladas com outras fontes de energia renováveis, podem assumir um importante papel na redução da emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera. Quando são utilizados aquíferos como fonte de energia, a tecnologia designa-se por ATES (Aquifer Thermal Energy Storage), que corresponde à configuração de bombas geotérmicas em circuito aberto.

A utilização de temperaturas moderadas e estáveis nas trocas de calor entre o edifício e o meio ambiente, neste caso o subsolo (sistemas fechados) ou água subterrânea (sistemas abertos) permite um aumento significativo nas eficiências dos sistemas de climatização comparado com os sistemas baseadas em bombas de calor tradicionais.

A tecnologia UTES, embora seja já aplicada em vários países europeus, sobretudo no norte da Europa, em Portugal ainda se encontra numa fase incipiente de utilização. Esta tecnologia, ao utilizar o subsolo como fonte de energia para a climatização de edifícios, carece de investigação específica sobre o nosso território. Quer as condições climáticas, quer as condições geológicas e hidrogeológicas são diferentes de outros países e, por isso carece de estudos relativos às condições naturais do subsolo quanto à instalação de tais sistemas, e consequentemente determinar a eficiência energética de diferentes configurações de sistemas de climatização, assim como, avaliar as potencialidades e impactes desses sistemas no ambiente subterrâneo.

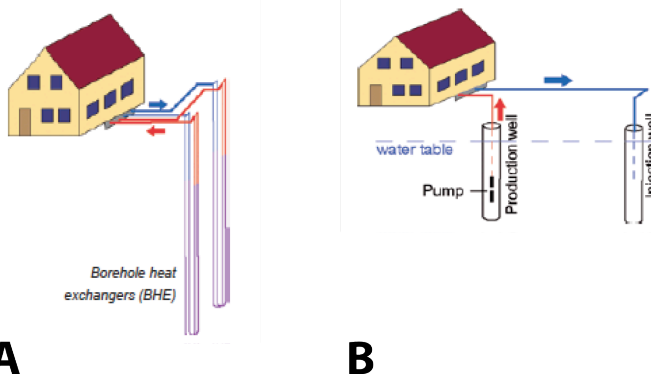


Figura 1 – Exemplos conceptuais da tecnologia UTES: BTES (A) e ATES (B).

## 2. A TECNOLOGIA UTES EM PORTUGAL

Em Portugal a utilização de bombas de calor geotérmicas iniciou-se há alguns anos atrás através de pequenas instalações em habitações unifamiliares baseadas essencialmente em circuitos abertos. O desconhecimento das implicações ambientais dos sistemas abertos fez com que esta tecnologia fosse abandonada em favor dos circuitos fechados. Nos últimos anos tem-se vindo a desenvolver a utilização de bombas de calor geotérmicas em circuitos fechados em diferentes tipos de edifícios, desde pequenas utilizações em moradias até aplicações de larga escala em grandes edifícios de serviços. Os furos, na sua maioria, têm profundidades entre os 80 m e os 150 m, havendo também várias aplicações, principalmente de pequena



**1.º Conferência de Planeamento Regional e Urbano & 11.º Workshop APDR  
TERRITÓRIO, MERCADO IMOBILIÁRIO E A HABITAÇÃO**  
11 de Novembro de 2011 | Universidade de Aveiro

escala, que utilizam circuitos horizontais fechados onde os permutadores geotérmicos são instalados a profundidades típicas entre 1,2 m e 2,0 m.

A utilização de circuitos abertos, desde que as implicações ambientais sejam bem estudadas e caracterizadas, poderá contribuir de forma muito efectiva para o aumento generalizado da utilização das bombas de calor geotérmicas em Portugal, principalmente em aplicações de larga escala, onde o investimento inicial na instalação de permutadores geotérmicos em circuito fechado, corresponde a valores muito elevados.

### 3. GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DE PORTUGAL CONTINENTAL

A cartografia geológica de Portugal, incluindo a plataforma continental e ilhas, na escala 1/1.000.000 está disponível em formato digital e em papel (LNEG, 2010) [2]. Esta e outra informação cartográfica são disponibilizadas através do [Geoportal do LNEG](#). A informação sobre os sistemas aquíferos encontra-se disponível no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos ([SNIRH](#)).

Na Figura 2 representa-se um extracto das folhas norte e sul do Mapa Geológico de Portugal Continental à escala 1/500.000 (Oliveira, et al., 1992) [3].

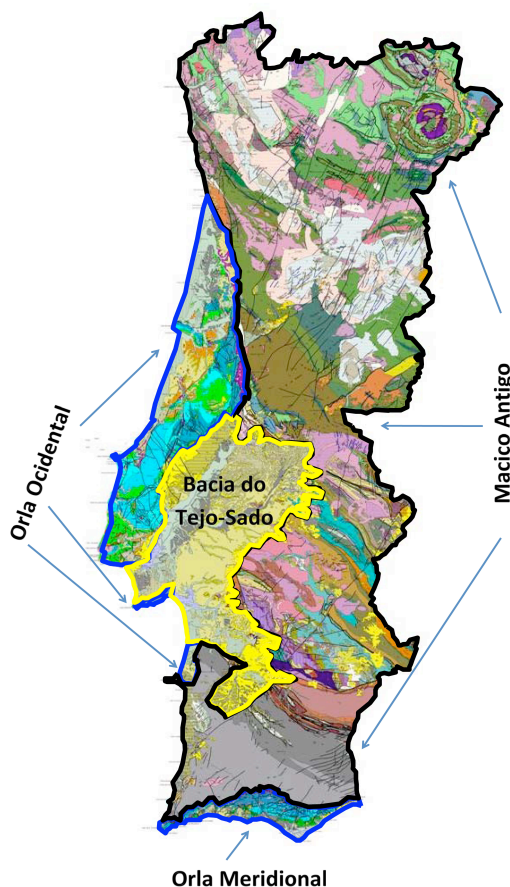


Figura 2 – Geologia e unidades hidrogeológicas de Portugal Continental (adaptado de Oliveira, et al. (1992) [3] e Almeida et al. (2000) [1]).



1.º Conferência de Planeamento Regional e Urbano & 11.º Workshop APDR  
**TERRITÓRIO, MERCADO IMOBILIÁRIO E A HABITAÇÃO**  
 11 de Novembro de 2011 | Universidade de Aveiro

Por se tornar ilegível não se apresenta a respectiva legenda. Sobre esta base assinalam-se as unidades hidrogeológicas: Maciço antigo; Orla ocidental; Orla meridional; e Bacia do Tejo-Sado.

Na Figura 3 são apresentados os principais sistemas aquíferos de Portugal continental de cada uma destas unidades hidrogeológicas.

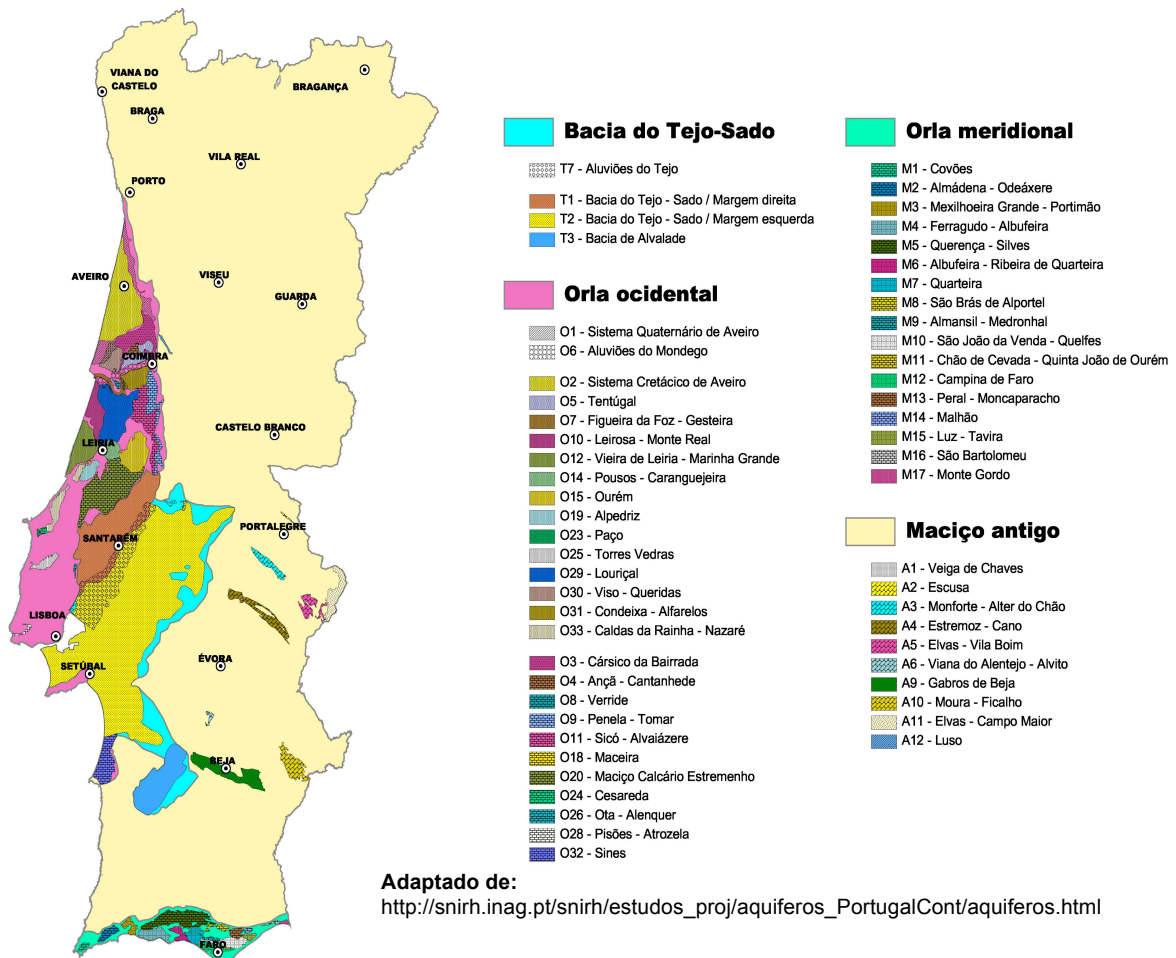


Figura 3 – Sistemas aquíferos de Portugal Continental (Almeida, et al., 2000) [1].

### 3.1 MACIÇO ANTIGO

O maciço antigo é essencialmente constituído por rochas magmáticas e metamórficas, mais ou menos intensamente fracturadas. Trata-se essencialmente de granitos, xistos e grauvaques que originam aquíferos essencialmente do tipo fissurado. Com menor expressão espacial encontram-se rochas carbonatadas (mármore, calcários dolomíticos e dolomias) gabros e quartzitos.

As rochas carbonatadas estão na origem de diversos sistemas aquíferos, com algumas características cársicas. Trata-se de: Escusa (A2), Monforte-Alter do Chão (A3), Estremoz-Cano (A4), Elvas-Vila Boim (A5), Viana do Alentejo-Alvito (A6) e Moura-Ficalho (A10). As rochas eruptivas básicas (essencialmente gabros), estão na origem do aquífero fissurado Gabros de Beja (A9). As rochas quartzíticas estão na origem do aquífero fissurado Luso (A12).



**1.º Conferência de Planeamento Regional e Urbano & 11.º Workshop APDR  
TERRITÓRIO, MERCADO IMOBILIÁRIO E A HABITAÇÃO  
11 de Novembro de 2011 | Universidade de Aveiro**

Existem ainda aquíferos essencialmente do tipo poroso com origem em formações detríticas de cobertura, como é o caso do aquífero Elvas-Campo Maior (A11) e da Veiga de Chaves (A1).

Além destes existem outros, não individualizados no SNIRH, mas que por vezes são localmente importantes, como sejam as aluviões e mantos de alteração adjacentes que, em particular nas regiões graníticas do norte, constituem sistemas hídricos subterrâneos em estreita relação com os cursos de água.

### **3.2 ORLA OCIDENTAL**

Na orla ocidental, os principais sistemas aquíferos relacionados com coberturas detríticas pouco coerentes, de natureza arenoargilosa e origem aluvionar, de cordões arenosos do litoral ou preenchimentos arenosos de depressões tectónicas, de idade plio-quadernária, são o Sistema Quaternário de Aveiro (O1), Aluviões do Mondego (O6), Paço (O23) e Caldas da Rainha-Nazaré (O33). Também com importante contribuição de coberturas arenosas plio-quadernárias, mas por vezes incluindo ainda formações detríticas do Miocénico, temos o sistema aquífero Leirosa-Monte Real (O10) e Vieira de Leiria-Marinha Grande (O12).

Com origem em formações essencialmente detríticas do Cretácico, constituem-se o Sistema Cretácico de Aveiro (O2), Tentúgal (O5), Figueira da Foz-Gesteira (O7), Pousos-Caranguejeira (O14), Ourém (O15), Alpedriz (O19), Torres Vedras (O25) e Condeixa-Alfarelos (O31). Algumas depressões estão preenchidas por formações com idades que vão do Cretácico ao Quaternário e originam sistemas aquíferos como o Lourçal (O29) e Viso-Queridas (O30).

As rochas de natureza carbonatada do Jurássico constituem aquíferos de tipo cársico como sejam o Cársico da Bairrada (O3), Ançã-Cantanhede (O4), Verride (O8), Penela-Tomar (O9), Sicó-Alvaiázere (O11), Maceira (O18), Maciço Calcário Estremenho (O20), Cesareda (O24), Ota-Alenquer (O26), Pisões-Atrozela (O28) e Sines (O32). Apenas no caso do aquífero Pisões-Atrozela, estão incluídos calcários do Cretácico inferior, além dos calcários margosos do Jurássico superior.

### **3.3 ORLA MERIDIONAL**

Na orla meso-cenozóica meridional as fácies carbonatadas são muito frequentes em formações do Jurássico, do Cretácico e do Miocénico. Assim, como seria de esperar, constituem-se aquíferos do tipo cársico em diversas formações com estas idades. Contudo as formações do Jurássico constituem alguns dos aquíferos mais importantes desta região, como é o caso do sistema aquífero Querença-Silves (M5). Além deste, constituem-se outros, de importância variável, como seja o caso dos sistemas aquíferos cársicos: Covões (M1), Almádena-Odeáxere (M2), S. Brás de Alportel (M8), Almansil-Medronhal (M9), Chão de Cevada-Quinta João de Ourém (M11), Peral-Moncarapacho (M13), Malhão (M14) e S. Bartolomeu (M16).

Também na orla meridional existem sistemas multi-aquífero mistos, por envolverem aquíferos do tipo cársico-fissurado e do tipo poroso, que se constituem em formações do Jurássico, Cretácico e Miocénico. Estão nesta situação os sistemas aquíferos: Mexilhoeira Grande-Portimão (M3), Ferragudo-Albufeira (M4), Albufeira-Ribeira de Quarteira (M6), Quarteira (M7), Campina de Faro (M12), Luz-Tavira (M15) e S. João da Venda-Quelfes (M10).

Ainda na orla meridional, está reconhecido no SNIRH um aquífero freático, pouco profundo, poroso e homogéneo, instalado num cordão dunar entre Vila Real de Santo António e a praia Verde. Trata-se do sistema aquífero Monte Gordo (M17).

### **3.4 BACIA DO TEJO-SADO**

A unidade hidrogeológica Bacia do Tejo-Sado é constituída por depósitos sedimentares cenozóicos de enchimento das bacias sedimentares do Tejo-Sado e da bacia de Alvalade. Nesta unidade hidrogeológica constituem-se quatro sistemas aquíferos. Destaca-se o sistema



**1.º Conferência de Planeamento Regional e Urbano & 11.º Workshop APDR  
TERRITÓRIO, MERCADO IMOBILIÁRIO E A HABITAÇÃO  
11 de Novembro de 2011 | Universidade de Aveiro**

aqüífero Bacia do Tejo-Sado/Margem esquerda (T3), por se tratar do mais importante de toda a Península Ibérica. Além deste, são considerados o Aluviões do Tejo (T7), Bacia do Tejo-Sado/Margem Direita (T1), e Bacia de Alvalade (T6). O sistema aqüífero Aluviões do Tejo envolve todas as formações aluvionares (aluviões e terraços fluviais), apenas até Alverca, uma vez que a qualidade da água se torna excessivamente mineralizada a jusante desta povoação. Os restantes constituem-se em depósitos sedimentares mio-pliocénicos de preenchimento de bacias sedimentares (do Tejo-Sado e de Alvalade). Em todos estes sistemas a circulação do tipo porosa é predominante, apesar de existirem algumas formações de fácies carbonatadas que chegam, inclusivamente, a apresentar indícios de carsificação, em especial na margem esquerda do Tejo. Todos estes aqüíferos são, ou pelo menos foram no passado, utilizados como fonte de abastecimento público de água.

#### **3.4.1 Sistema Aquífero do Tejo-Sado/Margem esquerda**

Basicamente trata-se de um aqüífero multicamada que ocupa praticamente toda a península de Setúbal, prolongando-se por uma vasta área da margem esquerda do Tejo, até próximo de Abrantes (ver figura 4). Abrange, pelo menos parcialmente, todos os concelhos da margem esquerda do Tejo da Área Metropolitana de Lisboa, sendo a origem, praticamente exclusiva, de abastecimento para consumo humano e para a actividade económica.



**1.º Conferência de Planeamento Regional e Urbano & 11.º Workshop APDR**  
**TERRITÓRIO, MERCADO IMOBILIÁRIO E A HABITAÇÃO**  
 11 de Novembro de 2011 | Universidade de Aveiro

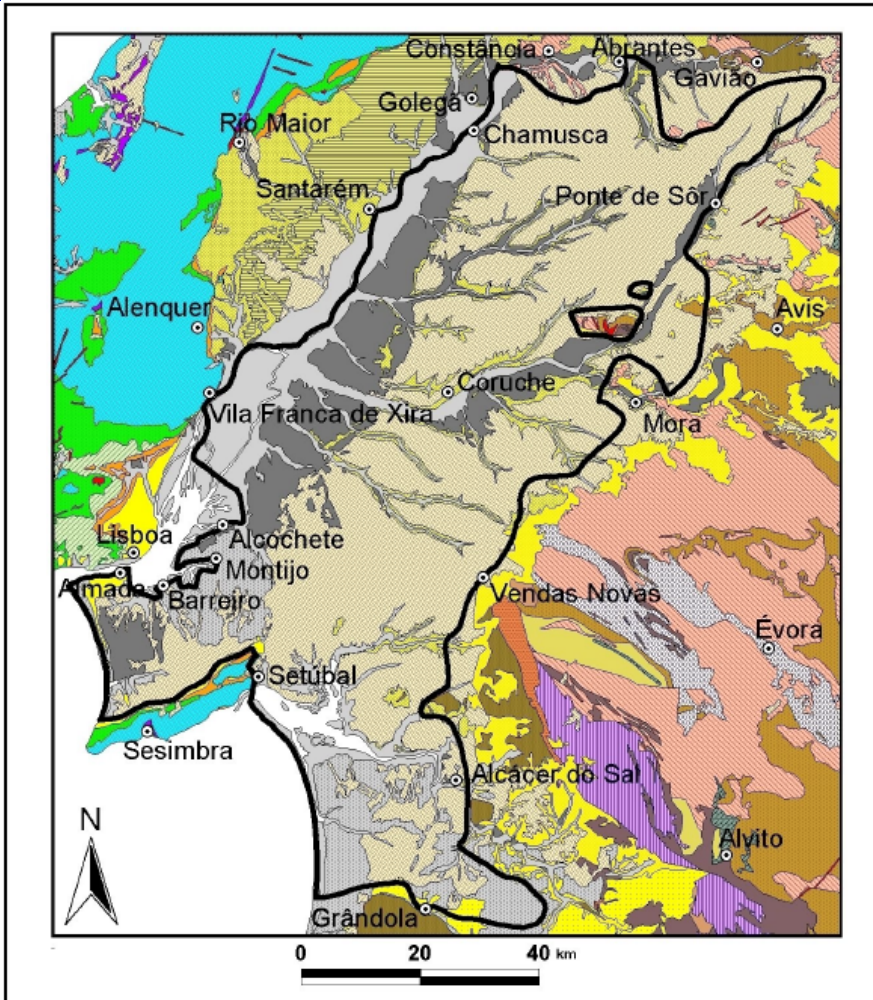


Figura 4 - Enquadramento litoestratigráfico do sistema aquífero Tejo-Sado/Margem esquerda (Almeida, et al., 2000) [1].



**1.º Conferência de Planeamento Regional e Urbano & 11.º Workshop APDR  
TERRITÓRIO, MERCADO IMOBILIÁRIO E A HABITAÇÃO  
11 de Novembro de 2011 | Universidade de Aveiro**

O abastecimento público e industrial explora, actualmente, níveis aquíferos geralmente situados entre os 200 e 500 m, com isolamento dos primeiros 100 m. Esta situação resulta de se ter reconhecido que os aquíferos menos profundos se encontram contaminados pela actividade industrial e agrícola. Dada a inadequada qualidade química destas águas para consumo humano, a sua utilização para climatização não é a priori descartada.

A produtividade dos níveis aquíferos até aos 100 m, é geralmente elevada (da ordem de algumas dezenas de litros por segundo) e as águas captadas são pouco mineralizadas com valores de condutividade eléctrica inferiores a 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .—A temperatura destas águas ao longo do ano, deverá rondar os 18°C, com variações mínimas.

#### **4. POTENCIALIDADES DO ARMAZENAMENTO DE ENERGIA TÉRMICA EM AQUÍFEROS EM PORTUGAL**

A tecnologia UTES, embora dependente não só das condições geológicas, hidrogeológicas e climáticas de cada região, mas também das características e necessidades energéticas específicas dos edifícios, pode ser economicamente interessante em todo o País. A tecnologia ATES, que representa uma mais valia nestas aplicações, depende da presença e disponibilidade de água subterrânea, sendo por isso mais restrita a área geográfica da sua aplicação.

São diversos os aquíferos que apresentam potencialidades para o armazenamento de energia térmica na climatização de edifícios.

Nos aquíferos do tipo fissurado e em particular nos do tipo cársico, por serem geralmente muito heterogéneos no que respeita à condutividade hidráulica, existe uma maior incerteza no que respeita à produtividade dos furos. Nestes casos, é aconselhável que a localização das sondagens seja precedida de uma prospecção específica para este efeito.

Nos aquíferos do tipo poroso pouco profundos, por serem geralmente mais homogéneos no que respeita à condutividade hidráulica, é possível prever a produtividade de cada furo em gamas de valores variáveis de acordo com o sistema considerado. Para habitações individuais, os caudais requeridos pelo sistema de ATES são de tal forma baixos que qualquer dos aquíferos porosos antes referidos, e mesmo muitos dos aquíferos freáticos apenas com importância local (que não são individualizados no SNIRH), têm condições para satisfazer essas necessidades. Quando se trata da climatização de edifícios de maior dimensão ou de conjuntos habitacionais, as exigências são maiores no que respeita aos caudais a explorar e então haverá que avaliar a situação específica no sentido de configurar o sistema de bombas geotérmicas mais eficiente (bombas em circuito aberto ou fechado, permutadores geotérmicos do tipo coaxial ou em duplo U, integração do sistema geotérmico com outros sistemas, combinação com sistemas de acumulação de frio e de calor, etc.).

Atendendo às características geológicas e hidrogeológicas do sistema aquífero Bacia do Tejo-Sado/Margem esquerda, à sua localização e à sua situação actual, afigura-se que poderá representar uma fonte de energia renovável importante e espacialmente distribuída, numa zona com elevada densidade populacional. Os principais factores favoráveis relativos aos primeiros 100 metros deste sistema aquífero são:

- não serem utilizados nem pelo abastecimento público nem pela indústria;
- serem do tipo poroso;
- serem aquíferos pouco profundos;
- terem os níveis estáticos e dinâmicos a pequena profundidade;
- terem elevada produtividade;
- estarem naturalmente isolados dos aquíferos subjacentes;



**1.º Conferência de Planeamento Regional e Urbano & 11.º Workshop APDR**  
**TERRITÓRIO, MERCADO IMOBILIÁRIO E A HABITAÇÃO**  
11 de Novembro de 2011 | Universidade de Aveiro

- ocuparem uma área grande da Área Metropolitana de Lisboa.

## 5. CONCLUSÕES

Em Portugal existem condições naturais bastante favoráveis à utilização generalizada de bombas de calor geotérmico, constituindo mais uma fonte de energia renovável que pode contribuir significativamente para a redução da dependência energética e das emissões de gases com efeito de estufa.

É claro que qualquer que seja a aplicação em causa, esta carece sempre de um projecto específico. Contudo, para apoiar estes projectos existe um conjunto de informações, sobretudo relativas ao comportamento térmico dos aquíferos e dos materiais rochosos, que deve ser disponibilizado pelos serviços públicos do estado. Inclusivamente, embora já existam algumas empresas em Portugal que se dedicam ao aproveitamento desta fonte de energia geotérmica, não existe um enquadramento legal específico para este sector de actividade. Por estas razões, considera-se urgente que o estado promova projectos de investigação e de demonstração, envolvendo entidades públicas e privadas.

Não só os projectos específicos destas aplicações como as avaliações de impacte ambiental que, à semelhança de outros países europeus, deverá fazer parte do processo de legalização deste tipo de aplicações, carecem também de informação específica, em particular sobre a propagação de plumas térmicas ao nível dos nossos aquíferos.

A presente comunicação pretende chamar a atenção para mais esta fonte de energia renovável e contribuir para o desenvolvimento de parcerias que contribuam para o crescimento sustentável deste sector económico.

## Bibliografia

1. Almeida, C.; Mendonça, J. J. L.; Jesus, R.M. & Gomes, A. J.. *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. INAG / CGUL, Lisboa. 661 p. , (2000).
2. LNEG, *Carta Geológica de Portugal na escala 1/1.000.000*, ed. LNEG, Lisboa, (2010).
3. Oliveira, J. T.; Pereira, E.; Ramalho, M.; Antunes, M. T.; Monteiro, J. H., *Carta Geológica de Portugal na Escala 1:500 000*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa, (1992).