



Levantamento de dados para possível utilização da energia geotérmica na cidade de Pedro Juan Caballero/PY

Data Collection for the Potential Use of Geothermal Energy in Pedro Juan Caballero/PY

Alexsandro Leguizamon dos Santos

Universidade Federal da Grande Dourados - FAEN

alexsandro.santos065@academico.ufgd.edu.br

OrcID: 0009-0008-3962-5717

Agleison Ramos Omido

Universidade Federal da Grande Dourados - FAEN

E-mail: agleisonomido@ufgd.edu.br

OrcID: 0000-0002-0014-8537

Recebido em: 2025-03-21

Aceito em: 2025-04-03

DOI: <https://doi.org/10.30612/ipsum.v1i1.19905>

RESUMO - Este trabalho apresenta os resultados do monitoramento da temperatura do solo, em diferentes profundidades, na região de fronteira entre o Brasil e o Paraguai, na cidade de Pedro Juan Caballero, através da coleta de parâmetros para a composição de um banco de dados a fim de subsidiar projetos de utilização da energia geotérmica, focando especificamente na análise de sua estabilidade térmica ao longo do tempo. A energia geotérmica é uma fonte renovável que aproveita o calor proveniente do interior do solo para a geração de energia elétrica e térmica, sendo uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis e ideal para climatização de ambientes. Neste estudo, foram coletados dados entre setembro de 2023 e abril de 2024, utilizando o Arduino para a coleta de dados em 1,5 m, 3,0 m, 4,5 m e 6,0 m para avaliar a possibilidade da utilização de energia geotérmica. A temperatura no solo de Pedro Juan Caballero, se mostra estável em torno de 24 °C, estando próxima da temperatura média anual da região, 22,4 °C. Os resultados indicaram que a temperatura no subsolo apresenta uma variação mínima ao longo do ano, o que torna uma opção para a climatização de ambientes construídos.

Palavras-chave: Temperatura. Estabilidade Térmica. Alternativa Sustentável.

ABSTRACT – This work presents the results of soil temperature monitoring at different depths in the border region between Brazil and Paraguay, in the city of Pedro Juan Caballero. Through the collection of parameters for the composition of a database, it aims to support geothermal energy utilization projects, focusing specifically on the analysis of its thermal stability over time. Geothermal energy is a renewable source that harnesses heat from the Earth's interior to generate electrical and thermal energy, providing a sustainable alternative to fossil fuels and an ideal solution for climate control in buildings. In this study, data were collected from September 2023 to April 2024, using Arduino to gather information at depths of 1.5 m, 3.0 m, 4.5 m, and 6.0 m to evaluate the feasibility of geothermal energy utilization. The soil temperature in Pedro Juan Caballero remains stable around 24 °C, close to the region's annual average temperature of 22.4 °C. The results indicated that the subsurface temperature exhibits minimal variation throughout the year, making it a viable option for climatizing built environments.

Keywords: Temperature. Thermal Stability. Sustainable Alternative.

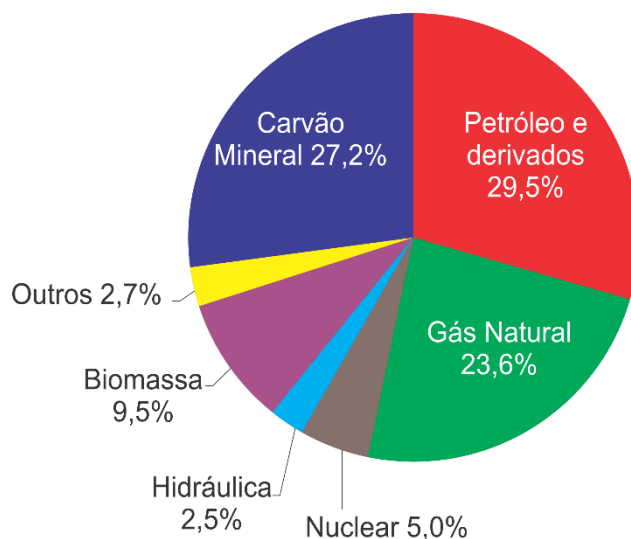
1 INTRODUÇÃO

Uma das questões mais discutidas nos últimos anos é a produção de energia por meio de fontes renováveis e que sejam benéficas ao meio ambiente, conhecidas como “energias limpas”. Atualmente, é comum encontrarmos a produção de energia nos próprios locais de consumo, como a utilização de painéis fotovoltaicos, que captam a radiação solar e a convertem em energia elétrica através do efeito fotovoltaico, por exemplo. Essa prática é chamada de Geração Distribuída Renovável (Bajay et al., 2018).

A autoprodução de energia elétrica se mostra benéfica para aqueles que podem realizá-la, pois impacta a redução de despesas, estimada em aproximadamente 95% do valor total da fatura energética, sem levar em consideração os custos com a aquisição do sistema e também a mão de obra (Tullio, 2019). Entretanto, gerar a própria energia não traz vantagens apenas em termos econômicos; essa prática apresenta um grande potencial para contribuir positivamente ao meio ambiente (Tullio, 2019).

Esse benefício ambiental se torna mais relevante quando comparado aos meios convencionais de geração de eletricidade mundial (Figura 01), como a combustão do carvão e a exploração de petróleo, que provocam a emissão, na atmosfera, de gases de efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e os perfluorocarbonetos (PFCs) (Antunes, 2023).

Figura 01 – Matriz Energética Mundial em 2021.



Fonte: Adaptada de IEA, 2023.

Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) do Brasil, no documento “Acordo de Paris”, foi estabelecido um novo acordo, em decorrência

da 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), com o propósito de promover uma resposta global à ameaça das alterações climáticas e fortalecer a capacidade dos países de lidar com os impactos gerados por essa mudança (Brasil, 2017).

As mudanças climáticas, devido a fatores externos (ciclo natural) e à influência do homem, agravaram-se ao longo do tempo. Contudo, a mitigação das emissões em larga escala de gases de efeito estufa (GEE) apresenta-se como uma alternativa viável por meio da aplicação de estratégias que visam controlar tanto a taxa quanto a intensidade das alterações observadas nesses fenômenos (Bajay et al., 2018).

Nesse contexto, uma das ações de maior importância é a adoção de fontes de energia elétrica renovável, que ganham grande destaque por sua contribuição reduzida e menos expressiva para o aumento do efeito estufa, buscando minimizar os efeitos do aquecimento global (IRENA, 2017).

Uma das questões destacadas na geração de energia a partir de fontes de menor impacto ambiental é a inconsistência, uma vez que manter uma produção contínua ao longo do dia implica uma série de desafios, dado que está condicionada a variáveis externas (Tullio, 2019).

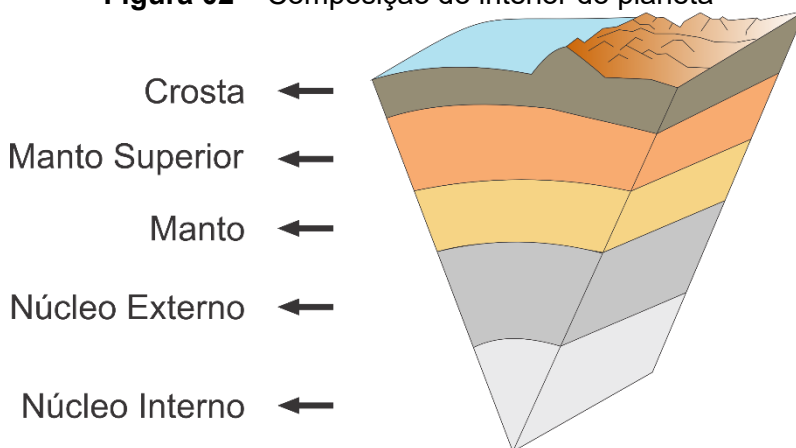
A energia solar, por exemplo, encontra-se sujeita a limitações devido à sua dependência da disponibilidade de radiação solar. Dessa forma, a variabilidade climática exerce uma influência significativa na capacidade de produção contínua de energia. A energia eólica, por outro lado, enfrenta desafios associados ao dimensionamento de suas infraestruturas, à variabilidade na velocidade do vento — que não apresenta uma constância paramétrica — e à necessidade de vastas extensões de terreno para sua implementação, os chamados “parques eólicos” (Tullio, 2019).

Com base nessa premissa, a energia geotérmica emerge como uma opção de destaque devido à sua capacidade de fornecimento contínuo, graças à sua independência em relação às condições climáticas, uma vez que está disposta ao longo do globo terrestre (Mapfre, 2021).

Do ponto de vista científico, a geotermia pode ser entendida como a investigação da energia contida na crosta terrestre, assim como das elevadas temperaturas inerentes ao núcleo da Terra, ambas podendo ser extraídas de maneira economicamente rentável (Editorial, 2014).

O calor proveniente do interior terrestre (Figura 02), resultante das elevadas temperaturas do núcleo composto por magma em estado fundido, emerge na superfície por meio de fissuras ou falhas nas placas tectônicas em diversas regiões do mundo. Esse calor se manifesta como água quente, vapor aquecido ou lava (Editorial, 2014).

Figura 02 – Composição do interior do planeta



Fonte: Adaptado de SGB, 2015.

Os processos de condução, convecção e radiação sustentam o transporte contínuo e a renovação desse calor. Além disso, o calor externo provém da incidência solar na crosta terrestre (Editorial, 2014).

Para a análise da energia geotérmica, em teoria, existe um gradiente de temperatura em função da profundidade, estimado em aproximadamente $0,03\text{ }^{\circ}\text{C/m}$; ou seja, a cada metro percorrido para dentro da Terra, a temperatura sofre um acréscimo de $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Dias et al., 2014).

Na prática, em grande parte do planeta, o gradiente não condiz com a realidade, pois Rio (2010/2011) nos informa que a crosta terrestre apresenta um comportamento térmico estacionário, ou seja, a temperatura no interior do solo é constante a poucos metros de profundidade e, geralmente, próxima à média anual de temperatura característica da região analisada. Dias et al. (2014) complementa essa ideia, afirmando que a temperatura não sofre grandes variações em até 20 metros de profundidade.

Segundo o Idae (2012), a energia geotérmica é definida e classificada de acordo com sua temperatura, sendo dividida em quatro grupos:

- I. O grupo de Alta Entalpia, que apresenta temperaturas superiores a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- II. O grupo de Média Entalpia, que apresenta temperaturas superiores à de $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ e inferiores à $150\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- III. O grupo de Baixa Entalpia, que apresenta temperaturas superiores à 30 °C e inferiores à 90 °C
- IV. O grupo de Muito Baixa Entalpia, que apresenta temperaturas inferiores a 30 °C.

Para as temperaturas superiores a 150 °C, é possível a geração de energia elétrica por meio de mecanismos para a captação de água quente e vapor. A produção de energia elétrica é proveitosa nos grupos de média a alta entalpia. Para temperaturas inferiores a 90 °C, até a faixa de 70 °C, é possível gerar energia em pequena escala (IRENA; IGA, 2023).

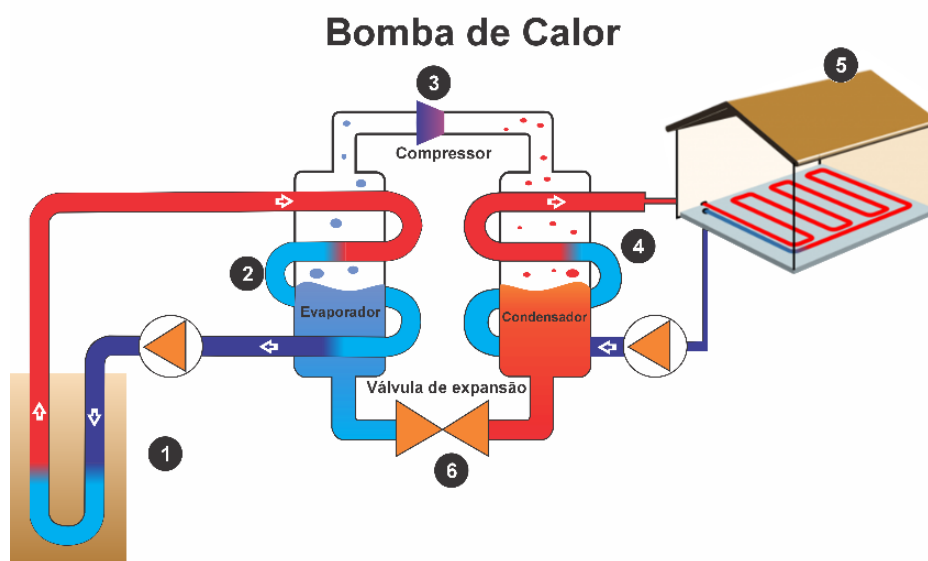
Já para temperaturas abaixo de 70 °C, a energia geotérmica obtida pode ser potencializada por meio da utilização de uma bomba de calor geotérmica (em inglês, Ground-source heat pump – GSHP) para suprir as necessidades energéticas de diversas aplicações (IRENA; IGA, 2023).

O sistema de GSHPs compreende um permutador de calor, um sistema de dutos e uma bomba de calor encarregada de transferir a energia térmica entre os circuitos e os dutos. Uma aplicação viável desses sistemas reside na realização do condicionamento térmico de ambientes (Nascimento et al., 2012).

Esse sistema funciona transferindo o calor de uma fonte de temperatura mais baixa para uma fonte de temperatura mais alta. O processo inverso também pode ocorrer, por meio do ciclo de compressão de vapor, no qual um fluido refrigerante é escolhido para realizar o processo (Editorial, 2014).

O grupo de Muito Baixa Entalpia é ideal para a climatização de ambientes, por meio da utilização de bombas de calor, uma vez que, quando está calor, é possível resfriar o ambiente por esse mecanismo, e, quando está frio, é possível realizar o aquecimento (Editorial, 2014).

Segundo Self et al. (2013) as bombas de calor que são utilizadas para a climatização de ambientes funcionam conforme a esquematização da Figura 03, seguido da explicação de cada um de seus itens (I a V):

Figura 03 – Ciclo das bombas de calor

Fonte: Adaptada de Niessink, 2019.

- I. Ocorre a retirada do calor do solo (1) e o transporte até o evaporador (2) onde ocorre a primeira troca de energia;
- II. O fluido refrigerante, presente no circuito, absorve esse calor e, ao entrar no evaporador (2) é transformado em vapor de baixa pressão;
- III. O vapor passa pelo compressor (3) onde ocorre um aumento na pressão, resultando em vapor de alta temperatura e pressão;
- IV. Esse vapor em alta temperatura entra no condensador (4), onde se resfria e condensa, tornando-se a ser um líquido de alta pressão e temperatura. Nesta fase, há a transferência de calor para o ambiente (5);
- V. Para o processo de refrigeração de ambientes, o sistema utiliza o gás refrigerante para extrair o calor do ar, de modo que o ar quente é retirado do ambiente.
- VI. Em seguida, a válvula de expansão (6) reduz a pressão do fluido, diminuindo a temperatura, dando início a um novo ciclo.

Este recurso se mostra com grande potencial, dada sua disponibilidade ao redor do globo terrestre, e vários países já estabeleceram metas para o desenvolvimento de energia geotérmica (IRENA; IGA, 2023).

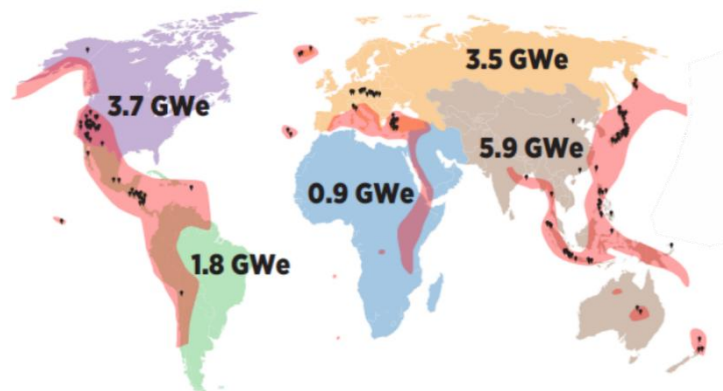
Nos Estados Unidos, já foram realizadas análises para a avaliação das oportunidades futuras de implementação deste serviço, e foi concluído que poderiam ser atingidos cerca de 60 gigawatts (GWe) de capacidade instalada até 2050 (US DoE, 2019).

Em 2017, a China adotou o “13º Plano Quinquenal para o Desenvolvimento e Utilização de Energia Geotérmica”, visando promover o desenvolvimento geotérmico para a redução da poluição do ar e fornecer eletricidade contínua em cargas básicas (Jianchao; Mengchao; Liu, 2018).

Na Europa, a Agência Internacional de Energia (IEA) e a Agência Francesa de Meio Ambiente e Gestão de Energia (ADEME) identificaram a geotermia como a solução mais econômica para lidar com a refrigeração e a produção de energia (IRENA, 2023).

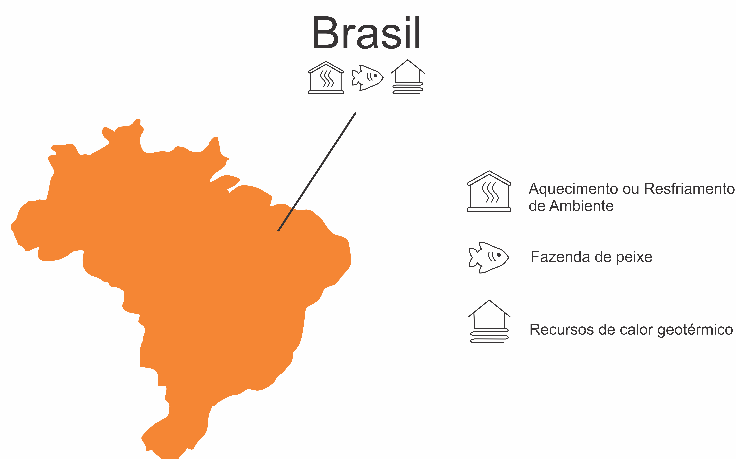
Em 2021, em todo o mundo, a geração de energia geotérmica estava presente em mais de 30 países, distribuídos entre as Américas, Europa, África, Ásia e Oceania, como mostrado na Figura 04. Na Nova Zelândia, Filipinas, Turquia e nos Estados Unidos, a geração de energia geotérmica tem planos para operar por décadas, enquanto em outros países estão apenas começando a explorar a produção de energia geotérmica (IRENA; IGA, 2023).

Figura 04 – Capacidade das instalações de energia geotérmicas por região em 2021



Fonte: IRENA e IGA, 2023.

No Brasil, ainda não há aproveitamento da energia geotérmica para a produção direta de eletricidade, mas já existem diversos estudos reunindo informações sobre o potencial energético do país (Tullio, 2019). Atualmente, as principais atividades (Figura 05) que se beneficiam da energia geotérmica gerada são: a climatização de ambientes e fazendas de peixes (IRENA; IGA, 2023).

Figura 05 – Utilização da energia geotérmica no Brasil.

Fonte: Adaptado de Lund e Toth. 2021.

Segundo Vieira, Guimarães e Hamza (2015), o Laboratório Geotérmico do Observatório Nacional Brasileiro dividiu os principais sistemas geotérmicos explorados comercialmente no Brasil em grupos:

- I. BRT – Balneares, Recreação e Turismo;
- II. PSI – Potencial para aquecimento ambiental e uso industrial;
- III. TDB – Termas e águas de engarrafamento.

Segundo Tullio (2019), o grupo PSI apresenta uma capacidade térmica total estimada em 343 megawatts térmicos (MWt). Atualmente, os recursos disponíveis nesses locais estão sendo usados apenas para banhos e recreação. Sobre o uso da geotermia superficial ou das GSHPs, Moraes (2022) nos fornece dados sobre testes da utilização de GSHP's para a climatização em estágio inicial, sendo testados na USP de São Carlos.

O objetivo deste trabalho foi realizar um levantamento de dados sobre a temperatura do solo em diferentes profundidades na cidade de Pedro Juan Caballero, onde há uma fronteira seca com a cidade de Ponta Porã, localizada no estado de Mato Grosso do Sul.

2 METODOLOGIA

No mês de setembro de 2023, foi executada a montagem e instalação de um dispositivo com a finalidade de coletar e armazenar dados relacionados à temperatura ambiente e às temperaturas em diferentes profundidades do solo. O solo objeto de estudo encontra-se em uma propriedade privada, situada na Rua Cerro León y General Diaz, número 1170,

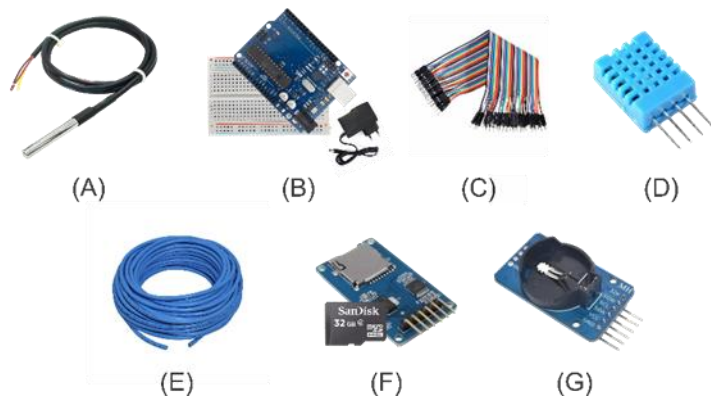
na cidade de Pedro Juan Caballero, Paraguai, nas coordenadas 22°32'25.5"S 55°44'12.1"W.

Para efetuar o monitoramento das temperaturas do solo, foram colocados quatro sensores de temperatura DS18B20 à prova d'água do tipo sonda em diversas profundidades. O primeiro sensor foi posicionado a uma profundidade de 1,50 m, o segundo a 3,0 m, o terceiro a 4,5 m e o quarto a 6,0 m. Adicionalmente, um quinto sensor DS18B20 do tipo sonda foi implantado para monitorar a temperatura ambiente, situando-se ao lado do dispositivo montado.

O aparelho em questão é composto pelos itens listados abaixo:

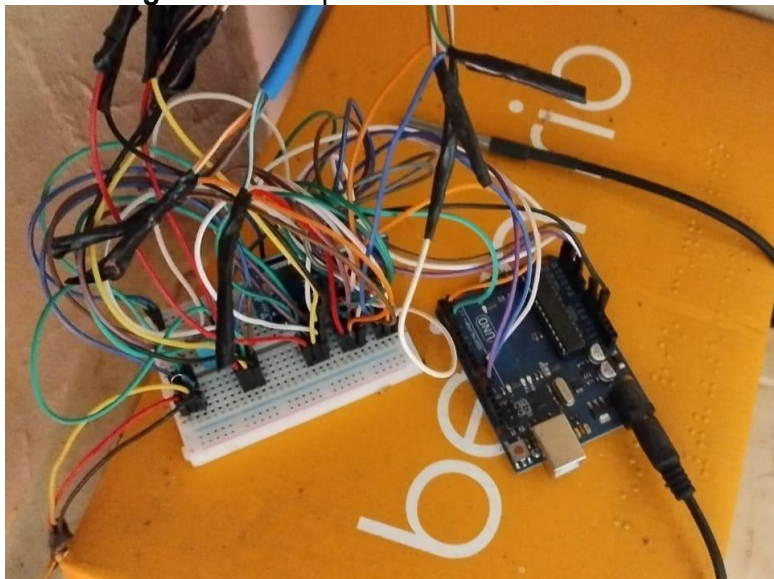
- I. Sensores de temperatura DS18B20 do tipo sonda, à prova d'água (Figura 06 – A);
- II. Placa Arduino Uno R3 SMD CH340 com cabo USB, juntamente com uma fonte de alimentação de 9 V e uma unidade de Protoboard de 400 pontos (Figura 06 – B);
- III. Jumpers macho-macho (Figura 06 – C);
- IV. Sensor de umidade e temperatura DHT11 (Figura 06 – D);
- V. Cabos UTP cat-6 (Figura 04 – E);
- VI. Módulo micro SD TF card para Arduino e cartão de memória micro SD de 32 gigabytes (Figura 06 – F)
- VII. Módulo de relógio para Arduino RTC DS 1307 com bateria (Figura 06 – G)

Figura 06 – Dispositivos utilizados para a montagem do dispositivo.



Fonte: Os autores, 2024.

A montagem do dispositivo pode ser observada através da Figura 07:

Figura 07 – Dispositivo em funcionamento

Fonte: Os autores, 2023.

O sistema permaneceu conectado à energia elétrica em um dos cômodos da residência, visando evitar problemas decorrentes de intempéries. Para assegurar a proteção dos sensores durante o período de coleta, estes foram instalados em ponteiras fabricadas a partir de tubos, luvas e caps de PVC $\frac{3}{4}$ ", unidos com adesivo específico para tubulações e isolados com silicone, conforme exemplificado na Figura 08:

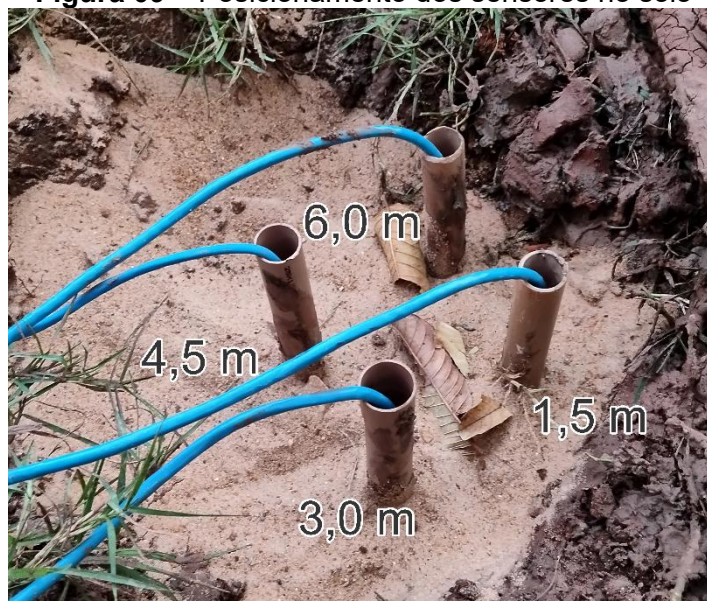
Figura 08 – Ponteiras dos quatro sensores DS18B20

Fonte: Os autores, 2023.

Em sequência, foi necessário realizar a escavação dos pontos previamente estabelecidos para o posicionamento dos sensores. Utilizou-se um trado especialmente adaptado para essa finalidade, realizando aberturas com profundidades de 1,5, 3,0, 4,5 e

6,0 metros no solo. Em seguida, locou-se todos os sensores em suas respectivas profundidades, conforme exemplificado na Figura 09:

Figura 09 – Posicionamento dos sensores no solo

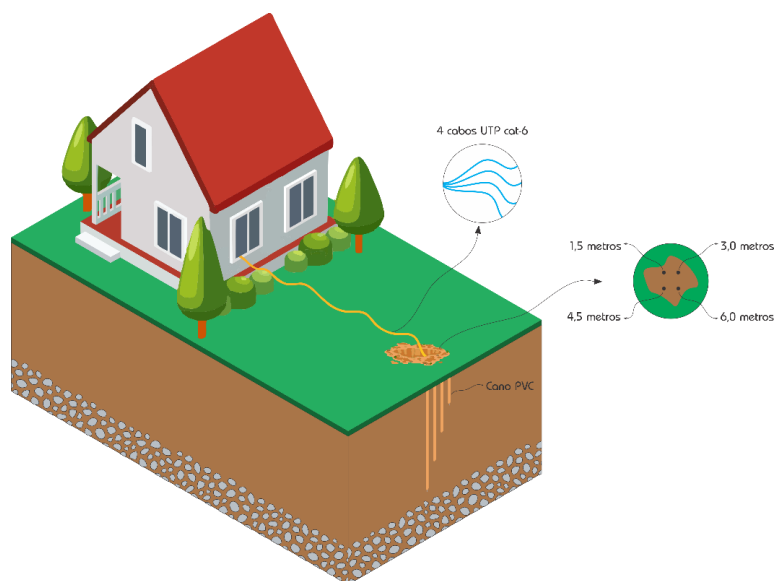


Fonte: Os autores, 2023.

Considerando que o dispositivo está situado aproximadamente a 9 metros do local designado para o enterramento dos sensores, os cabos UTP cat-6 foram resguardados por mangueira corrugada, proporcionando proteção tanto para o tráfego de pessoas quanto para adversidades climáticas.

Em resumo as informações apresentadas anteriormente, a esquematização final da instalação do dispositivo, bem como o posicionamento dos sensores, pode ser observada na Figura 10:

Figura 10 – Esquematização das instalações realizadas



Fonte: Os autores, 2024.

Os dados foram coletados de maneira contínua durante o período de avaliação do potencial geotérmico, entre setembro de 2023 à abril de 2024. As leituras de temperatura foram registradas em intervalos de 5 minutos e armazenadas em um cartão micro SD no formato “.txt”, permitindo uma análise precisa do comportamento térmico do subsolo ao longo do tempo.

Para garantir que o sistema estivesse operando com eficiência, foram realizadas verificações quinzenais, nas quais o funcionamento dos sensores e a integridade dos dados armazenados eram conferidos.

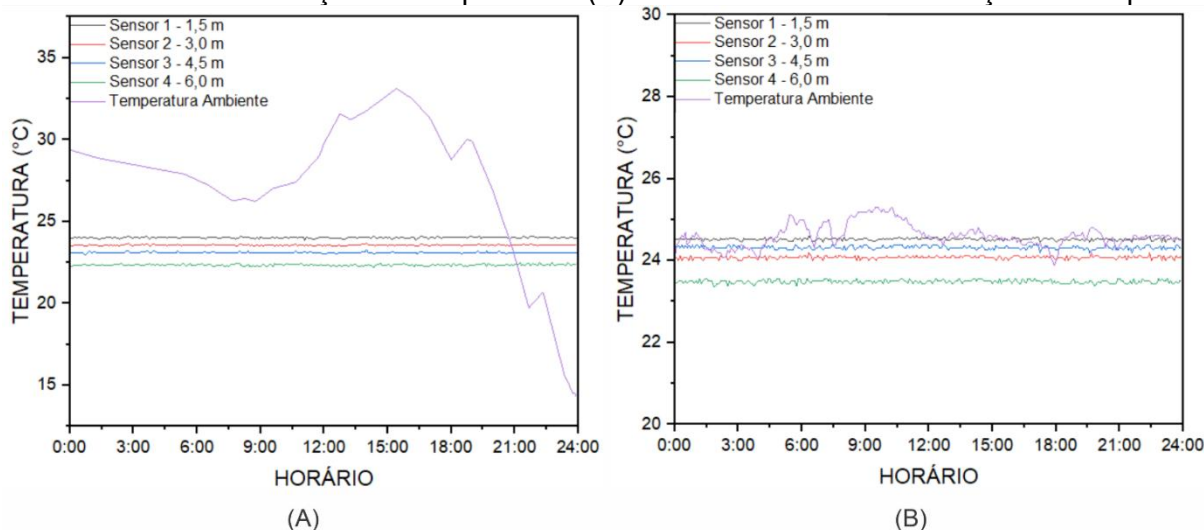
Durante o processo de monitoramento, análises específicas foram planejadas para avaliar o perfil térmico em dias com diferentes temperaturas. Essas análises incluíram a comparação das temperaturas em dias de máxima temperatura e em dias de mínima temperatura, como também a análise dos dias com maior e menor variação de temperatura monitorados.

Além disso, foi planejada a realização de uma análise abrangente ao final do período de coleta de dados, totalizando oito meses de monitoramento contínuo. Nesta etapa, foram avaliadas as variações de temperaturas mínimas e máximas ao longo do período, para um entendimento mais completo da variação térmica do subsolo em Pedro Juan Caballero.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Abaixo, observa-se pela Figura 11, o monitoramento de um dia completo, sendo selecionado o dia de maior variação da temperatura (04/10/2023) e o dia com a menor variação de temperatura (17/11/2023) captados pelo sistema.

Figura 11 – Análise do comportamento no subsolo na cidade de Pedro Juan Caballero/PY. (A) Análise com a maior variação de temperatura. (B) Análise com a menor variação de temperatura



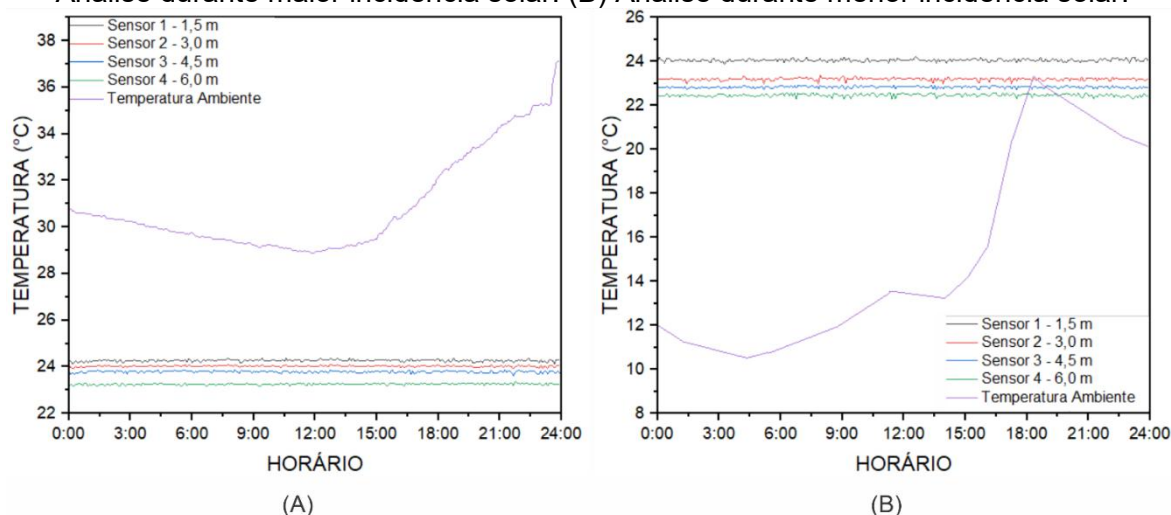
Fonte: Os autores, 2024.

Conforme apresentado no Figura 11, embora haja uma grande variação de temperatura na superfície ao longo do dia, essa variação não gera impactos significativos na temperatura do subsolo. Observa-se que, a 1,5 e a 3,0 metros de profundidade, ocorrem pequenas oscilações térmicas, o que reforça a ideia de Rio (2010/2011), que afirma que a crosta terrestre apresenta um comportamento térmico estacionário, refletindo a média anual de temperatura na região analisada. No entanto, para as profundidades de 4,5 e 6,0 metros, essa variação torna-se ainda menor, e em determinados dias, é quase imperceptível.

O mesmo comportamento se repete quando há pouca variação de temperatura na superfície, o solo quase não apresenta nenhum tipo de variação nas quatro diferentes profundidades analisadas.

Em seguida, foi analisado, na Figura 12, as variações de temperatura do solo no dia da maior temperatura registrada (09/11/2023) e menor temperatura registrada (14/10/2023), ao adicionarmos mais dois cenários para a análise, foi possível observar como a energia geotérmica mantém sua estabilidade.

Figura 12 – Análise do comportamento no subsolo na cidade de Pedro Juan Caballero/PY. (A) Análise durante maior incidência solar. (B) Análise durante menor incidência solar.

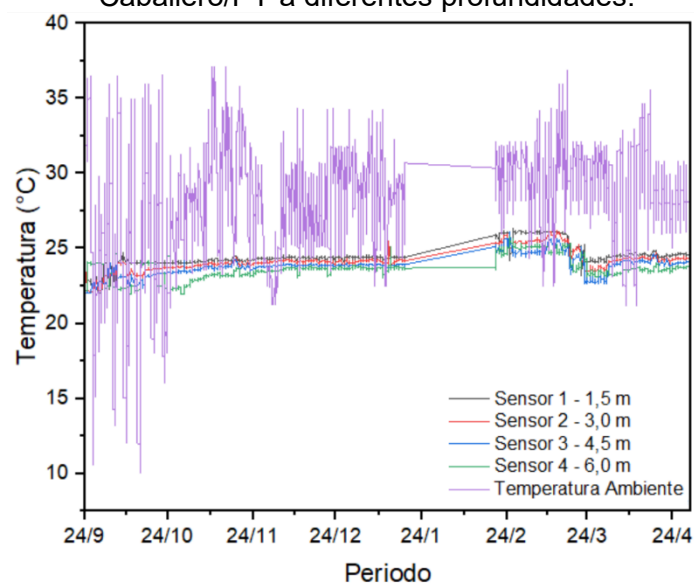


Fonte: Os autores, 2024.

Conforme apresentado no Figura 12, observa-se que a temperatura do solo responde de forma estável às variações de temperatura na superfície. Embora tenha ocorrido o aumento significativo da temperatura, as camadas do solo mantiveram variações mínimas, reforçando a eficácia da capacidade do solo de ser um meio de armazenamento térmico. Já nos dias de menor temperatura, as temperaturas mais baixas da superfície tiveram um impacto reduzido sobre o subsolo, reforçando a constância térmica mesmo sob condições climáticas variáveis.

No Figura 13 abaixo, foi feito uma análise do Período X Temperatura, onde é possível observar o comportamento da temperatura do subsolo.

Figura 13 – Análise do comportamento da temperatura no subsolo na cidade de Pedro Juan Caballero/PY a diferentes profundidades.



No Figura 13, observa-se um comportamento quase estacionário da temperatura no subsolo, com pequenas oscilações correspondentes a variações de aquecimento e resfriamento do solo. As profundidades de 1,5 e 3,0 metros mostram-se mais suscetíveis a essas variações ao longo dos anos, devido à proximidade com a superfície terrestre. Em contrapartida, as profundidades de 4,5 e 6,0 metros apresentam oscilações menores, indicando uma maior estabilidade térmica, em comparação com as camadas mais superficiais.

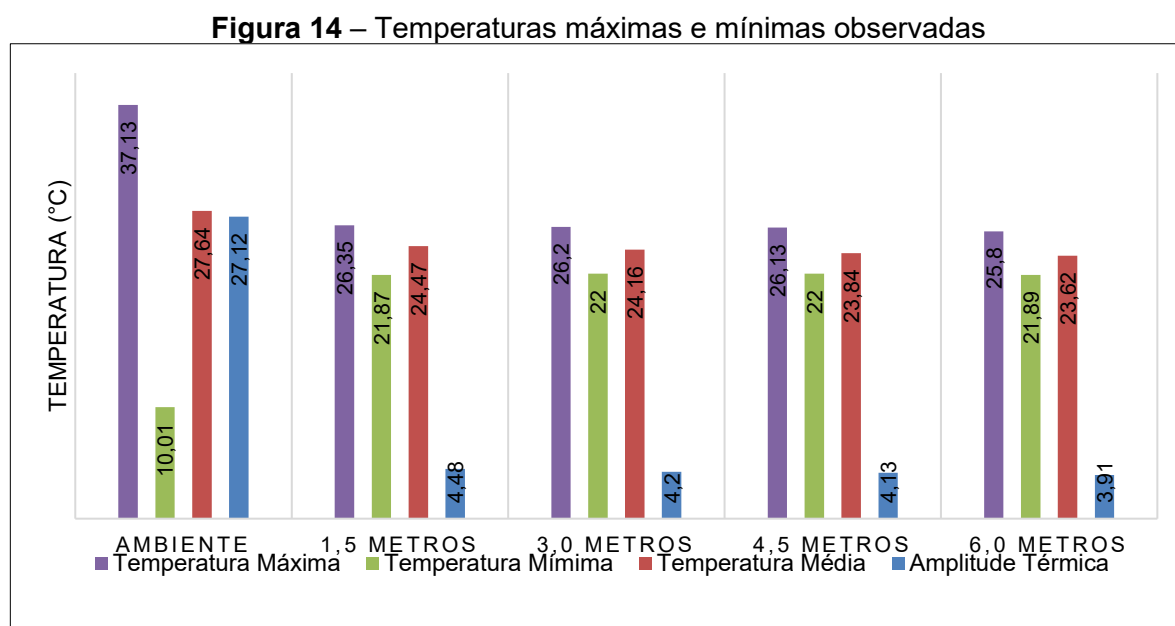
Embora ocorram variações nas quatro profundidades analisadas no subsolo, estas são significativamente menores quando comparadas às variações observadas no ambiente, o que evidencia a grande estabilidade térmica do subsolo. A temperatura no subsolo tende a variar menos conforme a profundidade aumenta, o que indica a capacidade de armazenar e manter o calor de forma eficiente.

Entre os meses de janeiro e fevereiro, observou-se um salto na temperatura registrada, causado por uma falha no sistema de coleta de dados com o Arduino. A interrupção foi decorrente de uma sobrecarga elétrica que danificou tanto a placa do Arduino quanto os sensores conectados, resultando em duas semanas sem coleta de dados.

No ambiente, observou-se uma amplitude térmica significativa de 27,12 °C, refletindo as variações climáticas diárias e sazonais. Em contrapartida, na maior profundidade estudada, a 6,0 metros abaixo da superfície, a amplitude foi consideravelmente menor,

registrando apenas 3,91 °C, o que evidencia a capacidade do subsolo de manter uma temperatura mais estável e menos influenciada pelas condições externas.

A Figura 14 apresenta de forma detalhada, a amplitude térmica registrada em cada profundidade monitorada, além de destacar as temperaturas máximas e mínimas alcançadas em cada nível ao longo do período de estudo, permitindo uma visualização clara das variações térmicas em relação à profundidade.



Fonte: Os autores, 2024.

As médias de temperaturas registradas em cada profundidade estão apresentados na Figura 10, demonstrando que, à medida que a profundidade aumenta, as temperaturas se tornam progressivamente mais estáveis e menos influenciadas pelas variações do ambiente. Em profundidades mais rasas, como 1,5 e 3,0 metros, ainda se observa algumas oscilações térmicas, embora menor, comparada a superfície. No entanto, em profundidades mais profundas, como 4,5 e 6,0 metros, essa estabilidade se intensifica,

evidenciando que o subsolo atua como um eficiente reservatório de calor, capaz de amortecer as variações térmicas externas e manter uma temperatura mais constante ao longo do tempo.

5 CONCLUSÃO

A análise do potencial geotérmico na região de Pedro Juan Caballero/PY, realizada ao longo de um período de oito meses, demonstrou que o subsolo se apresenta como uma fonte eficaz de armazenamento de energia térmica, devido a sua notável estabilidade. As medições de temperaturas coletadas em diferentes profundidades evidenciam que a energia geotérmica se mostra uma alternativa eficiente

Enquanto a amplitude térmica do ambiente alcançou 27,12 °C, a variação nas profundidades de 1,5 a 6,0 metros foi significativamente menor, variando entre 4,48 °C e 3,91 °C. Essa estabilidade térmica é uma característica fundamental que possibilita a utilização da energia geotérmica para climatização de ambientes, pois o solo pode atuar tanto como um dissipador de calor no verão, como uma fonte de calor no inverno.

Além disso, a pesquisa ressalta a importância de considerar a energia geotérmica não apenas como uma alternativa viável para o suprimento energético local, mas também como um recurso que pode ser integrado em uma matriz energética sustentável global. Dada a crescente demanda por energia limpa e renovável, a energia geotérmica se destaca por seu potencial de fornecer energia de forma contínua, o que contribui para a descarbonização da atmosfera e a mitigação das mudanças climáticas.

Os dados obtidos reforçam que, em profundidades diferentes, as temperaturas se mantêm em faixas que viabilizam a aplicação de bombas de calor geotérmica, sendo este um caminho promissor para a climatização de ambientes construídos na região. A implementação de sistemas geotérmicos pode resultar em economia significativa de energia elétrica.

As informações obtidas sobre as temperaturas do solo em diferentes profundidades são essenciais para orientar futuras iniciativas que busquem aproveitar o potencial geotérmico local, contribuindo assim para uma diversificação das fontes de energia renováveis e para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, P. de B. **Direito ambiental**. 23. ed. rev., atual., reformulada. São Paulo: Atlas, 2023. e-book. ISBN 9786559773787. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9786559773787>. Acesso em: 27 out. 2023.

BAJAY, S. et al. **Geração distribuída e eficiência energética: reflexões para o setor elétrico de hoje e do futuro**. 1. ed. Campinas: International Energy Initiative, IEI Brasil, 2018.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento (SEPED), Coordenação-Geral do Clima (CGCL). **Acordo de Paris**. 2017. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo_paris.pdf. Acesso em: 27 out. 2023.

DIAS, A. J. G. et al. **Gradiente geotérmico**. *Revista Ciência Elementar*, v. 2, n. 3, p. 209, 2014.

EDITORIAL, C. **Energias renováveis e novas tecnologias: sustentabilidade energética nos museus** - Ferreira, Francisco F. *Cadernos de Sociomuseologia*, v. 46, n. 2, p. 1-10, jul. 2014.

IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. **Área tecnológica: geotermia. Mapa tecnológico: calor y frío renovables**. 2012.

IEA. International Energy Agency. **Área tecnológica: energia. Energy Statistics Data Browser**. 2023.

IRENA; IGA. **Global geothermal market and technology assessment**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency; The Hague: International Geothermal Association, 2023. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2023/Feb/Global-geothermal-market-and-technology-assessment>. Acesso em: 21 out. 2024.

IRENA. **REthinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, (2017). Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2017/Jan/REthinking-Energy-2017-Accelerating-the-global-energy-transformation>. Acesso em: 21 out. 2024.

JIANCHAO, H.; MENGCHAO, C.; LIU, P. **Development and utilization of geothermal energy in China: current practices and future strategies**. *Renewable Energies*, v. 125, p. 401-412, set. 2018. DOI: 10.1016/j.renene.2018.02.115..

LUND, J. W.; TOTH, A. N. **Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review**. *Geothermics*, v. 90, p. 101915, fev. 2021. DOI: 10.1016/j.geothermics.2020.101915.

MAPFRE. **Geotermia, la energía bajo nuestros pies**. Madrid: Gerência de Riesgos y seguros, v. 1, n. 1, p. 1-5, 2021.

MORAIS, T. O Frescor do Subsolo. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, v. 311, p. 73-75, 2022. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2021/12/073-075_geotermica_311.pdf. Acesso em: 20 nov. 2024.

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.

NIESSINK, R. J. M. **Ground-source heat pump (GSHP) households**. Energy.nl, (2019). Disponível em: <https://energy.nl/data/ground-source-heat-pump-gshp-households/>. Acesso em: 15 nov. 2023.

RIO, J. P. T. E. **Geotermia e implicações nas tecnologias da construção: estudo de casos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

SELF, S. J. et al. **Geothermal heat pump systems: status review and comparison with other heating options**. Applied Energy, n. 101, p. 341-348, (2013).

SGB. Serviço Geológico do Brasil **Estrutura Interna da Terra**. 2015. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/estrutura-interna-da-terra>. Acesso em: 20 nov. 2024.

TULLIO, F. B. M. (Org.). **Engenharia de Construção Civil e Urbana**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, (2019).

US DoE. **GeoVision: Harnessing the heat beneath our feet**. (2019). Disponível em: www.energy.gov/eere/geothermal/downloads/geovision-harnessing-heat-beneath-our-feet. Acesso em: 07 nov. 2023.

VIEIRA, F. P., GUIMARÃES, S. N. P. e HAMZA, V. M. **Updated assessment of geothermal resources in Brazil**. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Austrália, p. 12, (2015).