

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ELETRÔNICO PARA MONITORAMENTO DE TEMPERATURAS DO SOLO NA CIDADE DE DOURADOS – MS

Thiago Rafael Pretto ^{1, 2}; Agleison Ramos Omido ^{1, 3}

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)¹;
thiagorafaelpretto@gmail.com²; agleisonomido@ufgd.edu.br³

RESUMO - Com a crescente demanda energética resultante da popularização de eletrodomésticos e crescimento industrial, faz-se cada vez mais necessário a procura de fontes limpas e renováveis. Nos últimos anos diversas fontes alternativas para produção de energia no próprio local de consumo vêm sendo implantadas no Brasil. Uma delas é a utilização de Energia Geotérmica Superficial para climatização de ambientes. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo para a obtenção da temperatura em pequenas profundidades do solo e compará-las com a temperatura ambiente e do interior de uma edificação para analisar a viabilidade da instalação de Bombas de Calor Geotérmicas, ou *Ground-Source Heat Pump* (GSHP) na região de Dourados (MS). Para coleta de temperaturas no subsolo foi desenvolvido um sistema eletrônico baseado na plataforma Arduino que é capaz de aferir e armazenar essas informações para posteriores estudos de viabilidade geotermal.

Palavras-chave: Energia Geotérmica Superficial. Arduino. Monitoramento da Temperatura do Solo.

ABSTRACT – With the growing energy demand resulting from the popularization of household appliances and industrial growth, it is increasingly necessary to search for clean and renewable sources. In the last years several alternative sources for energy production in the place of consumption have been implanted in Brazil. One of them is the use of Surface Geothermal Energy for ambient air conditioning. This work aims to develop a prototype to obtain the temperature in small depths of the soil and to compare them with the ambient temperature and the interior of a building to analyze the viability of the installation of Ground-Source Heat Pump (GSHP) in the region of Dourados (MS). In order to collect subsoil temperatures, an electronic system based on the Arduino platform was developed that is able to measure and store this information for further studies of geothermal viability.

Keywords: Surface Geothermal Energy. Arduino. Soil Temperature Monitoring.

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos e econômicos das últimas décadas proporcionaram um acesso massivo da população brasileira e mundial à equipamentos alimentados com energia elétrica, gerando um aumento no consumo e necessidade de diversificação de técnicas de produção e economia. Dentro da matriz energética brasileira, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) calcula que em 2016, 43,5% são de fontes renováveis. No restante do mundo a parcela de energia oriunda de fontes renováveis corresponde à 13,5%. Dentro das fontes não-renováveis, as mais comuns são justamente as que mais contribuem para a produção de gases que aumentam o efeito estufa, como o petróleo (36,5%), gás natural (12,3%) e carvão mineral (5,5%) (EPE, 2016).

Quando se fala especificamente de energia elétrica no Brasil, o percentual produzido através de fontes renováveis é de 81,7%, enquanto a taxa global é de 21,2%. Apesar do percentual atribuído a fontes renováveis no Brasil parecer alto em relação ao restante do mundo, leva-se em consideração que a produção de energia elétrica nacional é majoritariamente oriunda de hidrelétricas (68,1%), que por sua vez acabam gerando impactos ambientais, econômicos e sociais. O uso de fontes renováveis que geram menos impactos

negativos está em plena ascensão, porém ainda representa uma fração minoritária dentro da matriz energética. Alguns exemplos levantados pela EPE são a eólica e energia de biomassa, que representaram em 2016 cerca de 5,4% e 8,2% da produção de eletricidade nacional, respectivamente.

Além dos impactos gerados com a instalação de uma Usina Hidrelétrica (UHE), existe um impacto econômico relacionado à transmissão e distribuição de eletricidade. Atualmente o preço médio por kWh no Brasil é de R\$ 0,51, atingindo R\$ 0,76 em algumas regiões, de acordo com a Aneel (2018). Cresce a busca por soluções que produzam fontes alternativas de energia elétrica diretamente para o consumidor final, ou ainda, que reduzam o consumo realizado pelos mesmos. Como exemplo de produção de fonte alternativa pode-se citar os sistemas de micro e minigeração elétrica. A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) calcula que a capacidade geradora de sistemas solares fotovoltaicos ultrapassou a marca histórica de 250 MW. A ABSOLAR ainda aponta em seu último levantamento que embora as edificações que aderiram à microgeração solar sejam majoritariamente residências (77,4%), a maior parte da energia é gerada e consumida em edificações comerciais (42,8%) (CANALENERGIA, 2018).

Já como exemplo de redução no consumo temos algumas iniciativas como a

classificação de eletrodomésticos de acordo com sua eficiência energética e os sistemas solares térmicos para aquecimento de água. Esses sistemas são compostos por placas coletoras de calor solar e por um reservatório térmico chamado Boiler. O funcionamento do sistema ocorre através da circulação de água por dentro dessas placas através de dutos metálicos, onde ocorre a transferência de calor da placa para a água, que é posteriormente armazenada no Boiler e utilizada pelos ocupantes da edificação.

O aproveitamento geotérmico funciona de forma análoga às placas aquecedoras de água, transferindo calor do solo para uma edificação ou da edificação para o solo. Na próxima seção deste trabalho o conceito de aproveitamento geotérmico será detalhado.

2 APROVEITAMENTO GEOTÉRMICO

De acordo com a *European Geothermal Energy Council* (EGEC), a Energia Geotérmica é a “energia armazenada na forma de calor debaixo da superfície da terra”. Essa energia tem várias origens, dentre as quais o fluxo geotérmico profundo, o fluxo de águas subterrâneas e principalmente a radiação solar.

Segundo Willians et al (2008), os Estados Unidos classificam o potencial energético de recursos geotermiais baseado na temperatura do reservatório. Baixa

Temperatura ($< 90^\circ$), Temperatura Moderada (90° a 150°) e Alta Temperatura ($150^\circ >$). Nos recursos de Alta Temperatura a origem é exclusivamente vapor, na Baixa Temperatura líquidos e na Temperatura Moderada podem ser ambos. A existência de grandes fontes geotermiais ao longo de boa parte do continente norte-americano é um fator que favorece a pesquisa e aproveitamento desse tipo de recurso nos EUA e Canadá.

A existência das fontes geotermiais nos Estados Unidos está intrinsecamente ligada à atividade vulcânica, principalmente em sua costa leste. Sabe-se que, na América do Sul a atividade vulcânica está restrita somente aos países da costa pacífica. Estando o Brasil localizado em uma área sem atividade vulcânica e, portanto, com baixas temperaturas em altas profundidades, utiliza-se a classificação proposta por Trillo e Ângulo (2008) que contempla temperaturas do solo compatíveis com sua posição geográfica.

a) Alta Temperatura ($T > 150^\circ$) – Pode ser utilizada para geração de energia elétrica e refrigeração por absorção com amoníaco.

b) Média Temperatura ($90^\circ\text{C} < T < 150^\circ$) – Utilizada para secagem de produtos, refrigeração e destilação.

c) Baixa Temperatura ($30^\circ\text{C} < T < 90^\circ$) – Utilizada no aquecimento de estufas, piscicultura, aquicultura, terapêutica termal, etc.

d) Muito Baixa Temperatura ($T < 30^\circ$) – Utilizada em pequenas edificações para aquecimento e climatização através de Bombas de Calor.

Os depósitos de Muito Baixa Temperatura estão presentes em toda a superfície terrestre. São resultados da radiação solar armazenada e a sua exploração envolve perfuração apenas em camadas rasas do solo. Por outro lado, os outros depósitos só estão acessíveis em grandes profundidades e em regiões com atividade vulcânica/termal. Trillo e Ângulo (2008) afirmam ainda que a

exploração de depósitos de Muito Baixa Temperatura pode ocorrer em profundidades de 0,5 m até 15 m, dependendo da localização geográfica da reserva. Enquanto a de depósitos de Alta Temperatura está disponível em média entre 1500 m e 3000 m de profundidade, e em apenas algumas regiões do globo. A Figura 1 mostra um mapeamento da existência de reservas geotérmicas mundiais, representando regiões de alta, baixa e muito baixa temperatura nas cores vermelho, verde e cinza, respectivamente.

Figura 1. Os recursos geotérmicos mundiais.



Fonte: Geothermie-Perspectives de l'ADEME et du BRGM, 2008.

O uso de reservas de Muito Baixa Temperatura em edificações é realizado através da climatização dos ambientes com a utilização de Bombas de Calor Geotérmicas ou *Ground-Source Heat Pump* (GSHP). De acordo

com Tavares (2011), os GSHP são equipamentos reversíveis que transferem calor armazenado à poucos metros da superfície, permitindo o aquecimento de água e a climatização de edificações. Tavares ainda

explica que nas estações frias, a temperatura ambiente é inferior à temperatura do subsolo, e nas estações quentes, superior à do subsolo.

É justamente nessa diferença de temperaturas em que se torna viável o emprego de GSHP, que usa uma espécie de serpentina metálica enterrada no solo e posicionada dentro da edificação para realizar a troca de calor entre ambos.

A proposta deste trabalho é construir um protótipo para coleta e armazenagem de temperaturas do subsolo para ser utilizado em estudos posteriores que analisem a viabilidade da exploração geotérmica superficial na região de Dourados (MS). A próxima seção deste trabalho descreve a metodologia empregada e a forma como os dados foram captados.

3 METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Para realizar a coleta de temperaturas superficiais e do subsolo, foi desenvolvido e empregado um sistema de monitoramento eletrônico com sensores enterrados entre 1,5m e 6,0m de profundidade e sensores disponíveis superficialmente no interior e no exterior da edificação. A temperatura de cada sensor foi coletada e armazenada durante alguns meses e posteriormente foi realizada uma análise comparando o diferencial térmico entre os sensores superficiais e os sensores imersos no solo.

O sistema eletrônico responsável captura de temperaturas foi desenvolvido sobre a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino (Figura 2). O Arduino é uma placa composta por microcontrolador, memória interna e circuitos de entrada e saída. Em sua memória interna o Arduino é capaz de armazenar instruções programadas com uma linguagem própria, baseada em C/C++. A programação de uma placa Arduino ocorre com a conexão USB em um computador que possua instalada a IDE (*Integrated Development Environment*) oficial da plataforma.

Figura 2. Arduino MEGA2560 R3.



Fonte: Site oficial do Arduino, 2018.

A IDE do Arduino é um software *open-source* que é responsável por oferecer um ambiente onde é possível editar o código fonte, realizar seu *debugging*, compilá-lo e carregá-lo para uma placa conectada ao computador. A versão da IDE utilizada no desenvolvimento deste projeto foi a 1.8.5 que possui download gratuito no site oficial.

A plataforma de prototipagem do Arduino permite o controle e gerenciamento

de circuitos de entrada e saída, nos quais podem ser instalados diversos tipos de dispositivos com as mais variadas finalidades. Existem diversos modelos de Arduino no mercado, cada um com uma finalidade específica, sendo que o modelo de placa utilizado neste projeto foi o Arduino MEGA 2560 Revisão 3. A escolha deste modelo foi baseada na sua superioridade nos quesitos capacidade de processamento com múltiplos circuitos, memória interna e quantidade de circuitos de entrada/saída em relação aos outros modelos populares no mercado.

Para o desenvolvimento deste projeto, foram utilizados sensores de temperatura e módulos para controle e armazenamento das informações lidas pelos sensores. Também foi utilizada uma *protoboard* de 820 pinos responsável por auxiliar em uma melhor organização dos circuitos, cuja tensão de alimentação será 5 Volts.

Foram utilizados seis sensores do modelo DS18B20 (Figura 3) responsáveis por medir a temperatura ambiente e em pequenas profundidades do subsolo. Esses sensores fazem parte do protocolo *Onewire* e basicamente são constituídos por uma haste metálica que é responsável por entrar em contato com uma superfície e aferir sua temperatura. Essa haste é conectada ao

Arduino por três fios elétricos envolvidos em um único tubo plástico, sendo eles um par responsável pela alimentação/terra e o terceiro fio é utilizado para transmissão dos dados capturados.

Figura 3. Sensor Onewire DS18B20.



Fonte: FilipeFlop, 2018.

De acordo com o *datasheet* deste sensor¹, é possível operar com uma precisão de $\pm 0,5$ °C quando são utilizados em temperaturas entre -10°C e +85°C. Fora dessa faixa, a precisão garantida é de ± 2 °C, sendo possíveis leituras mínimas e máximas de -55°C e +125°C, respectivamente. As principais vantagens do emprego deste sensor são a sua facilidade de operação, possibilidade de múltiplos sensores utilizarem o mesmo circuito lógico de entrada de dados no Arduino e acima de tudo, a capacidade de operar com a presença de água, uma vez que será enterrado no solo e também deixado e na superfície do terreno.

¹

<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

Dentre os seis sensores DS18B20 utilizados, quatro foram enterrados à cada 1,5 metros de profundidade, um foi deixado sobre a superfície do terreno para tomar a temperatura ambiente externa e o último foi deixado no interior da edificação. O procedimento de instalação dos sensores no subsolo foi realizado através da perfuração de quatro furos distintos com um trado helicoidal até a profundidade desejada e a inserção foi feita com proteção de um Cap soldável conectado à um pequeno tubo de 25 mm na ponta, deixando apenas a haste metálica para fora, conforme a Figura 4. Como os fios do sensor DS18B20 possuem comprimento de 1 metro, foi necessária a sua soldagem em cabos CAT6 até atingir o comprimento necessário para ser conectado à *protoboard*.

Figura 4. Sensor DS18B20 com suporte de PVC e cabo CAT6.

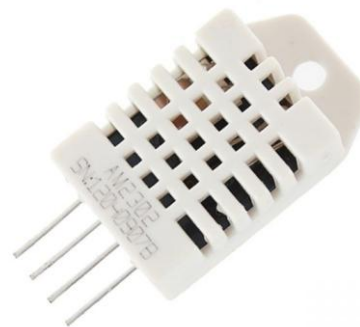


Fonte: Elaborado pelo autor.

Também foi utilizado um sensor DHT22 (Figura 5) que foi responsável por

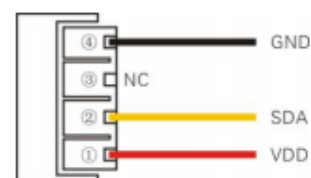
aferir a umidade e temperatura ambiente do interior da edificação. Este sensor tem uma arquitetura similar à do sensor DS18B20, sendo composto por 4 pequenos pinos que se conectam diretamente na *protoboard*. O primeiro pino é responsável pela alimentação, o segundo para transmissão dos dados e o quarto é o aterramento. O terceiro pino possui a finalidade de apenas auxiliar na fixação e estabilidade do sensor na *protoboard*, conforme esquematizado na Figura 6. Segundo o *datasheet* desse sensor², é possível aferir temperaturas entre -40°C e +80°C com uma precisão de $\pm 0,5$ °C. Já a umidade relativa do ar é aferida com uma precisão de $\pm 2\%$, variando de 0% à 99.9%.

Figura 5. Sensor DHT22 e seu esquema lógico.



Fonte: Filipe Flop, 2018.

Figura 6. Esquema lógico do sensor.



Fonte: *Datasheet* do sensor DHT22, 2018.

²

http://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_DHT22_AM2302.pdf

Ambos os sensores são do tipo *slave*, ou seja, o sistema Arduino precisa solicitar a temperatura a eles. A periodicidade dessas solicitações foi definida como uma requisição de temperaturas a cada 15 minutos. Essa escolha ocorreu devido a baixa variação instantânea da temperatura do solo.

Para garantir o registro dos dados de forma coerente foram empregados dois módulos auxiliares. O primeiro é um módulo de relógio e tem como finalidade garantir a coerência nas datas e horas registradas. O módulo RTC (*Real Time Clock*) DS1307 garante precisão através de um oscilador de cristal e as datas registradas são mantidas persistentemente através de uma bateria própria, de forma análoga às *motherboards* de computadores convencionais. Isso garante que mesmo com queda de energia ou pequenas oscilações, o horário registrado continue correto e não precise ser redefinido.

O segundo módulo complementar é responsável por registrar as informações coletadas em um cartão de microSD. O módulo MicroSD Card Adapter desenvolvido pela Catalex possui uma interface baseada em 4 pinos, dentre eles o pino CS, que permite a transferência de dados entre a memória interna do Arduino e o módulo de MicroSD. Além dos pinos MOSI, MISO e SCK que auxiliam esse processo, o módulo utiliza um pino GND e um pino de alimentação VCC com tensão de 5V. Para garantir que as

informações estão sendo corretamente aferidas, o arquivo de *log* foi periodicamente coletado e analisado.

O sistema eletrônico desenvolvido neste trabalho foi armazenado dentro de uma caixa de distribuição parafusada à um tablado de madeira. Tanto o Arduino quanto a *Protoboard* foram adesivados no tablado de madeira, para garantir que pequenas movimentações não desconectassem os circuitos prototipados. Os sensores são passados para o exterior da caixa através do orifício que convencionalmente é utilizado para distribuir os circuitos residenciais. A Figura 7 apresenta o sistema configurado, durante uma das coletas do arquivo de registros das leituras.

Figura 7. Sistema de Monitoramento de Temperaturas instalado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os cabos contendo os sensores DS18B20 foram enterrados em um conjunto de furos escavados no exterior da edificação, simulando uma situação real onde se instala um sistema de aproveitamento geotérmico.

Foram empregados canos de PVC para garantir a estabilidade do solo e permitir a inserção dos sensores até a profundidade desejada. A Figura 8 é um registro fotográfico do sistema escavado para permitir a inserção dos quatro sensores no solo.

Figura 8. Perfurações no solo onde são inseridos os sensores DS18B20.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o conjunto de sensores e módulos auxiliares devidamente configurados é possível através do código implementado definir um intervalo entre as leituras de temperatura e organizar a forma como os dados serão armazenados no MicroSD. O formato utilizado foi o de texto plano, separando as informações através de tabulações. Essa escolha permitiu uma análise apurada das informações coletadas, detalhada na próxima seção deste trabalho.

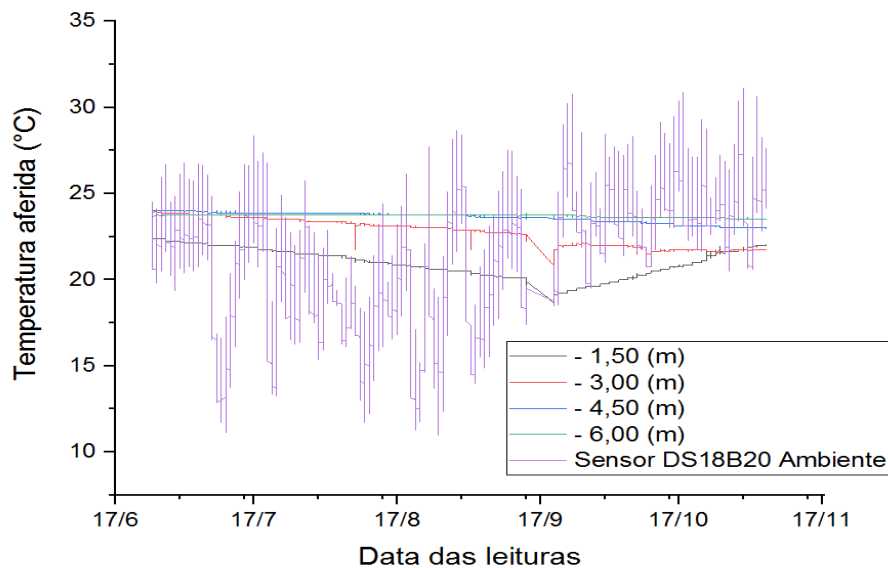
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema projetado foi ativado no dia 25 de junho de 2018 e as leituras apresentadas neste trabalho vão de sua inicialização até o dia 05 de novembro de 2018. Foram realizados 36252 registros nesse período, das quais apenas 22 apresentaram alguma inconsistência devido a desconexões ou interferências externas. Todas as ocorrências foram mapeadas devido à um mecanismo que o próprio sensor DS18B20 implementa em caso de falha. Quando ocorre erro ele registra a temperatura aferida como -127°C .

Os valores registrados foram devidamente tratados em softwares de planilha eletrônica e editoração de texto. A análise gráfica gerada a partir dos resultados foi obtida através do software Origin[®].

A Figura 9 exhibe as temperaturas aferidas pelos sensores DS18B20, sendo quatro deles enterrados em profundidades distintas e o quinto localizado no interior do ambiente da edificação. É possível observar que a temperatura do solo, manteve-se estável ao longo do período, com pequenas variações pontuais, em excepcional no período compreendido entre a segunda e terceira semana de setembro. Já a temperatura do interior da edificação sofreu variações durante vários períodos do dia, tendo como exemplo o dia 26 de agosto em que às 06:23 da manhã o sensor interno registrava $11,0^{\circ}\text{C}$ e às 15:58 o mesmo sensor registrou $19,0^{\circ}\text{C}$.

Figura 9. Temperaturas aferidas pelos quatro sensores inseridos no solo e pelo sensor do interior da edificação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A temperatura do sensor localizado na superfície do solo foi desconsiderada nesta análise pois por se tratar de uma haste metálica exposta ao sol, os valores obtidos eram acima da temperatura ambiente devido à condutividade térmica do material.

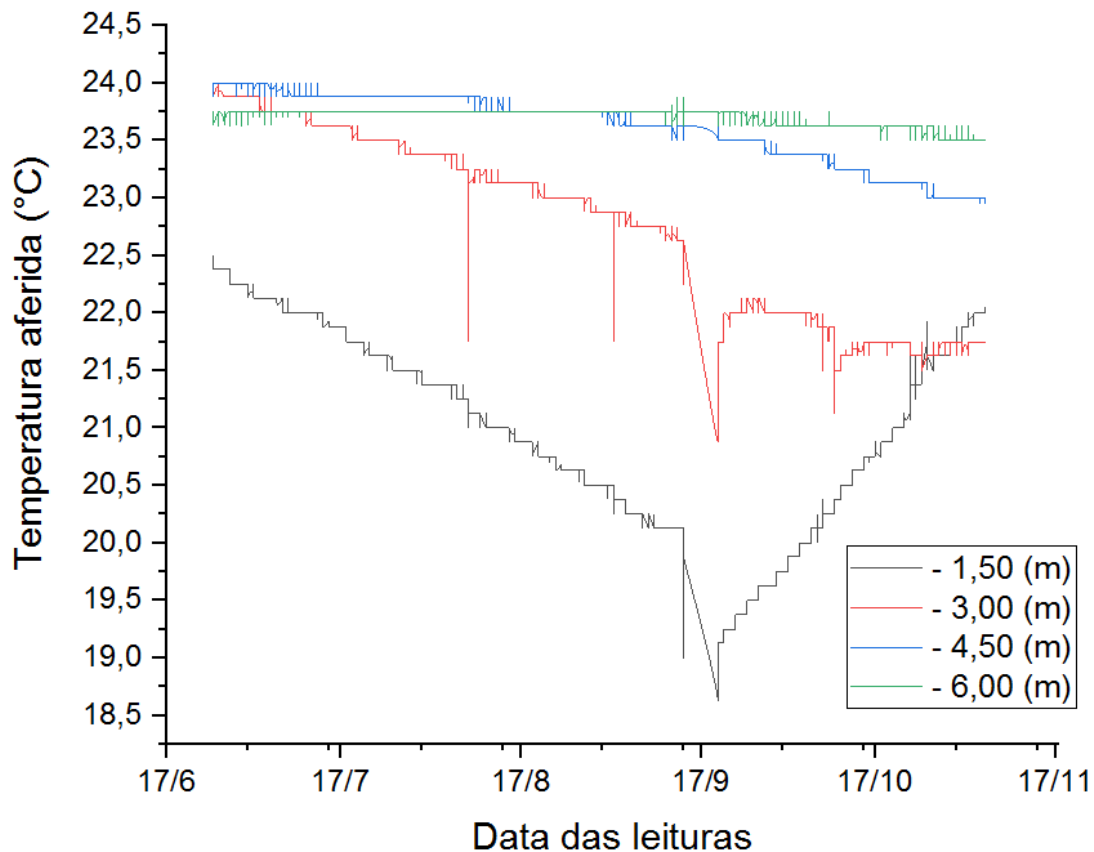
Ao analisar as temperaturas coletadas pelos sensores enterrados foi possível identificar que os sensores posicionados nas profundidades de 4,5 e 6,0 metros pouco sofreram variações. A menor temperatura registrada pelo sensor localizado à 4,5 metros de profundidade foi 22,88 °C no dia 05 de novembro, data da última leitura realizada, enquanto a máxima no período foi de 24,00 °C nos dias 10 e 11 de setembro.

Já no sensor enterrado à 6,0 metros de profundidade a mínima no período foi de 23,50 °C, registrada a partir do dia 18 de

outubro até o fim das leituras no dia 5 de novembro. Enquanto que sua máxima no período foi de 23,88 °C registrada entre os dias 12 e 14 de setembro.

Por outro lado, os sensores mais próximos da superfície foram os que registraram maiores variações de temperaturas no período. O sensor na profundidade de 3,0 metros registrou mínima de 20,75 °C no dia 20 de setembro e máxima de 24,00 °C entre os dias 25 e 26 de junho. Já o sensor localizado na profundidade de 1,5 metro teve mínima de 18,63 °C também registrada no dia 20 de setembro e máxima de 22,50 °C acompanhando as mesmas datas das máximas do sensor subsequente. A Figura 10 registra a variação de temperatura dos quatro sensores inseridos no solo durante o período e explicita como a diferença da profundidade influi na amplitude da variação registrada.

Figura 10. Temperaturas aferidas pelos quatro sensores inseridos no solo no período entre 25 de junho e 5 de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações coletadas nesta pesquisa permitiram realizar um mapeamento preliminar do cenário geotérmico de Dourados no período compreendido entre os meses de Junho e Novembro. Foi possível através dos resultados obtidos perceber que as temperaturas do solo pouco variam nas camadas mais profundas. A estabilidade da temperatura do solo é uma das características mais vantajosas para permitir a aplicação de um sistema de GSHP.

Por outro lado, tanto a temperatura nas camadas superiores quanto inferiores

apresentam tendência diretamente oposta, por menor que seja sua variação, à temperatura do ambiente: As maiores temperaturas ambiente registradas no interior da edificação foram durante o período compreendido entre o fim de setembro e início de novembro, exatamente o período onde as menores temperaturas em todas as camadas foram consistentemente registradas. A continuidade das coletas permitirá realizar análises mais fidedignas, excepcionalmente se todas as estações do ano forem contempladas.

O presente trabalho resultou na prototipagem de um sistema eletrônico

composto por peças facilmente encontradas no mercado e que permitiram a aferição de temperaturas do solo. O protótipo resultante desse projeto permitirá o desdobramento de outras pesquisas utilizando o mesmo sistema aplicado em outras localidades e com variações da metodologia.

O sistema continua instalado e monitorando as temperaturas. O projeto prevê seu funcionamento por, no mínimo, um ano. Os resultados serão utilizados para alicerçar pesquisas futuras e divulgar a Energia Geotérmica para a comunidade.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa só foi possível graças ao empenho dos membros do grupo de pesquisa de Geotermia da UFGD coordenado pelo Prof. Dr. Agleison Ramos Omido.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Ranking Nacional de Tarifas Residenciais (Grupo B1), 2018**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>>. Acesso em 17 de maio de 2018.

ARDUINO. **Arduino Official Website**. Disponível em <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em 04 de junho de 2018.

CANALENERGIA. **Brasil atinge 250 MW em geração solar distribuída**. Disponível em <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53061231/brasil-atinge-250-mw-em-geracao-solar-distribuida>>. Acesso em 12 de junho de 2018.

EGEC - European Geothermal Energy Council. **About Geothermal Energy**. Disponível em <<https://www.egec.org/about/#aboutgeot>>. Acesso em 18 de maio de 2018.

EPE. **Balanço Energético Nacional – Relatório Síntese (Ano Base 2016)**. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%A0ntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final%202017%20Web.pdf>>. Acesso em 17 de maio de 2018.

FILIPEFLOP. **Sensor de temperatura DS18B20 à prova d'água**. Disponível em <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua/>>. Acesso em 28 de maio de 2018.

FILIPEFLOP. **Sensor de umidade e temperatura DHT22**. Disponível em <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-am2302-dht22/>>. Acesso em 28 de maio de 2018.

GÉOTERMIE PERSPECTIVE. **Ressources géothermiques mondiales**. Disponível em <<https://www.geothermie-perspectives.fr/>>. Acesso em 18 de maio de 2018.

TAVARES, J. C. **Integração de Sistemas de Bombas de Calor Geotérmica em Edifícios**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Coimbra, Coimbra.

TRILLO, G. L.; ÂNGULO, V. R. **Guía de la Energía Geotérmica – Fundación de la comunidad de Madrid**. 2008. Madrid.

WILLIAMS, C. F; REED, M. J; MARINER, R. H; DEANGELO, J; GALANIS, S. P. **Assessment of Moderate and High-Temperature Geothermal Resources of the United States**, 2008.