

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GEOTÉRMICO DE AQUÍFERO COSTEIRO

Juliane Griebeler¹; Carlos Palma²; Malva A. Mancuso³

Resumo – A União Europeia (UE) revelou que os edifícios consomem 41% da energia produzida. A UE forneceu diretivas e incentivos aos estados membros para até 2020 reduzirem a produção de gases de efeito de estufa, aumentarem a parcela da energia obtida a partir de fontes renováveis e aumentarem a eficiência na energia consumida, nos sistemas térmicos dos edifícios. Neste contexto se apresenta a análise do potencial geotérmico para aproveitamento energético do aquífero costeiro junto ao rio Tejo, subjacente à zona urbana de Alcântara, em Lisboa, Portugal. A análise térmica foi realizada com base na coleta de dados de temperatura do perfil vertical do aquífero coletados com sondas instaladas em 16 poços. A gama de temperaturas do aquífero, entre 17,3 °C e 20,9 °C, possibilita que o seu calor seja explorado diretamente a partir de bombas de calor geotérmicas.

Abstract – The European Union (UE) reported that buildings expend 41% of the produced energy. The UE has provided directives and incentives to member states to reduce until 2020, greenhouse gas output, increase the share of energy from renewable sources, and increase energy efficiency in buildings' thermal systems. In this context presents the analysis of the potential for geothermal energy use of coastal aquifer along the river Tagus, underlies the urban area of Alcântara, in Lisbon, Portugal. The thermal analysis was performed based on the collection of temperature data of the vertical profile of the aquifer, collected by dataloggers installed in 16 piezometers. The range of temperatures in the aquifer between 17.3°C and 20.9°C allows its heat to be directly exploited from Groundwater Heat Pumps – GWHP.

Palavras-Chave – Águas Subterrâneas. Bomba de Calor. Geotermia.

¹ Eng. Ambiental e Sanitarista, Universidade Federal de Santa Maria: Frederico Westphalen – RS, (55) 996488798, juligriebeler@gmail.com

² Eng. Mecânico e Eng. Ambiental e Sanitarista, Universidade Federal de Santa Maria: Frederico Westphalen – RS, (55) 999744389, carlospalma58@gmail.com

³ Hidrogeól. PhD, Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria: Frederico Westphalen – RS, (55) 37440643, malvamancuso@ufsm.com

1. INTRODUÇÃO

A União Europeia (UE) revelou que os edifícios são o maior consumidor de energia, consumindo 41% da energia produzida, seguidos da indústria e dos transportes que consomem cerca de 30%. A UE confirmou que os edifícios representam o maior e mais rentável potencial de poupança de energia (ANISIMOVA, 2011).

Para atingir os objetivos ambiciosos do protocolo de Quioto (1997), de 20% de redução do consumo de energia primária, de 20% de redução nas emissões de gases de efeito de estufa ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4$) e de 20% de aumento na eficiência dos sistemas energéticos, até ao ano de 2020 (relativo às quantidades de 1990), é de fundamental importância, que se desenvolvam materiais, processos construtivos e equipamentos, que permitam a melhoria da eficiência energética nos edifícios, bem como o aproveitamento das energias renováveis disponíveis.

Tendo em vista as dificuldades na redução do consumo energético tradicional em áreas costeiras densamente urbanizadas e a importância em proporcionar alternativas para suprir parte desse consumo, o presente estudo propôs a avaliação do potencial térmico existente em sub-superfície nas águas subterrâneas do aquífero sedimentar costeiro localizado no bairro de Alcântara, às margens do Rio Tejo (Lisboa, Portugal), com vista a suprir parte da demanda energética.

A potencialidade geotérmica do aquífero foi avaliada considerando que, para o aproveitamento do calor por bombas de calor geotérmicas as águas subterrâneas devem apresentar temperaturas entre 16 e 32°C, de acordo com as diretrizes da ASHRAE (2016).

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1. Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo se localiza em Lisboa (capital de Portugal), na região costeira do bairro de Alcântara, (vizinhança do ponto coordenado 38°47'7,39"N e 9°10'30,45"W) junto ao Rio Tejo, na proximidade da sua foz para o Oceano Atlântico, (Figura 1).



Fonte: Griebeler (2016)

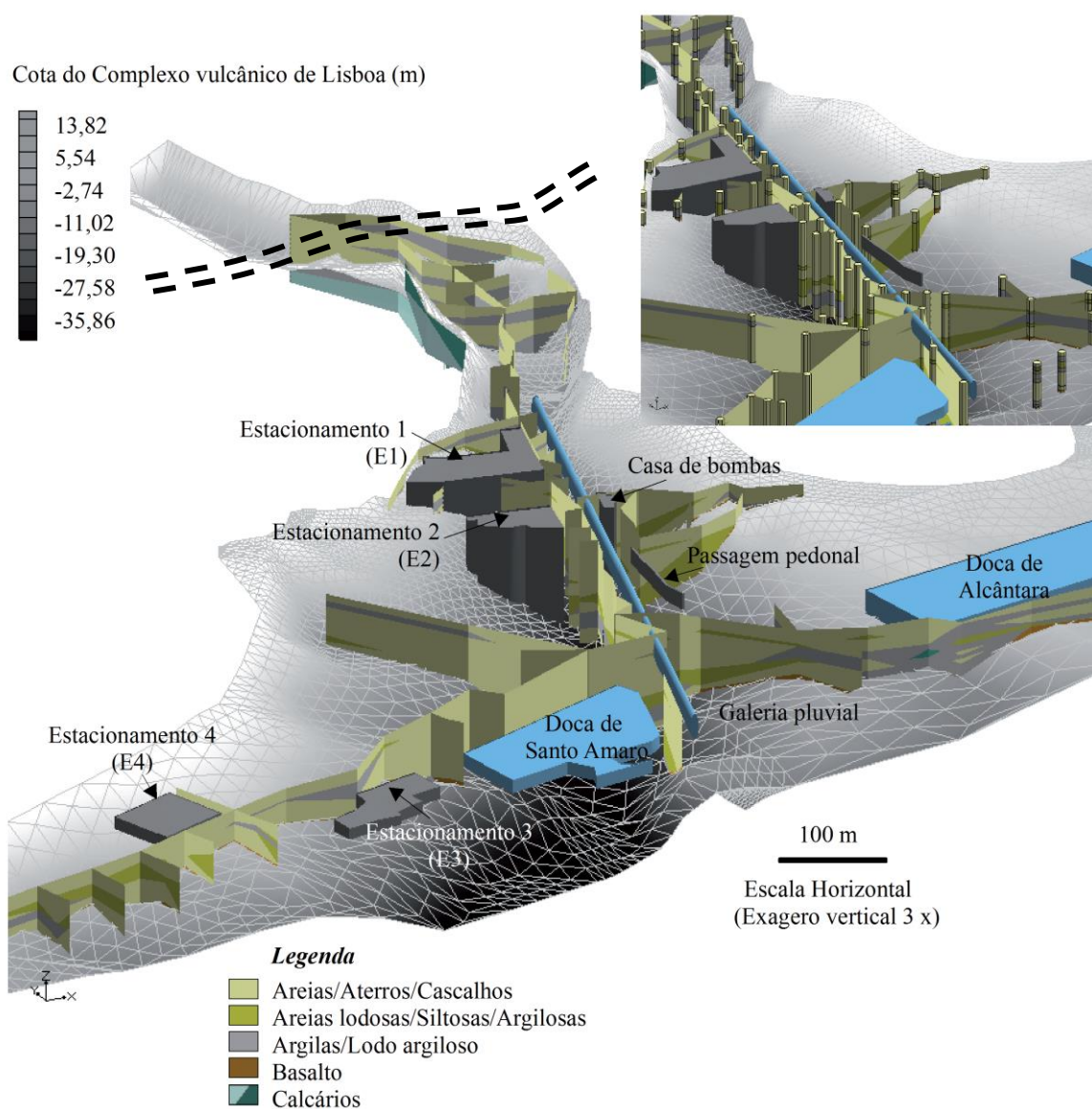
Figura 1. Área de estudo no Bairro de Alcântara – Lisboa (Portugal)

2.2. Caracterização Geológica

Segundo Almeida (1986) a região possui um aquífero sedimentar livre compreendido entre o rio Tejo e o afloramento de rocha vulcânica e rocha calcária. O aquífero tem por base o Complexo Vulcânico de Lisboa, composto por basaltos, e parcialmente ao norte por calcários compactos.

2.3. Caracterização Geotécnica

Segundo Mancuso et al. (2008, 2009, 2010, 2011) os sedimentos aluvionares, depositados pelo Rio Tejo e pela Ribeira de Alcântara no Vale de Alcântara (entre outros afluentes de menor importância), compõem o aquífero livre, com uma espessura saturada de até 40 m. O aquífero possui estratigrafia vertical com porosidade granular, composto por camadas intercaladas de areias médias a finas, camadas areno-argilosos e argilo-arenosos e camadas de argilas lodosas (na proximidade do Rio Tejo e do Canal Pluvial de Alcântara). A área em estudo tem o seu espaço subterrâneo obstruído por diversas construções, entre elas estacionamentos, canais pluviais, estação de bombeamento, docas e túneis, (Figura 2).



Fonte: Mancuso (2014)

Figura 2. Representação tridimensional das estruturas subterrâneas construídas e composição geológica do aquífero de Alcântara

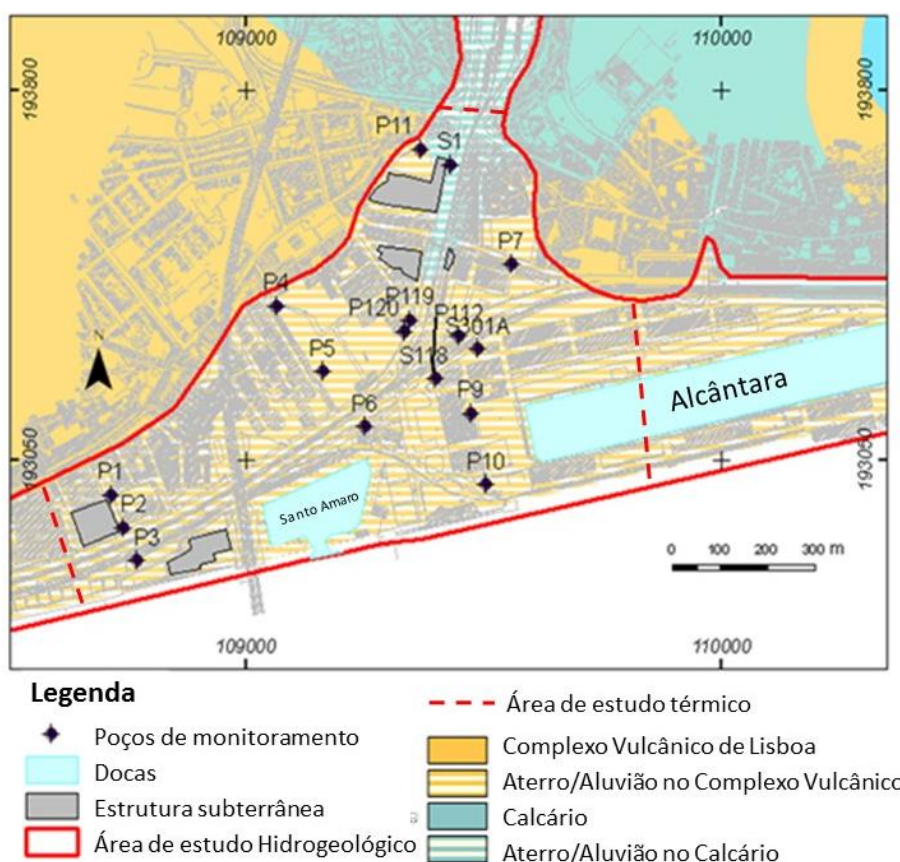
De acordo com Mancuso et al. (2016) as águas subterrâneas do aquífero, na proximidade do Rio Tejo, sofrem variações de nível, provocadas pelo rio que sofre a influência das marés do Oceano Atlântico, que atingem o Rio Tejo entrando pela zona do estuário. As águas subterrâneas são também influenciadas pelo fluxo proveniente das águas de drenagem pluvial do Vale de Alcântara (localizado na região central da área de estudo), que foram canalizadas e fluem pela Galeria Pluvial de Alcântara (também denominado Caneiro de Alcântara), cuja base é permeável, permitindo a hidrodinâmica rio-aquífero. O Caneiro atravessa a área de nordeste a sudoeste, na direção do Rio Tejo.

O aquífero costeiro apresenta condutividades hidráulicas com amplitudes variando de 0,01 m/d a 17 m/d e cargas hidráulicas entre 1,0 m, perto da zona de afloramento da rocha basáltica e dos calcários, e 0,3 m, próximo ao rio Tejo Mancuso et al. (2016). A potenciometria indica escoamento de águas subterrâneas na direção do Rio Tejo e do Caneiro, com baixo gradiente de aproximadamente 2 ‰.

Durante o dia, alterações de 0,2 m até 2,1 m do nível das águas subterrâneas, são provocadas pela influência das marés.

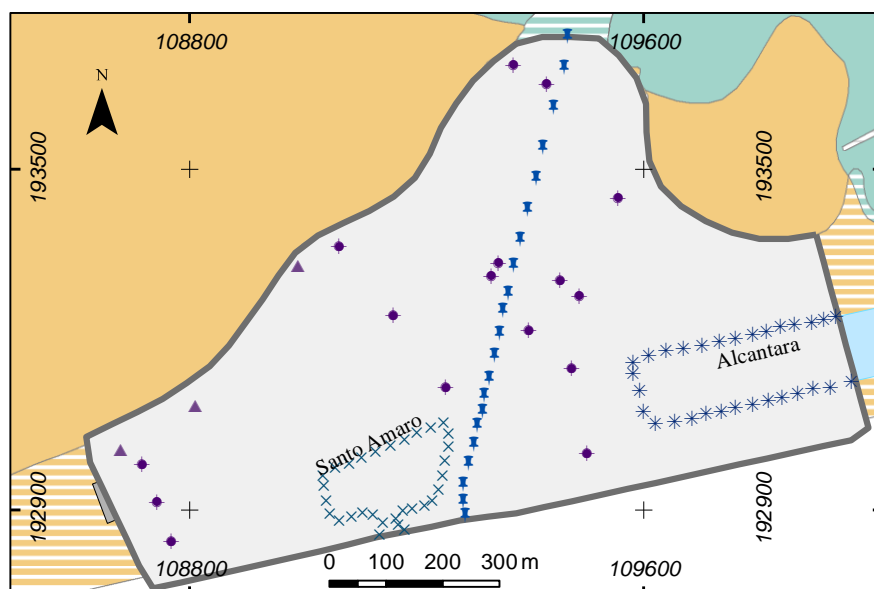
3. CAPACIDADE GEOTÉRMICA DO AQUÍFERO

O estudo da capacidade geotérmica do aquífero costeiro do Vale de Alcântara foi realizado com base em dados de maré e dados de monitoramento horário da temperatura, efetuado em 16 poços de monitoramento (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P112, P9, P10, P11, S1, P119, P120, S118, S301A) instalados na região costeira do Vale de Alcântara, nas proximidades do Rio Tejo), (Figuras 3 e 4 e Tabela 1).



Fonte: Adaptado de Almeida (1986) apud Mancuso et al. (2011)

Figura 3. Localização dos poços de monitoramento em Alcântara (Lisboa, Portugal)



Legenda

- ◆ Piezómetro (monitoramento térmico)
- ▲ Afloramento de Basalto (estimativa de temperatura)
- × Doca de Santo Amaro
- * Doca de Alcântara
- ⊥ Caneiro de Alcântara
- ▭ Área de estudo térmico
- Doca
- Estrutura subterrânea
- Estrutura de superfície/Sistema viário
- Complexo vulcânico de Lisboa
- Aterro/Aluviões sobre o Complexo vulcânico
- Calcários cristalizados e Calcários apinhoados
- Aterro/Aluviões sobre os Calcários

Fonte: Griebeler (2016)

Figura 4. Localização dos pontos com dados de temperatura utilizados no estudo de comportamento térmico do aquífero costeiro do Vale de Alcântara

Tabela 1. Poços de monitoramento no aquífero costeiro urbano de Alcântara - Lisboa (Portugal)

| Poço de Monitoramento | Coordenadas Geográficas | | Afastamentos (m) | | Outras Referências Relevantes |
|-----------------------|-------------------------|--------|------------------|-------------------------|---|
| | X (m) | Y (m) | Ao Rio Tejo | Ao Caneiro de Alcântara | |
| P1 | 108716 | 192980 | 200 | 590 | a 320 m da Doca de Santo Amaro. Presença de estacionamento subterrâneo. |
| P2 | 108743 | 192914 | 145 | 550 | a 300 m da Doca de Santo Amaro. Presença de estacionamento subterrâneo. |
| P3 | 108768 | 192845 | 70 | 530 | a 275 m da Doca de Santo Amaro. Presença de estacionamento subterrâneo. Mais próximo à linha de costa. |
| P4 | 109064 | 193364 | 520 | 300 | a 35 m do afloramento basáltico. |
| P5 | 109159 | 193243 | 370 | 190 | a 215 m da Doca de Santo Amaro. |
| P6 | 109252 | 193116 | 240 | 75 | a 70 m da Doca de Santo Amaro. |
| P11 | 109371 | 193684 | 700 | 50 | a 25 m do afloramento basáltico. Próximo ao Caneiro de Alcântara. |
| S1 | 109430 | 193650 | 700 | 2 | a 80 m do afloramento basáltico. Presença de estacionamento subterrâneo. Junto ao Caneiro de Alcântara. |
| P7 | 109556 | 193450 | 510 | 165 | a 80 m do afloramento basáltico. |
| P119 | 109345 | 193335 | 440 | 30 | a 220 m do afloramento basáltico. Próximo ao Caneiro de Alcântara. |
| P120 | 109332 | 193312 | 415 | 30 | a 230 m do afloramento basáltico. Próximo ao Caneiro de Alcântara. |
| P112 | 109453 | 193305 | 390 | 80 | a 240 m do afloramento basáltico. |
| S301A | 109487 | 193277 | 350 | 130 | a 145 m da Doca de Alcântara. |
| S118 | 109398 | 193217 | 315 | 50 | a 200 m da Doca de Alcântara. Próximo ao Caneiro de Alcântara. |
| P9 | 109474 | 193149 | 230 | 150 | a 100 m da Doca de Alcântara. |
| P10 | 109501 | 193000 | 80 | 200 | a 130 m da Doca de Alcântara. Mais próximo à linha de costa. |

Fonte: Palma (2018)

As temperaturas registradas em cada piezômetro foram ajustadas à geometria do aquífero, de acordo com as profundidades das camadas geológicas (Tabela 2).

Na camada superior (Z_{sup} - cota de base de -3,30 m, com espessura de 3,98 m) a maior temperatura registrada foi de 19,8°C no P 119, enquanto a menor temperatura de 17,3°C foi registrada no P9, ambas na maré baixa. A amplitude da variação térmica na camada superior foi de 2,5°C, durante a maré baixa e durante a maré alta.

Na camada intermediária (Z_{int} - cota de base de -10,20 m, com espessura de 3,40 m) a maior temperatura registrada foi de 20,9°C no P2, e a menor foi de 18,8°C no P9, ambas durante a maré baixa. A variação da temperatura na zona intermediária do aquífero foi de 2,1°C durante a maré baixa e de 2,0°C durante a maré alta.

A camada de base (Z_{base} - cota de base de -24,00 m, com espessura de 10,10 m) é a mais profunda e espessa, e apresentou o maior valor registrado, de 20,5°C no P119 e P120 (Figura 5), tanto para maré baixa como para maré alta, demonstrando que não há influência da maré na variação térmica do aquífero nessa zona. A menor temperatura registrada foi de 19,2°C no P112, durante a maré baixa. A variação da temperatura na base do aquífero foi de 1,3°C durante a maré baixa e de 1,2°C durante a maré alta.

Na região do P7 e P9 encontram-se as menores temperaturas, devendo esse fato estar relacionado à geologia do local (afloramento de calcários), uma vez que as maiores temperaturas (zonas mais quentes) ocorrem próximo ao afloramento rochoso de basalto.

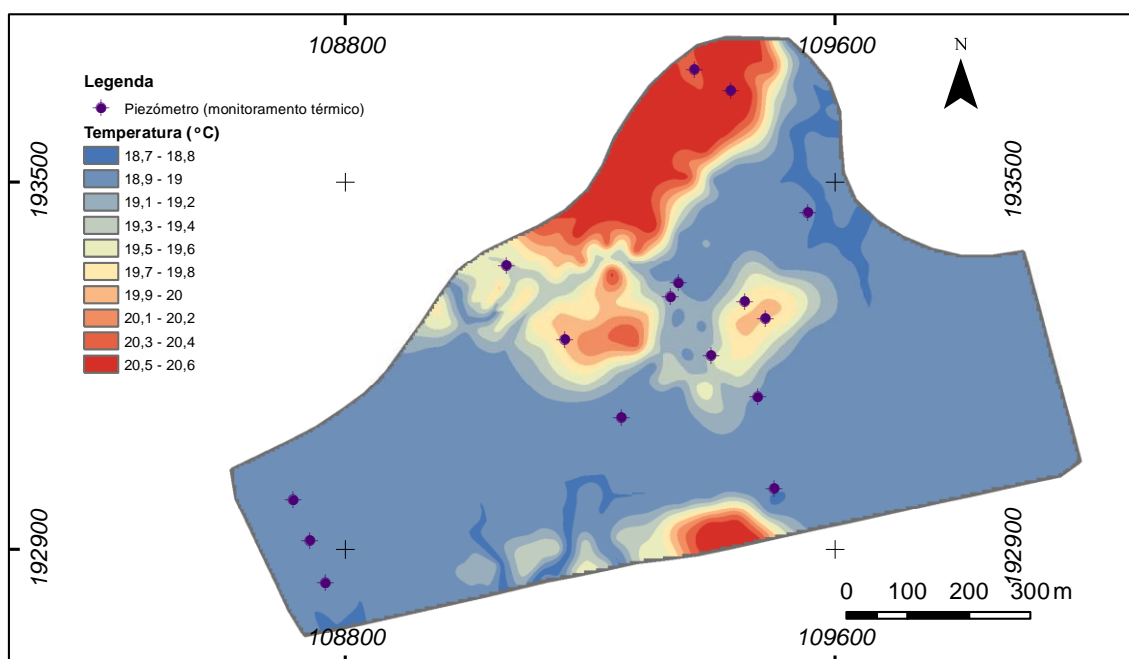
Verifica-se que a existência de elevado número de construções subterrâneas no local interferindo com a hidrodinâmica do aquífero e conseqüentemente com a sua distribuição de temperaturas.

A análise da variação das temperaturas por camadas e a diferentes profundidades, numa mesma camada, permitiu constatar que ocorre variação decrescente da temperatura com a profundidade.

Tabela 2. Temperaturas e níveis das águas subterrâneas observados na coluna de água no aquífero costeiro durante as marés alta e baixa

| Poço | Cotas Instalação Sondas (m) | | | Condição de Maré Baixa | | | | Condição de Maré Alta | | | |
|-------|-----------------------------|------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|----------------|
| | Z _{sup} | Z _{int} | Z _{base} | T _{sup} (°C) | T _{int} (°C) | T _{base} (°C) | Nível Água (m) | T _{sup} (°C) | T _{int} (°C) | T _{base} (°C) | Nível Água (m) |
| P1 | 0,68 | --- | --- | 18,7 | --- | --- | -1,76 | 19,2 | --- | --- | 1,61 |
| P2 | -0,50 | -3,70 | -6,80 | 19,3 | 20,9 | --- | -1,09 | 19,5 | 20,9 | --- | 1,08 |
| P3 | -1,20 | -4,40 | -7,60 | 18,7 | 20,0 | --- | -1,09 | 18,9 | 20,0 | --- | 1,08 |
| P4 | -0,90 | -8,10 | -14,90 | 18,4 | 19,3 | 19,4 | -1,07 | 18,4 | 19,3 | 19,4 | 0,90 |
| P5 | -0,97 | -8,50 | -15,90 | 18,9 | 19,1 | 19,7 | -1,07 | 19,3 | 19,6 | 19,7 | 0,90 |
| P6 | -2,50 | -8,20 | -15,80 | 19,0 | 19,5 | 20,0 | -0,86 | 19,3 | 20,0 | 20,0 | 0,85 |
| P7 | -1,60 | --- | --- | 17,4 | --- | --- | -1,76 | 17,3 | --- | --- | 1,66 |
| P112 | -0,10 | -7,70 | -14,40 | 18,8 | 18,9 | 19,2 | -1,76 | 19,0 | 19,2 | 19,3 | 1,63 |
| P9 | -0,90 | -7,40 | -13,90 | 17,3 | 18,8 | 19,7 | -1,41 | 17,3 | 19,2 | 19,7 | 1,22 |
| P10 | -0,90 | -4,80 | -8,90 | 19,6 | 20,1 | --- | -0,86 | 19,6 | 20,1 | --- | 0,85 |
| P11 | -2,70 | --- | --- | 18,8 | --- | --- | -1,76 | 18,7 | --- | --- | 1,66 |
| S1 | -0,90 | -8,10 | -15,40 | 18,9 | 19,4 | 19,9 | -1,35 | 18,9 | 19,5 | 19,9 | 1,32 |
| P119 | -3,30 | -24,00 | -28,10 | 19,8 | --- | 20,5 | -1,71 | 19,8 | --- | 20,5 | 1,60 |
| P120 | -0,80 | -10,20 | -19,40 | 19,3 | 20,3 | 20,5 | -1,25 | 19,3 | 20,3 | 20,5 | 1,22 |
| S118 | -1,00 | -9,00 | -17,20 | 19,3 | 19,8 | 19,7 | -1,76 | 19,4 | 19,8 | 19,7 | 1,63 |
| S301A | -1,20 | -9,70 | -22,00 | 19,4 | 18,9 | 19,3 | -1,71 | 19,3 | 18,9 | 19,3 | 1,60 |

Fonte: Palma (2018)



Fonte: Griebeler (2016)

Figura 5. Temperaturas nos poços monitorados na camada base do aquífero, na maré baixa

4. CONCLUSÕES

O estudo avaliou o comportamento da temperatura em um aquífero costeiro urbano localizado nas margens do Rio Tejo (Lisboa, Portugal) durante a primavera do ano de 2009.

Os valores de temperatura ocorrentes na área de estudo estão compreendidos entre 17,3 °C e 20,9 °C. A energia térmica presente no aquífero raso pode ser aproveitada por meio de bombas de calor geotérmicas, que permitirão o aquecimento e o resfriamento das instalações de conforto térmico dos edifícios e a produção de água quente sanitária nos edifícios - AQS.

Os fatores que influenciam a distribuição da temperatura na área são, principalmente, as estruturas subterrâneas, a estratificação litológica, a proximidade de afloramentos rochosos e as condições das marés, sendo que este último diminui com o aumento da profundidade.

A variabilidade térmica no aquífero indicou a interferência das infraestruturas urbanas no comportamento térmico das camadas próximas à superfície. Outro fator de influência na distribuição térmica é a proximidade dos afloramentos de calcários e basaltos, que alteram o comportamento nas camadas de base.

Considerando a litologia, a área próxima aos calcários apresenta valores inferiores de temperatura em relação às observadas a profundidades semelhantes no restante do aquífero. Ao contrário, nas regiões próximas aos basaltos, as temperaturas do aquífero foram superiores em relação às observadas em outras zonas.

A variabilidade temporal, analisada pela variação das marés, permite afirmar que, nas proximidades das docas, a maré influencia o comportamento termal da zona superior do aquífero; enquanto que na base, o sistema apresenta temperaturas estáveis tanto para maré alta quanto para maré baixa.

Os registros de temperaturas do aquífero indica que o sistema é capaz de fornecer a energia necessária ao circuito primário das bombas de calor geotérmicas, as quais permitirão satisfazer as necessidades térmicas dos edifícios, através dos seus sistemas termodinâmicos.

A exploração geotérmica do aquífero de Alcântara por bombas de calor pode representar uma poupança energética de aproximadamente 15%, quando comparada aos sistemas

convencionais. Em função da sua eficiência, a implantação das bombas de calor geotérmicas tem como vantagem a redução dos custos de exploração, além de apresentar menor impacto visual, do ponto de vista arquitetônico, devido à inexistência de equipamentos instalados no exterior. Uma outra vantagem do aproveitamento geotérmico é a possibilidade de utilização de energia renovável, localmente disponível, assim como a sua contribuição na redução do aquecimento do ar exterior (contribuindo para a redução da formação de ilhas de calor) e do aquecimento global (reduzindo a produção de CO₂).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. M. Carta Geológica do Concelho de Lisboa. Direcção-Geral de Geologia e Minas. 1986.
- ANISIMOVA N. The Capability to Reduce Primary Energy Demand in EU housing. *Energy Buildings*, 43:2747–51. 2011.
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. HVAC Systems and Equipment. Atlanta, USA. 2016.
- ESRI. ArcGIS 10.0 for Desktop Basic. Software. 2014.
- GRIEBELER, J. S. Análise do Comportamento da Temperatura em Aquífero Costeiro Urbano sob Influência da Maré e Estruturas Subterrâneas. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2016. In Press.
- HEIN P. et al. Quantification of exploitable shallow geothermal energy by using Borehole Heat Exchanger coupled Ground Source Heat Pump systems. *Energy Conversion and Management*, 2016;127:80-89.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2012.
- MANCUSO, M. A. et al. Coastal aquifer hydrodynamics and salinity in response to the tide: Case study in Lisbon, Portugal. [s.l.]: Hydrology Research, 2016. v.47. n.5. p. 15.
- MANCUSO, M. A. et al. Modelo matemático do escoamento subterrâneo no vale de Alcântara. Relatório Setorial da Fase 1: Águas Subterrâneas. Lisboa: Relatório LNEC 378/2008 – NAS, 2008. p. 59.
- MANCUSO, M. A. et al. Potential impact of groundwater salinity stratification on concrete and metal of a tunnel to be built under a coastal urban aquifer, Portugal. 13th AFTES International Congress. Lyon: Association Française des Tunnels et de L'Espace Souterrain, 2011. p. 8.
- MANCUSO, M. A. et al. Potential impact of groundwater salinity stratification on concrete and metal of a tunnel to be built under a coastal urban aquifer, Portugal. In: 13 th AFTES International Congress, 2011, Lyon. 13 th AFTES International Congress. Lyon: Association Françaises des Tunnels et de L'Espace Souterrain. 8p. 2011.
- MANCUSO, M. A. Modelo conceitual da conectividade aquífero fraturado-aquífero sedimentar em ambiente subterrâneo construído. In: Revista Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental. [s.l.]: Tribo da Ilha, 2014. v.3. n.1. p. 117- 127. ISSN 2237-4590.
- MANCUSO, M. A.; KRUSE, E.; DLUCHI, M. A utilização de modelação numérica hidrogeológica como instrumento de apoio no planeamento da ocupação do espaço urbano subterrâneo. In: Encontro Nacional sobre o Espaço Subterrâneo e a sua Utilização / ed. LNEC. Lisboa: Comissão Portuguesa de Túneis (CPT), Sociedade Portuguesa de Geotecnia (SPG), 2010. p. 8.
- MANCUSO, M. A.; NOVO, M. E.; FERREIRA, J. P. C. L. Modelo matemático do escoamento Subterrâneo no vale de Alcântara. 1º Relatório Setorial da Fase 2: Águas Subterrâneas. Lisboa: Relatório LNEC 229/2009 – NAS, 2009. p. 47.
- MASCIALE R.; CARLO L.; CAPUTO M. C. Impact of a very low enthalpy plant on a coastal aquifer: a case of study in Southern Italy. *Environ Earth Sci*, 74:2093-2104. 2015.

MASCIALE, R.; CAPUTO, M. C.; DE CARLO, L. Exploitation of low enthalpy geothermal resource: a methodology to characterize a coastal area. In: IV National Congress AIGA 2012. Perugia: Engineering Hydro Environmental Geology, 2012.

PALMA, C. M. C. C. Avaliação do Potencial Geotérmico em Aquífero Costeiro para Aproveitamento Energético em Sistemas Térmicos de Edifícios. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2018. In Press.

UNIÃO EUROPEIA (UE). Comissão de Economia do Parlamento Europeu. An EU strategy on heating and cooling. "COM 2016 – 51 final", de 2016-02-16.

UNIÃO EUROPEIA (UE). Diretiva do parlamento europeu e do conselho. nº 2009-28-CE. Relativa à promoção de utilização de energia proveniente de fontes renováveis, de 2008-04-23.

UNIÃO EUROPEIA (UE). Diretiva do parlamento europeu e do conselho. nº 2010-31-EU. Relativa ao desempenho energético dos edifícios, de 2010-05-19.

UNIÃO EUROPEIA (UE). Diretiva do parlamento europeu e do conselho. nº 2012-27-EU. Relativa à eficiência energética, de 2012-10-25.

UNIONE GEOTERMICA ITALIANA (UGI); CONSIGLIO NAZIONALE DEI GEOLOGI (CNG) La Geotermia - Ieri, Oggi, Domani. Pisa-Roma: ETS, 2007. p. 95.

ZHU, K. et al. The geothermal potential of urban heat islands. Environ Res Lett 2010; 5(4):044002.