

Avaliação do potencial de utilização da Energia Geotérmica superficial em Fátima do Sul/MS: Análise para utilização de bomba de calor com troca de energia em uma massa de água.

Evaluation of the potential of the use of Geothermal Surface Energy in Fatima do Sul/MS: Analysis for use of heat pump with energy exchange from mass of water.

Thainá Lemos Pereira¹; Agleison Ramos Omido².
tha_inalemos@hotmail.com¹; agleisonomido@ufgd.edu.br².

RESUMO – A Energia Geotérmica, originada do calor proveniente do interior da Terra, além de ser uma fonte de energia limpa tornou-se uma alternativa economicamente viável que pode contribuir significativamente para países em desenvolvimento como o Brasil. A Energia Geotérmica pode ser dividida em alta, média, baixa e muito baixa entalpia, mostrando-se muito versátil. Neste trabalho realizamos estudos para o aproveitamento da Energia Geotérmica na climatização de edificações definindo como fonte de troca de calor externo uma massa de água que teve sua temperatura monitorada durante um período de tempo determinado. Os resultados iniciais são promissores indicando uma diferença de temperatura relevante entre o ambiente e a massa de água monitorada, ratificando a possibilidade de utilização dessa técnica na climatização de ambientes.

Palavras-chave: Energia geotérmica de baixa entalpia. Bomba de calor geotérmica. Água como fonte de troca de calor.

ABSTRACT – Geothermal energy, originating from the heat coming from the interior of the Earth, besides being a source of clean energy has become an economically viable alternative that can contribute significantly to developing countries such as Brazil. Geothermal energy can be divided into high, medium, low and very low enthalpy, showing to be very versatile. In this work we carry out studies for the use of Geothermal Energy in the air conditioning of buildings, defining as a source of external heat exchange a mass of water that had its temperature monitored during a determined period of time. The initial results are promising indicating a relevant temperature difference between the environment and the monitored water mass, ratifying the possibility of using this technique in ambient air conditioning.

Keywords: Low enthalpy geothermal energy. Geothermal heat pump. Water as a source of heat exchange.

1. INTRODUÇÃO

Não é novidade que o termo sustentável tem sido abordado em diversas áreas de trabalho da atualidade. Para a construção civil não tem sido diferente, afinal tem-se procurado aderir o desenvolvimento sustentável em toda etapa de uma construção. A eficiência energética tem sido uma das principais medidas a serem abordadas, uma vez que existem diversas maneiras de climatizar um ambiente, aquecendo-o ou resfriando-o, por meio de várias fontes de energia (RAPOSO et al., 2015).

Em nosso planeta existem diferentes fontes de energia, as quais são classificadas em renováveis ou não renováveis. Fontes não renováveis são aquelas que se encontram na natureza em quantidades limitadas e se extinguem com a sua utilização como, por exemplo, o petróleo, o carvão mineral e o gás natural (LAVEZZO, 2016).

Segundo TAVARES (2012, p.1) “Energias renováveis são todas aquelas cuja taxa de renovação é superior á taxa de utilização.” Assim pode-se citar como exemplos a energia solar, a energia hídrica, eólica, biomassa, biogás e geotérmica.

De maneira literal energia geotérmica é a energia proveniente da terra, adquirida através da absorção dos raios solares pelo solo, podendo ser

convertida em energia elétrica ou energia térmica (CARDOSO, 2013).

O calor da terra é a maior fonte de energia renovável que existe. Além disso, a possibilidade de diversas formas de utilização desta energia tem despertado muita atenção (TRILLO et al., 2008).

Podem-se estabelecer quatro categorias para a energia geotérmica: se superiores a 150°, geotermia de alta entalpia, onde é possível gerar eletricidade através do vapor d’água; geotermia de média entalpia engloba temperaturas entre 90° e 150°, possibilitando também a geração de eletricidade; geotermia de baixa entalpia entre 30° e 90°, energia que só pode ser aproveitada para usos térmicos, de forma direta ou indireta; temperaturas abaixo dos 30°, geotermia de muito baixa entalpia, que é aproveitada com recurso das bombas de calor geotérmicas (TRILLO et al., 2008).

Estudos comprovam que a temperatura do solo possui uma constância, onde se encontram temperaturas abaixo dos 30°, numa faixa entre 6,1 m a 45,7 metros de profundidade (HART e COUVILLION, 1986, apud CHIASSON, 1999).

Uma maneira de extrair essa energia geotérmica de muito baixa entalpia é através do uso das bombas de calor geotérmico (GSHP). Equipamento

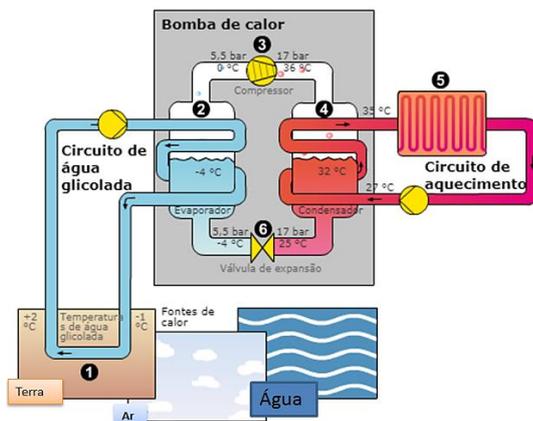
Análise para utilização de bomba de calor com troca de energia em uma massa de água.

constituído por um permutador de calor, um sistema de dutos e uma bomba de calor que transfere a energia térmica entre o circuito e os dutos. Uma opção viável que pode ser usada para a climatização de ambientes (NASCIMENTO et al., 2012).

Consideradas como uma máquina térmica, as bombas de calor, através do trabalho mecânico transfere calor de uma fonte fria para uma fonte quente, e vice-versa, por meio de ciclos de compressão de vapor. Suas aplicações são amplas, mas no contexto em questão pretende-se utilizar essa funcionalidade para transferir calor entre edifícios e o ambiente externo (NAICKER, 2015).

O ciclo de compressão consiste na mudança de estado físico do fluido de trabalho que se encontra dentro da bomba de calor, como pode ser observado na Figura 1. Normalmente é utilizado um fluido refrigerante, que é escolhido de acordo com o sistema de GSHP a ser utilizado (SELF et al, 2013).

Figura 1 - Ciclo por compressão de vapor.



Fonte: Glen Dimplex, 2018.

As bombas de calor para aquecimento de ambiente funcionam da seguinte forma (SELF et al., 2013):

- I. O calor retirado do exterior (1) é levado ao evaporador (2) onde ocorre a primeira troca de energia;
- II. O fluido refrigerante usado no circuito capta esse calor e ao entrar no evaporador (2), transforma-se em um vapor de baixa pressão;
- III. O vapor passa pelo compressor (3) onde a pressão aumenta significativamente, resultando assim em um vapor de alta temperatura e pressão;
- IV. O vapor de alta temperatura entra no condensador (4) onde arrefece e condensa passando a ser um líquido de alta pressão e temperatura. Nesta etapa ocorre a transferência de calor para o ambiente (5);
- V. Em seguida, a válvula de expansão (6) reduz a pressão do fluido refrigerante, diminuindo assim a temperatura e permitindo o mesmo iniciar um novo ciclo.

A eficiência de uma bomba de calor se dá pelo coeficiente de desempenho, na terminologia inglesa “coefficient of performance - COP”, que consiste basicamente no quociente entre a quantidade de calor produzido pela bomba

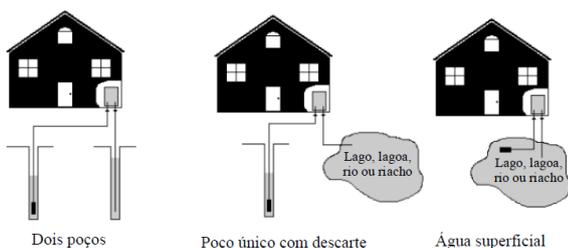
Análise para utilização de bomba de calor com troca de energia em uma massa de água.

de calor e a quantidade de energia elétrica consumida para o fazer. Os valores deste coeficiente variam entre 3 a 6, dependendo muito das configurações e tamanho do sistema usado, das características do subsolo, condições climáticas e entre outras (LOPES, 2014).

Os sistemas de bombas de calor podem ser adaptados a quase todas as condições do subsolo, além disso, pode se utilizar vários tipos de fontes de calor. Dessa forma são classificados como sistemas abertos ou fechados (EGEC, 2015).

Os sistemas de GSHP abertos trabalham diretamente com água subterrânea ou água superficial, como pode ser observado na Figura 2 abaixo. Após a água ser extraída e passar pelo permutador da bomba, pode ser descartada na fonte ou outro local para ser utilizada em outros fins. Apesar do baixo custo de implantação, esse sistema precisa de uma atenção maior ao que diz respeito à qualidade da água e manutenção do sistema (SWENKA, 2008).

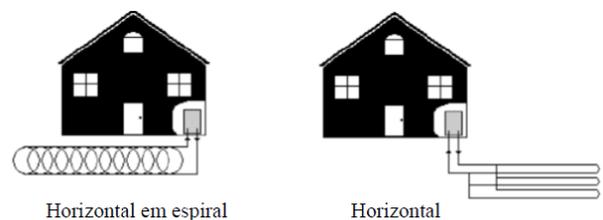
Figura 2 – Sistema de circuito aberto.



Fonte: Adaptado de Swenka, 2008.

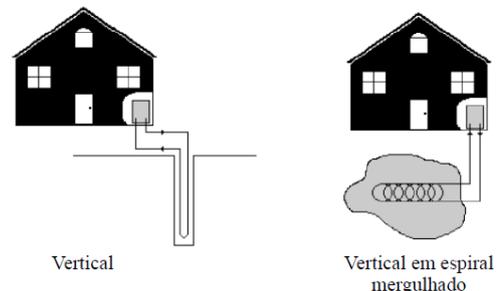
Nos sistemas fechados, a transferência de calor é realizada através dos tubos instalados no subsolo, devido à percolação de um fluido que ocorre dentro dos mesmos durante todo o ciclo, ora transferindo o calor do solo para a edificação, ora transferindo o calor da edificação para o solo. Os tubos em questão podem ser instalados tanto na vertical como na horizontal, conforme a sua necessidade e disponibilidade (MADUREIRA, 2013). As Figuras 3 e 4 mostram alguns exemplos de sistemas de circuito fechado horizontal e vertical, respectivamente.

Figura 3 – Sistema de circuito fechado horizontal.



Fonte: Adaptado de Swenka, 2008.

Figura 4 – Sistema de circuito fechado vertical.



Fonte: Adaptado de Swenka, 2008.

Conforme ASHRAE (2011) existem três categorias principais de GSHP, de acordo com as fontes de calor: Bomba de

calor geotérmica (em inglês Ground Couple Heat Pump – GCHP); Bomba de calor com solo/água (em inglês Ground Water Heat Pump – GWHP); Bomba de calor com troca na superfície da água (em inglês Surface Water Heat Pump – SWHP).

Os sistemas de SWHP podem ser instalados como circuitos fechados ou abertos, utilizando como fontes de calor lagos, rios, oceanos e outros corpos de água para a climatização de ambiente. Apesar de este sistema ter sido utilizado há muito tempo atrás, cerca de 70 anos, existe uma escassez muito grande em relação aos dados de projetos e informações necessárias para a disseminação desta ideia (SPLINTER e MITCHELL, 2016).

As bombas de calor geotérmicas são equipamentos muito versáteis podendo ser usadas de diversas formas e em diferentes tipos de estruturas, desde pequeno, médio e até grande porte (EGEC, 2017).

Este trabalho tem como finalidade apontar o potencial que a energia geotérmica pode vir a ter futuramente e principalmente aumentar o leque dos estudos sobre a eficiência da implantação de bombas de calor geotérmicas na construção civil, por meio de estudo de caso.

2. PROBLEMATIZAÇÃO

Os impactos negativos do efeito estufa causados nas condições climáticas em todo o mundo tem sido um dos pontos principais discutidos no setor político há muito tempo, devido sua enorme importância ambiental, social e econômica. Tais problemas, também, são ocasionados pela emissão de alta quantidade de CO₂ resultante da queima de combustíveis fósseis, uma das principais fontes de energia utilizada pelo homem (TORRES, 2017).

O setor da construção civil é considerado um dos setores com maior consumo de energia durante seus processos, desde a elaboração dos projetos até a execução e entrega final da obra, continuando ainda na fase de utilização da obra. Dessa maneira, o uso de energias renováveis na realização de suas atividades tem um papel muito importante no cenário mundial (HUGHES, 2008).

O uso de bombas de calor geotérmico (GSHP) para climatização de ambientes tem sido uma alternativa, na construção civil, para reduzir o consumo de energia gerada por combustíveis fósseis, e consequentemente a emissão de gases de efeito estufa. A vantagem da bomba de calor se dá pelo fato dela, quando em uso, consumir uma quantidade menor de energia elétrica, comparada a outros

equipamentos usados para climatização (LOBO et al., 2004). Assim, um sistema híbrido envolvendo climatização por energia geotérmica com os sistemas tradicionais de climatização pode ser uma ótima opção para a redução do consumo de energia elétrica de um empreendimento.

3. JUSTIFICATIVA

Diante da atual crise político-econômica brasileira o desenvolvimento sustentável surge como uma estratégia, configurando um processo transitório evitando o uso de combustíveis fósseis e focando no uso das energias renováveis. Isso se dá devido a crescente redução das reservas de petróleo e os problemas ambientais que as demais fontes de obtenção de energia (termoelétrica, hidrelétrica) vêm causando (FERREIRA et al., 2017).

Neste cenário o potencial geotérmico dos solos vem ganhando espaço, sendo muito usado por diversos países do mundo em diferentes regiões e climas, porém, ainda muito pouco aqui no Brasil por falta de informações e estudos de viabilidade sobre o assunto (FONSECA et al., 2014).

O trabalho surge com o interesse de desenvolver estudos que permitam ampliar a utilização da energia geotérmica com a

implantação de bombas de calor, uma vez que aqui no Brasil este recurso é utilizado predominantemente para fins turísticos e de recreação (VICHI; MANSOR, 2009).

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GERAL

Traçar um perfil de temperaturas, em um determinado período de tempo, da massa de água de um açude, localizado em uma propriedade particular na cidade de Fátima do Sul/MS, para embasar projetos de instalações de sistemas auxiliares de climatização com o uso de geotermia superficial utilizando um sistema aberto com a água como fonte de troca de calor.

4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Desenvolver procedimentos para coletar, armazenar e analisar valores de temperatura, durante um período de tempo.
- Medir as temperaturas em diferentes profundidades de um açude localizado em uma propriedade particular na cidade de Fátima do Sul/MS.
- Fazer uma análise dos dados obtidos das medidas de temperaturas e verificar a possibilidade futura da implantação de uma bomba de calor eficiente para climatização de ambiente.

5. METODOLOGIA

Foi realizado no dia 30 de junho de 2018 a montagem e instalação do dispositivo com função de coletar e armazenar dados da temperatura ambiente e das temperaturas em diferentes profundidades do açude. O dispositivo usado foi desenvolvido por acadêmicos que realizam um projeto de pesquisa sobre a energia geotérmica.

O açude utilizado para o estudo esta localizado em uma propriedade particular situada na Avenida 9 de Julho nº 3181 na cidade de Fátima do Sul/MS, 22°23'00''S 54°29'52''W.

Para realizar o monitoramento das temperaturas da massa da água, instalaram-se dois sensores de temperatura DS18B20 à prova d'água em diferentes profundidades. O primeiro, mais ao centro do açude, a 1,50 m de profundidade e o segundo, próximo à margem, a 0,30 m de profundidade. Um terceiro sensor de temperatura foi instalado ao lado de um barracão para realizar a leitura da temperatura ambiente. A localização dos sensores de temperatura na propriedade pode ser observada na Figura 5.

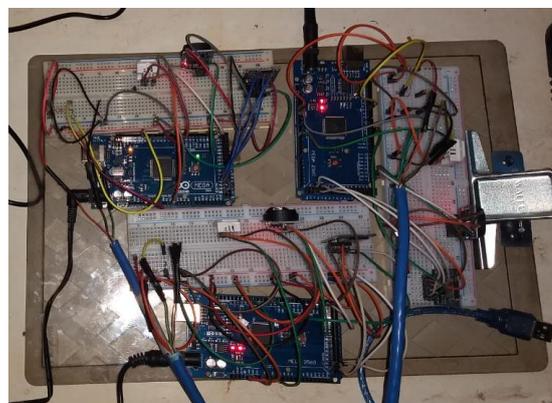
Figura 5 – Propriedade e localização dos sensores de temperatura.



Fonte: Imagem do Google Earth, 2018.

O dispositivo montado, é composto por sensores de temperatura DS18B20 (à prova d'água), placas arduino mega 2560 R3 com cabo USB, fontes de alimentação 9 V, unidades de protoboard 830 furos, jumpers macho-macho, sensores de temperatura e umidade DHT22 AM2302, cabos UTP cat-6, módulos wifi ESP8266 Esp07, módulos micro SD Tf card para arduino, cartões de memória micro SD 8 gigabytes para armazenagem dos dados e módulos relógio para arduino RTC DS 1307 com bateria, como pode ser observado na Figura 6. O conjunto foi mantido ligado à energia elétrica em um barracão, protegido de intempéries.

Figura 6 – Dispositivo ligado.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Houve a necessidade do uso de três placas arduino, devido à grande distância até os sensores de temperatura DS18B20. Essa distância considerável provoca o aumento da resistência no cabo UTP cat-6, responsável pelo transporte dos dados coletados pelos sensores até a placa, o que impossibilita a alimentação dos três sensores por uma única placa arduino. Logo, optou-se pelo uso de uma placa arduino para cada sensor de temperatura DS18B20.

Para a proteção dos sensores durante o período de coleta, os mesmos foram acondicionados em ponteiros construídas com tubos, luvas e caps de PVC $\frac{3}{4}$ " colados com adesivo específico e isolados com silicone como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Ponteira com sensor DS18B20.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Os cabos UTP cat-6 foram colocados dentro de mangueiras, que posteriormente foram enterradas para proteção do tráfego de pessoas e animais nas proximidades do açude. Ao chegarem a uma cerca, foram

amarrados à tela da mesma e levados até o barracão onde foram acondicionadas as placas arduino.

Figura 8 – Instalação dos Cabos UTP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Em seguida dois dos sensores de temperatura DS18B20 foram posicionados no interior do açude. Um deles a 0,30 m de profundidade e o outro a 1,50 m de profundidade com o auxílio de peso, de forma a permanecer submerso (Figuras 9 e 10). O terceiro sensor foi instalado próximo ao barracão de armazenamento do dispositivo para coletar dados referentes à temperatura ambiente.

Figura 9 – Sensor de temperatura DS18B20 alocado a 30 cm de profundidade.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 10 – Sensor de temperatura DS18B20 alocado a 1,5 m de profundidade.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Depois de instalado, o sistema ligado continuamente passou a coletar os dados de temperaturas a cada 20 minutos e armazená-los em cartões micro SD. Para um maior controle sobre erros de leituras e possíveis problemas com os sensores, a

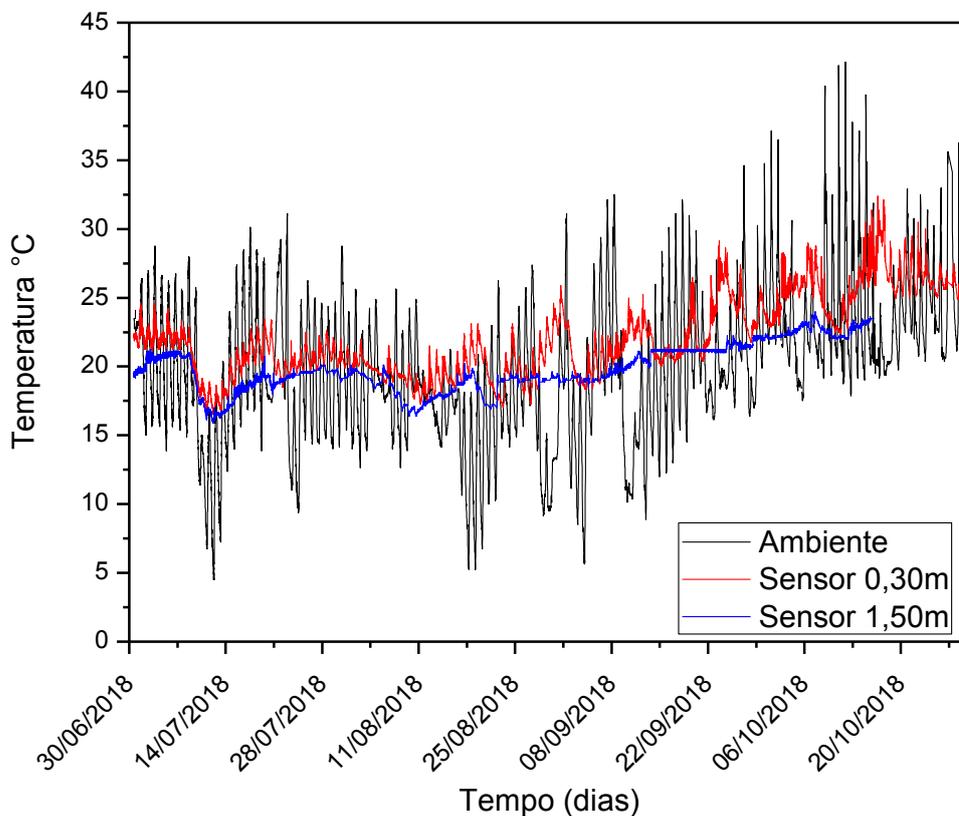
coleta dos dados foi realizada semanalmente.

Durante um período de quatro meses o sistema ficou em funcionamento e a partir daí todos os dados coletados foram organizados em apenas um arquivo. Os dados foram analisados utilizando o software OriginPro8, gerando gráficos a partir do arquivo composto por todos os dados coletados para posterior análise.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados coletados pelos sensores de temperatura o gráfico da Figura 11 foi plotado, como pode ser observado abaixo.

Figura 11 – Dados de temperatura coletados pelos sensores durante quatro meses.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O gráfico apresenta os valores de temperatura ambiente e a temperatura da massa de água, coletados pelos sensores a 0,30m e 1,50m de profundidade, respectivamente, durante o período de tempo entre 30 de junho de 2018 a 30 de outubro de 2018.

O Quadro 1 mostra, para o período analisado, os extremos de temperatura ambiente durante as medições e os valores de temperatura da massa de água referente aos mesmos dias e horários:

Quadro 1 – Extremos da temperatura ambiente durante as medições.

Data	Hora	T _{ambiente} (°C)	T _{h=0,30 m} (°C)	T _{h=1,50 m} (°C)
12/7	6:17	4,50	16,63	16,25
11/10	22:53	42,13	24,13	22,13

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

No dia 12 de julho de 2018 às 6h:17min o ambiente apresentou uma temperatura mínima de 4,5 °C, para este mesmo horário a temperatura da massa de água a 0,30 m de profundidade marcou 16,63 °C e a 1,50 m de profundidade de 16,25 °C. Quando comparadas, as temperaturas da massa de água com a temperatura ambiente obtêm-se uma diferença de 12,13 °C entre o ambiente e a massa de água a 0,30 m de profundidade e 11,75 °C entre o ambiente e a massa de água a 1,50 m de profundidade.

Neste caso, onde o ambiente apresenta uma temperatura menor, a massa de água trabalha como fonte quente no sistema de troca de calor para climatização do ambiente.

No dia 11 de outubro de 2018 às 22h53min o ambiente apresentou uma temperatura máxima de 42,13 °C, para este mesmo horário a temperatura da massa de água a 0,30 m de profundidade marcou 24,13 °C e a 1,50 m de profundidade 22,13 °C. Quando comparadas, as temperaturas da massa de água com a temperatura ambiente obtêm-se uma diferença de 18 °C entre o ambiente e a massa de água a 0,30 m de profundidade e 20 °C entre o ambiente e a massa de água a 1,50 m de profundidade.

Neste caso, onde o ambiente apresenta uma temperatura maior, a massa de água trabalha como fonte fria no sistema de troca de calor para climatização do ambiente.

Outro aspecto importante é a verificação da variação das temperaturas anotadas em um único dia. O Quando 2 mostra dados dessa variação para o dia 01 de setembro de 2018.

Quadro 2 – Extremos de temperatura para um dia de observação.

Data	Hora	T _{ambiente} (°C)	T _{h=0,30 m} (°C)	T _{h=1,50 m} (°C)
1/9	11:04	31,13	22,88	19,00
1/9	23:44	13,00	22,13	19,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

No dia 1 de setembro de 2018 o ambiente apresentou uma variação de temperatura de 18,13 °C. Como pode ser observado no Quadro 2, às 11h:04min deste dia o sensor apontou a temperatura de 31,13 °C. Com o passar do dia houve uma queda de temperatura até que, às 23h:44min o sensor apontou a temperatura de 13 °C. Apesar dessa variação no ambiente externo, a massa de água apresentou uma grande estabilidade em suas temperaturas durante todo o dia. Para a profundidade de 0,30m às 11h:04min a massa de água apresentava uma temperatura de 22,88 °C e às 23:44min uma temperatura de 22,13 °C, ou seja, ocorreu uma variação de apenas 0,75 °C durante o decorrer do dia. Já para a profundidade de 1,50m não foi notada nenhuma variação na temperatura da massa de água, uma vez que nos dois horários analisados a temperatura permaneceu constante em 19 °C.

Para uma análise completa, a coleta dos dados deverá compreender um período mínimo de um ano. Com base no

gráfico da Figura 11, tem-se que os comportamentos das temperaturas da massa de água anotados pelos sensores apresentaram uma tendência de estabilidade à medida que a profundidade aumenta, confirmando assim a baixa variação de temperatura da água, devido seu alto calor específico.

Com os exemplos práticos mostrados é possível identificar facilmente a significativa diferença de comportamento da temperatura entre o ambiente externo e a massa de água, além de comprovar a maior estabilidade que a temperatura da massa de água apresenta à medida que a profundidade aumenta. Isso nos mostra que é viável a implantação de um sistema para climatização de ambiente com uso de uma bomba de calor com troca de energia em uma massa de água.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sociedade contemporânea marcada pela elevada dependência energética tem despertado a necessidade de uma mudança de ideias e estratégias em relação às energias renováveis, uma vez que o cenário energético atual é baseado em sua grande parte em energias não renováveis. Neste contexto a energia geotérmica tem se destacado e chamado à atenção por se apresentar de forma

interrupta, ser considerada a maior fonte de energia renovável disponível no mundo e ser uma fonte de energia ecológica devido à sua reduzida emissão de gases para a atmosfera.

Uma das vantagens da utilização deste recurso através do sistema de bomba de calor é o leque de possibilidades na hora de sua instalação, uma vez que se têm três alternativas para se usar como fonte de calor, o ar, a água e o solo. Além disso, o sistema ajuda a reduzir o consumo de energia elétrica atuando de forma complementar e até substituindo por completo os tipos de climatização tradicionais.

Diante disso, este artigo apontou o potencial que a energia geotérmica superficial possui em Fátima do Sul/MS. Através de um estudo de caso que permitiu verificar a viabilidade da utilização desta energia com o uso de bombas de calor.

O estudo atingiu seu objetivo de traçar o perfil da temperatura da massa de água do açude em um período de quatro meses. O procedimento usado para realizar a coleta e armazenamento dos dados demonstrou-se eficiente, uma vez que foi possível medir a temperatura ambiente e a temperatura da massa de água em diferentes profundidades durante os quatro meses.

Através da análise dos dados obtidos verificou-se uma diferença de temperatura relevante entre o ambiente e a massa de água, fator principal para o funcionamento do sistema de bomba de calor. Além disso, constatou-se a estabilidade da temperatura da massa de água em pequenas profundidades, demonstrando assim o potencial que o açude possui para ser utilizado como fonte de calor.

Com base nos resultados do estudo foi possível comprovar a viabilidade da implantação futura de um sistema de bomba de calor para realizar a climatização de ambiente, utilizando o açude como fonte de troca de energia.

Um aspecto importante que vale destacar sobre a utilização da água como fonte de calor é o menor custo de implantação do sistema. Diferente do solo que necessita de um maior investimento durante sua instalação devido às escavações, a água possibilita o uso de um circuito fechado utilizando tubulações para realizar a troca de energia, sem a necessidade de realizar perfurações.

Em parâmetros sociais a zona rural será a maior beneficiada com a implementação de sistema de bomba de calor com troca de energia em uma massa de água, já que possuem um maior acesso aos recursos hídricos.

8. AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus por ter me sustentado nos momentos mais difíceis e ter dado força para vencer esta etapa da minha vida.

Aos meus pais, Luciano e Vanessa, minha irmã, Thais, e família pelo incentivo e apoio que disponibilizaram durante esses anos todos. A minha avó Lourdes, com seu imenso cuidado e amor. Sem o apoio de vocês nada disso seria possível.

Aos meus amigos pelas palavras de carinho e força, foram fundamentais para eu seguir em frente durante todo esse tempo. Em especial, Beatriz e Tailisa, o carinho de vocês foi de um valor enorme.

Ao meu namorado, Vinícius, sou imensamente grata pelo amor, pela cumplicidade e por toda força que me deu para que fosse possível finalizar este trabalho.

As minhas companheiras da jornada acadêmica, Mylena e Ana, obrigada pelo companheirismo, por todas as conversas de apoio e carinho todos esses anos.

Agradeço, por fim, a todos os professores que contribuíram com a minha trajetória acadêmica, especialmente ao Agleison, responsável pela orientação deste trabalho. Obrigada por esclarecer tantas dúvidas e ser tão atencioso e paciente.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American society of heating refrigerating and air conditioning engineers (ASHRAE), HVAC Applications Handbook, 2011.

CARDOSO, F.; **Geotermia - Do interior da terra para os nossos edifícios**. Edifícios e Energia. Printer Portuguesa S.A.; novembro/dezembro 2013.

CHIASSON, A.D., **Advances in modeling of ground-source heat pump systems**. Dissertação de Mestrado, Oklahoma State University, 1999. Stillwater, Oklahoma, USA, 155 páginas.

European Geothermal Energy Council (EGEC), **Geothermal heat pumps: the perfect solution to replace fossil fuels**. Belgium, December 2017.

European Geothermal Energy Council (EGEC), **Geothermal Heat Pumps in Smart Cities and Communities**. Belgium, June 2015.

FERREIRA, A. B. S. et al., **Desenvolvimento de uma bomba de calor geotérmica para aquecimento de água doméstica**. Jornada de iniciação científica e extensão, VIII., 2017, Palmas, TO.

FONSECA, I. et al., **O estado da arte sobre o uso da geotermia na arquitetura**. Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, XV., 2014, Maceió, AL.

Glen Dimplex Group. Disponível em: <<http://www.dimplex.de/nc/pt/bomba-de-calor/acessorios-opcionais-bombas-de-calor-de-aquecimento/telecontrolo.html>>. Acesso em: 09 de jul. 2018.

HART, D. P. and COUVILLION, R., **Earth-Coupled Heat Transfer**. National Water Well Association, 1986, Dublin, OH.

HUGHES, Patrick J., **Geothermal (Ground-Source) Heat Pumps: Market Status, Barriers to Adoption, and Actions to**

Overcome Barriers. University of Nebraska - Lincoln. EUA, 2008.

LAVEZZO, C. A. L., **Fontes de energia.** Revista eletrônica Gestão em Foco, UNIFIA (2016), p. 102-126.

LOBO, J. et al., **Determinação da eficiência e da aplicabilidade de bombas de calor em clima temperado subtropical-típico da região Sul do país - Primeira fase.** Revista Espaço Energia. Ed. 01. Outubro, 2004.

LOPES, H. L., **Sistemas Geotérmicos de Baixa Entalpia - Estudos de Caracterização Térmica.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica - Geotecnia - Universidade de Lisboa. Lisboa, 2014.

MADUREIRA, P. R., **"Apresentação da Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial"**. Comunicação apresentada em 1º Seminário da Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial LNEG, 2013.

NASCIMENTO, F. et al., **Fontes de Energia Renováveis: Energia Geotérmica: Histórico, Utilização, Potencialidade e Pontos Positivos e Negativos.** Seminário de Integração PFRH, I., 2012, Salvador, BA.

NAICKER, S. S., **"Performance Analysis of a Large-Scale Ground Source Heat Pump System"**, Institute of Energy and Sustainable Development School of Engineering and Sustainable Development, De Montfort University, 2015.

RAPOSO, M. et al., **Bombas de Calor Geotérmicas – Enquadramento e Perspetivas.** Licenciatura em Energia e Ambiente Engenharia do Ambiente, Instituto Politécnico da Guarda, 2015.

SELF, S. J. et al, **"Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options"**. *Applied Energy* no. 101:341-348, 2013.

SPITLER, J.D. and MITCHELL, M.S., 2016. **Surface water heat pump systems.** In: Rees, S.J. (Ed.), *Advances in Ground-source Heat Pump Systems.* Woodhead Publishing, Amsterdam, pp. 226-246.

SWENKA, M. J., **"An energy and cost analysis of residential ground-source heat pumps in Iowa"**. Thesis, Mechanical Engineering, Iowa State University, 2008. <http://lib.dr.iastate.edu/rtd/15437/>.

TAVARES, J. C., **Integração de Sistemas de Bombas de Calor Geotérmicas em Edifícios.** Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente – Universidade de Coimbra. Coimbra, 2012.

TORRES, D. R., **Estudo da viabilidade econômica da geotermia como solução energética para climatização e aquecimento de águas sanitárias em Portugal.** Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial – Universidade do Porto. Portugal, 2017.

TRILLO, G. et al., **Guía de la energía geotérmica.** Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Disponível em: <<https://www.fenercom.com/pages/publicaciones/publicacion.php?id=50>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. **Energia, Meio Ambiente e Economia: o Brasil no Contexto Mundial.** *Química Nova*, v. 32, n. 3, p.757-767, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n3/a19v32n3.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2018.