

Monitoramento da temperatura do subsolo de Fátima do Sul - MS para o emprego de Sistema Geotérmico na climatização de edificações.

Monitoring of the temperature of the underground of Fatima do Sul - MS for the use of Geothermal System in the air conditioning of buildings.

Mylena Barbosa de Medeiros¹; Agleison Ramos Omido².
mylenabarbosam@gmail.com¹; agleisonomido@ufgd.edu.br².

RESUMO - A geração da maior parte da energia elétrica consumida no Brasil é proveniente do setor hidrelétrico, que apesar de ser uma fonte de energia sustentável tem uma forte dependência do regime de chuvas e isso vem causando alguns problemas nessa geração, pois o país vem enfrentando períodos com grandes estiagens. A energia geotérmica, que é a energia que provém do calor no subsolo, surge como uma alternativa para reduzir o consumo de energia elétrica nas edificações podendo ser utilizada nas residências como uma alternativa de climatização, reduzindo a utilização de ar condicionado e aquecedores. Esse trabalho apresenta um estudo para analisar o potencial geotérmico do subsolo de Fátima do Sul - MS. Neste estudo, executou-se o monitoramento da temperatura do subsolo nas profundidades de 1,5m, 3,0m, 4,5m, 6,0m além de temperatura ambiente. Resultados iniciais corroboram o encontrado na literatura, apontando a Energia Geotérmica como fonte renovável promissora para ser utilizada na climatização de ambientes.

Palavras-chave: Geotermia. Fonte de energia renovável. Eficiência energética.

ABSTRACT - The most part of generation of electricity consumed in Brazil comes from the hydroelectric sector, that despite being a sustainable energy source has a strong dependence on the rainy season and this has caused some problems in this generation, because the country has been experiencing periods with large droughts. The Geothermal Energy, the energy that comes from the underground heat, appears as an alternative to reduce the consumption of electric energy in the buildings and can be used in the residences as an alternative of climatization, reducing the use of air conditioning and heaters. This work presents a study to analyze the geothermal potential of the Fátima do Sul – MS. In this study, was performed the monitoring of the subsoil temperature in the depths of 1.5m, 3.0m, 4.5m, 6.0m in addition to ambient temperature. The initial results confirm the literary research, pointing to Geothermal Energy as a promising renewable source to be used in climate of the ambiance.

KEYWORDS: Geothermal. Renewable Energy Source. Energy Efficiency.

1 INTRODUÇÃO

Desde sua descoberta a eletricidade é associada com o desenvolvimento humano e tecnológico. O consumo de energia elétrica no Brasil chegou a 460 GW em 2016, acusando um aumento de 23% em um período de dez anos e, nesse mesmo período, também aconteceu uma alta na tarifa média brasileira, aponta a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017).

Diversificar a matriz energética brasileira é uma preocupação que aumenta a cada dia já que o país apresenta uma grande dependência do setor hidrelétrico para a geração de energia (MOTA, 2016).

Com o aumento das temperaturas e a crescente utilização de aparelhos para climatização de edifícios, o consumo de energia tem aumentado nas residências, logo, é necessário desenvolver alternativas para climatização que reduzam o consumo da energia elétrica desses aparelhos (OMIDO *et al.*, 2017).

Uma fonte de energia renovável ainda pouco explorada no Brasil é a energia geotérmica, que é proveniente do calor no interior da terra e que pode ser empregada em sistemas de geração de eletricidade substituindo as fontes não renováveis na produção de energia. A geotermia também é

utilizada na climatização de ambientes através de troca de calor entre o solo e o ambiente a ser climatizado.

A energia geotérmica é dividida em categorias de acordo com sua temperatura e com a profundidade que são encontradas, as categorias diferem de acordo com o autor, mas em geral as variações são pequenas (OMIDO *et al.*, 2017).

As categorias são:

- Alta entalpia (temperaturas superiores a 180 °C);
- Média entalpia (temperaturas entre 90°C e 180 °C);
- Baixa entalpia (temperaturas entre 30 °C e 90 °C);
- Muito baixa entalpia (temperaturas abaixo de 30 °C).

Baseado nessa classificação a geotermia pode ainda ser dividida em Geotermia Profunda e Geotermia Superficial (MADUREIRA, 2013).

A temperatura no interior do solo é variável de acordo com a profundidade, e estudos comprovam que em uma determinada profundidade essa temperatura é constante e igual a média anual da temperatura no ambiente externo (VIEIRA, 2012).

A geotermia superficial é bastante acessível, pois com uma profundidade menor

é possível obter energia suficiente para ser utilizada na climatização de ambientes (TORRES, 2017). O emprego dessa energia é feito através de bombas de calor, que promove a troca de energia entre ambientes com temperaturas diferentes (SELF *et al.*, 2013).

Bombas de calor são máquinas que através de trabalho mecânico são capazes de captar e transferir calor de uma fonte fria para uma fonte quente e vice-versa, na geotermia as bombas de calor podem ser utilizadas para transferir calor entre edifícios e o solo (TORRES, 2017).

O transporte de energia do subsolo para a edificação é feito através da circulação de um fluido entre o solo e o ambiente, o fluido mais utilizado nas bombas de calor é a água, ou água com anticongelante, que realiza trocas entre o solo e o ar do edifício a ser climatizado.

O fluido circula por tubos que são colocados na profundidade necessária para realizar a troca, os sistemas geotérmicos são distinguidos pelo seu tipo de captação, sendo eles sistema aberto e sistema fechado (TEIXEIRA, 2011).

Sistema aberto é quando a troca de calor acontece entre um aquífero e o ambiente a ser climatizado, ou seja, a água do próprio aquífero é usada como o fluido que irá realizar a troca de calor, nesse caso a água é elevada diretamente para a bomba de calor.

Para utilizar o sistema aberto é preciso conhecer os parâmetros da água, que podem afetar o seu funcionamento, como os limites de ferro, magnésio e o PH. O aquífero precisa ter uma determinada profundidade para garantir uma menor amplitude térmica.

A captação de água no sistema aberto pode ser feita de duas maneiras, com dois poços, ou com apenas um poço. As figuras a seguir ilustram como é feita essa captação.

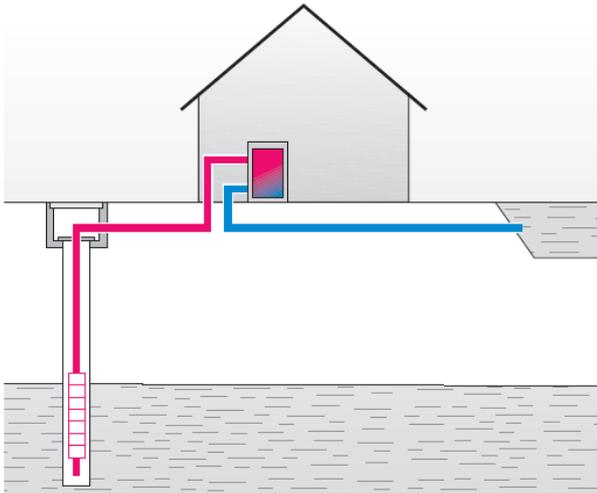
Figura 1. Sistema de captação com dois poços.



Fonte: Gud Energy, 2018.

Nesse tipo de captação são usados dois poços, um para a captação e outro para devolver a água para o aquífero, pois o sistema não polui a água que é utilizada para realizar as trocas de calor e ela pode ser consumida posteriormente, ou até mesmo ser reutilizada para realizar o processo novamente.

Figura 2. Sistema de captação com um poço.



Fonte: Caleffi Hydronic Solutions, 2009.

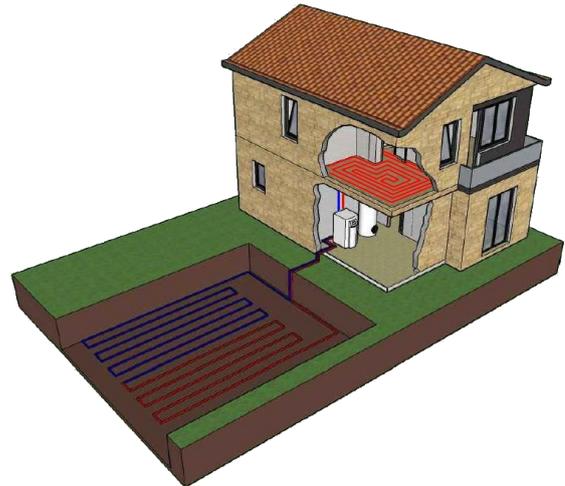
Para captação com um poço, a água não é devolvida ao aquífero diretamente, ela é escoada para galerias pluviais, rios, lagos, entre outros (TEIXEIRA, 2011).

No sistema fechado diferindo do aberto, o único recurso retirado do subsolo será o calor. A temperatura do subsolo será conduzida até a bomba de calor através de um sistema de tubos contendo um fluido em seu interior circulando entre o solo e o ambiente. Ao passar por profundidades do solo acontece a troca de calor e ao voltar a superfície essa temperatura é utilizada para climatizar ambiente.

Nesse sistema a captação pode ser feita de duas maneiras, captação horizontal e captação vertical.

Na captação horizontal, os tubos são colocados a aproximadamente um metro de profundidade e é mais econômico, no entanto é preciso de uma área grande para dispersar os tubos, como mostra a figura a seguir.

Figura 3. Sistema de captação horizontal.



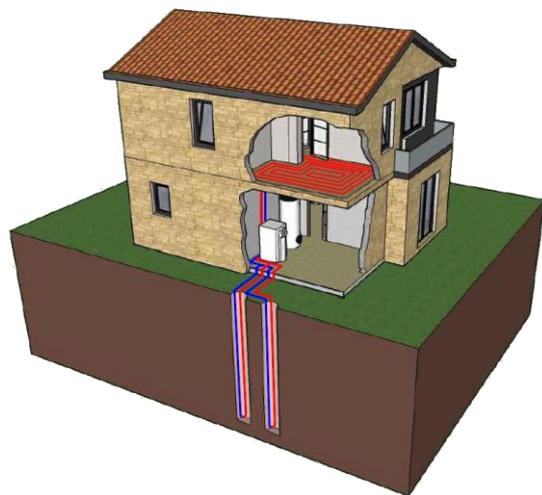
Fonte: RENOVGAL, 2018

O terreno onde a tubulação vai ser instalada deve ser o mais plano possível, e após a disposição dos tubos a área é novamente aterrada e deve se ter um cuidado especial com sombras onde estão as tubulações, pois é necessário que haja a incidência de raios solares no local.

A captação vertical necessita de uma área menor envolta do edifício. Esse tipo de captação é mais caro, pois o custo para fazer as perfurações é cerca de um terço do custo de implantação do sistema (MOTA, 2016). Uma vantagem desse tipo de captação é o uso de uma área menor ao redor do edifício e

existe uma alta estabilidade térmica quanto maior a profundidade (TEIXEIRA, 2011).

Figura 4. Sistema de captação vertical.



Fonte: RENOVGAL, 2018

Nesse caso a exposição ao sol não é necessária, pois a estabilidade térmica depende da profundidade onde a tubulação é instalada.

O sistema de climatização é controlado de maneira automática de acordo com a temperatura no interior da edificação. Por exemplo, no modo aquecimento, o controlador liga a bomba quando a temperatura na edificação for menor que a temperatura no subsolo e, no sistema de refrigeração, a bomba é acionada quando a temperatura ambiente estiver maior que a temperatura no interior do solo (TAVARES, 2011).

Com o uso da geotermia para climatização é possível garantir a um edifício conforto térmico tanto no verão, onde são

registradas temperaturas mais altas, quanto no inverno, onde são registradas temperaturas mais baixas.

De acordo com Santos (2014), em comparação com o ar condicionado, bombas de calor apresentam as seguintes vantagens:

- Maior eficiência;
- Ocupa menor espaço nas edificações;
- Menor ruído;
- Maior vida útil.

Uma grande vantagem de utilizar a bomba de calor para a climatização de ambientes é, aumentar a eficiência energética, que pode ser observada na redução do consumo de energia elétrica que pode chegar a 60% nas residências (TAVARES, 2011).

Neste contexto, esse artigo busca iniciar estudo para utilização da energia geotérmica em Fátima do Sul/MS com a finalidade de aumentar a eficiência energética, diminuindo o consumo de energia elétrica.

2 PROBLEMATIZAÇÃO

No Brasil, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017), mais de 70% da energia elétrica consumida é gerada por usinas hidrelétricas, visto que o país tem um grande potencial hídrico em seu território (REIS, 2011). No entanto, essa geração de energia tem uma dependência

fundamental com o regime de chuvas, e algumas regiões brasileiras sofrem um grande período de estiagem que pode provocar falta de energia, obrigando a utilização de outras fontes não renováveis para suprir a demanda de energia, causando prejuízo ao meio ambiente (BÜHLER *et al.*, 2015), logo é preciso desenvolver sistemas de produção de energia alternativos, a fim de reduzir o consumo de energia para preservar o sistema.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho é fazer um mapeamento das temperaturas do subsolo da cidade de Fátima do Sul - MS, para realizar um estudo inicial da viabilidade de implantação de um sistema de climatização através de bombas de calor geotérmicas.

3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um dispositivo com sensores para coletar e armazenar a temperatura do subsolo;
- Mapear a temperatura do subsolo de Fátima do Sul - MS no período de quatro meses;
- Análise dos dados para avaliação e divulgação do potencial de utilização da energia geotérmica em Fátima do Sul – MS

4 JUSTIFICATIVA

Em diversos lugares do mundo a energia geotérmica é muito utilizada para a climatização de ambientes como, por exemplo, a Espanha que se destaca por ter uma estação de metrô, a Pacífico do Metrô de Madri que utiliza a energia geotérmica para garantir a manutenção da temperatura do ambiente construído (FONSECA *et al.*, 2014). Ao coletar dados de temperatura do solo brasileiro será possível construir um banco de dados para realizar estudos da viabilidade e divulgação da utilização dessa energia, que é fundamental para reduzir o consumo de energia elétrica e contribuir para construções mais sustentáveis no Brasil.

Além disso, quando comparada com outras fontes de energia renováveis, a geotermia tem a vantagem de não ser afetada pelas condições climáticas (REIS, 2012), ou seja, independente da estação do ano ou do clima ela pode ser utilizada, pois a temperatura do subsolo a partir de uma determinada profundidade não apresenta grandes variações.

Ao desenvolver uma alternativa que diminua o consumo de energia elétrica nos edifícios, reduz-se também o tempo de operação das usinas hidrelétricas e contribuindo na redução da conta de energia dos edifícios.

5 METODOLOGIA

O instrumento utilizado para coleta de dados consistiu de uma plataforma de prototipagem eletrônica Arduino, que é uma placa projetada com um micro controlador com suporte de entrada e saída, e tem uma linguagem baseada em C/C++. O Arduino pode ser usado para o desenvolvimento de objetos interativos, como o sistema utilizado nesse trabalho, onde a placa recebe as leituras de temperatura do solo e transmite para um dispositivo de armazenamento, onde fica salvo e finalmente coletado em forma de texto.

Figura 5. Arduino Mega



Fonte: FilipeFlop, 2018.

Para a realização deste trabalho, foi utilizado Arduino Mega 2560 R3 com cabo USB. Para as leituras de temperatura foram utilizados sensores, sendo eles, um sensor de temperatura DHT22 AM2302 para coletar os dados de temperatura do ambiente e umidade do ar, e cinco sensores de temperatura DS18B20 (à prova d'água) para realizar as leituras de temperatura na superfície e no subsolo nas profundidades de 0,0 m, 1,5 m, 3,0 m, 4,5 m e 6,0 m.

Os sensores foram fixados em ponteiros construídas com tubo PVC e CAP 3/4", isolados com silicone e conectados a cabo UTP Cat 6 para ligação ao Arduino, como mostra a Figura 6.

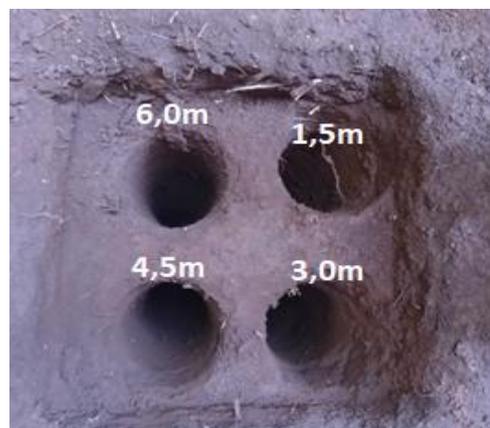
Figura 6. Sensores DS18B20.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Brocas manuais de diâmetro 20 cm escavaram o solo para a introdução dos sensores nas profundidades pré-determinadas. Após a instalação as perfurações foram reaterradas de forma que os sensores permanecessem fixos nos locais pré-determinados.

Figura 7. Perfurações onde os sensores DS18B20 foram fixados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os sensores DS18B20 após posicionados nas profundidades citadas são ligados à superfície pelos cabos UTP Cat 6 através de tubos PVC $\frac{3}{4}$ ", como apresentado na Figura 8.

Figura 8. Sensores DS18B20 fixados e aterrados.



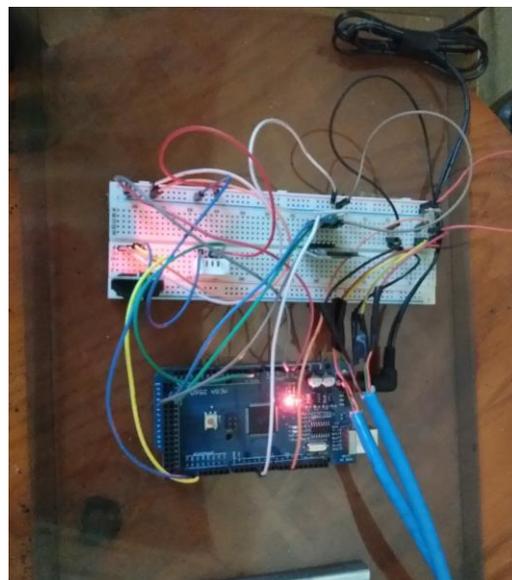
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados coletados foram armazenados em um cartão Micro SD instalado no módulo *SD card* ligado ao Arduino.

O sistema instalado realizou medidas de temperatura a cada vinte minutos e esses dados foram coletados durante quatro meses, sendo retirados os dados semanalmente. O projeto se estenderá, realizando medidas durante pelo menos um ano para acompanhar a variação da temperatura no subsolo durante todas as estações do ano, no entanto para esse trabalho, são apresentados resultados

parciais. Para trabalhos futuros, serão realizadas análises dos dados que ainda serão coletados.

Figura 9. Sistema de coleta e armazenamento de dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados foram plotados utilizando o software OriginPro 8 para posterior análise.

As temperaturas obtidas em Fátima do Sul, foram comparadas com os dados encontrados na literatura.

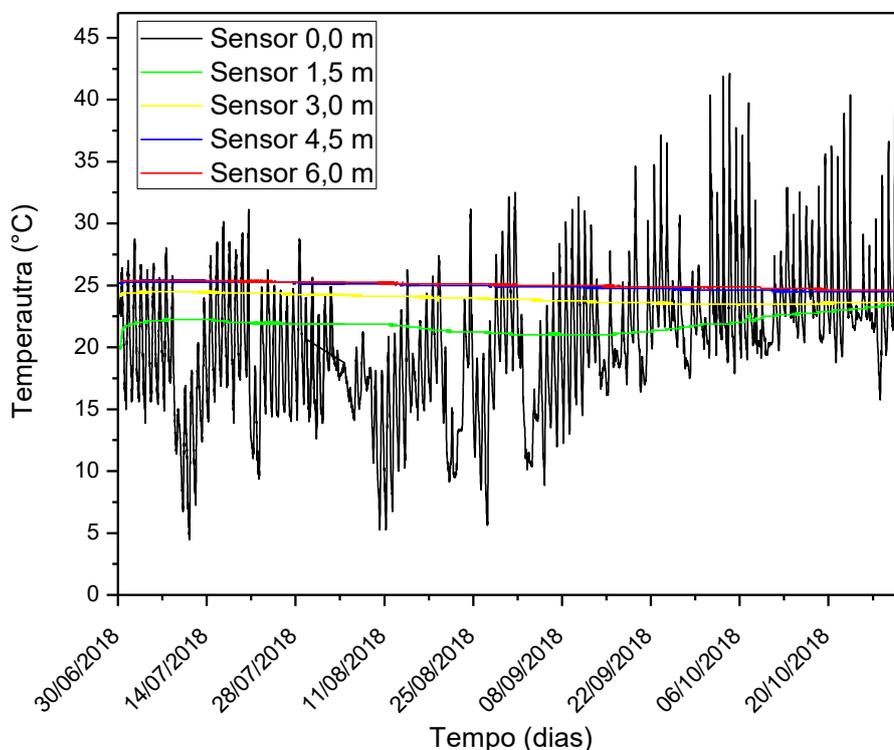
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os sensores instalados realizaram leituras durante quatro meses, e os dados retirados foram plotados em um gráfico, para que fosse possível fazer uma análise do comportamento da temperatura com o passar do tempo, de acordo com a profundidade no local analisado. Ao juntar os dados dos cinco sensores em um único arquivo, é possível observar como a variação da temperatura

diminui de acordo com o aumento da profundidade.

O gráfico a seguir, mostra as variações de temperaturas dos sensores instalados.

Gráfico 1. Variação de temperatura de acordo com a profundidade do solo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise do gráfico mostra uma variação na temperatura ambiente para o intervalo de tempo analisado, enquanto que

as variações apontadas pelos sensores instalados indicaram variações menores, mostradas no quadro abaixo.

Quadro 1. Variação de temperatura em °C de acordo com a profundidade.

Extremos de temperatura e variações (°C)					
	Sensor 0,0 m	Sensor 1,5 m	Sensor 3,0 m	Sensor 4,5 m	Sensor 6,0 m
T_{máxima}	42,13	23,38	24,5	25,38	25,38
T_{mínima}	4,5	19,88	23,38	24,5	24,63
ΔT	37,63	3,5	1,12	0,88	0,75

Fonte: Elaborado pelo autor.

O sensor de temperatura ambiente apresentou a temperatura máxima de 42,13 °C e temperatura mínima 4,5°C, indicando uma variação de 37,63 °C, como veremos essa variação vai diminuindo, à medida que aumenta a profundidade do sensor.

Para o sensor de 1,5 m foram observados os seguintes dados, temperatura máxima 23,38 °C, temperatura mínima 19,88 °C, sendo que a variação da temperatura nesse sensor foi de 3,5 °C, ou seja, mesmo próximo a superfície já é possível verificar uma amplitude térmica menor, comparando com a temperatura ambiente.

No sensor de 3,0 m foram detectadas, temperatura máxima 24,5 °C, temperatura mínima 23,38 °C. Percebe-se que nesse sensor a diferença entre as temperaturas extremas diminuiu para 1,12 °C.

O sensor de 4,5 m registrou uma temperatura máxima 25,38 °C, temperatura mínima 24,5 °C, a variação foi de apenas, 0,88 °C.

Para o sensor posicionado a 6,0 m de profundidade, a temperatura máxima obtida foi de 25,38 °C, que é igual a temperatura máxima encontrada no sensor de 4,5 m. A temperatura mínima obtida nesse sensor foi 24,63 °C, com uma variação anotada de apenas 0,75 °C. Tanto o sensor de 4.5 m, quanto o de 6 m se mostram bastante estáveis com uma variação de temperatura menor que

1 °C e apresentam uma média de 25,04 °C e 25,16 °C respectivamente.

A literatura aponta que a temperatura no subsolo, a partir de uma determinada profundidade é estável e muito próxima da média anual de temperatura ambiente local. A temperatura média em Fátima do Sul/MS, onde foi realizado o estudo, é por volta de 24,5 °C. Essa temperatura foi obtida através de uma série de dados que foram observados por cerca de trinta anos (CLIMATEMPO, 2018).

Os dados obtidos reforçam o encontrado na literatura, pois os sensores de 4,5 m e de 6,0 m mostram temperaturas médias próximas à média para a cidade de Fátima do Sul, há uma pequena diferença, que deve ser compensada a medida que mais dados forem coletados.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, o termo sustentabilidade está em evidência no setor da construção civil, principalmente no que diz respeito à eficiência energética, durante a construção e quando ela é finalizada, passando a ser habitada, especialmente pelo aumento no uso de condicionadores de ar. Diante disso, surgem técnicas que são alternativas para diminuir o consumo de energia elétrica nas edificações, sem afetar o conforto de seus habitantes.

O objetivo desse trabalho foi apresentar a geotermia como solução na

climatização de edifícios, para reduzir o tempo de operação dos sistemas convencionais de climatização nas residências.

Através do estudo feito foi possível analisar o comportamento da temperatura do solo de Fátima do Sul. Os dados obtidos nesses quatro meses de observação, apontam para um comportamento compatível com o descrito na literatura. O uso da geotermia superficial, de muito baixa entalpia, para climatização de ambientes tem se mostrado executável, contribuindo para um melhor conforto térmico e com a redução do consumo de eletricidade nas edificações. O sistema pode atuar nas edificações, reduzindo a dependência do ar condicionado e aquecedores para climatizar o ambiente.

No Brasil a geotermia ainda não é tão conhecida e explorada para climatização de edificações, como em outros países, por essa razão as pesquisas devem continuar a serem desenvolvidas como forma de divulgação e incentivo a utilização dessa forma de energia, pois como visto nesse trabalho existe um grande potencial de sua utilização na climatização de edificações.

A literatura aponta como maior empecilho para utilização dessa técnica o seu custo de implantação que certamente é elevado, devido a pequena difusão desse conhecimento. A popularização da técnica

certamente resultaria em uma redução desses custos.

8 AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, pela saúde e por toda força necessária para superar as dificuldades.

Agradeço aos meus pais Maria Helena e Juvenal, e ao meu irmão Murilo, que acompanharam de perto e com muita paciência toda a minha caminhada me proporcionando todo amor, carinho, apoio e segurança necessários para que eu chegasse até essa etapa.

Aos meus amigos que compartilharam comigo os momentos de alegrias e dificuldades no decorrer do curso. Em especial as minhas amigas Ana Beatriz e Thainá, que estiveram comigo desde o início, me aconselhando e consolando quando necessário.

Agradeço a todos os professores que contribuíram para minha formação, em especial ao meu orientador Professor Agleison pela disponibilidade, acompanhamento e orientação no desenvolvimento desse trabalho.

A todos aqueles que direta ou indiretamente tornaram a realização desse trabalho possível.

9 REFERÊNCIAS

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Boletim de Informações Gerenciais**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14854008/Boletim+de+Informa%C3%A7%C3%B5es+Gerenciais+-+4%C2%BA+trimestre+2017/44ee3035-27e5-0398-e7e3-c612ec4dc994>>
Acesso em: 15 de maio de 2018.

ARBOIT, N. K. S et al. **Potencialidades da Utilização da Energia Geotérmica no Brasil – uma Revisão de Literatura**. Revista do Departamento de Geografia – USP, 2013.

BÜHLER, A. J. et al. Energia Solar Fotovoltaica e o Setor Elétrico Brasileiro: Situação Atual e Perspectivas. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 16, 2015.

Caleffi Hydronic Solutions. **Hidráulica 28 – As bombas de calor**. Maia. 2009. Disponível em <https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/Hidr%C3%A1ulica_28.pdf>
Acesso em 03 de novembro de 2018.

CLIMATEMPO. **Climatologia de Fátima do Sul-MS**. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/1122/fatimadosul-ms>>
Acesso em 12 de julho de 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017**. Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: <<http://antigo.epe.gov.br//AnuarioEstatistico deEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>>. Acesso em: 15 de maio de 2018.

FILIPEFLOP Componentes Eletrônicos, 2018, Florianópolis-SC, **Placa MEGA 2560 R3 com Cabo USB para Arduino**. Disponível em <<http://www.filipeflop.com/produto/placa-mega-2560-r3-cabo-usb-para-arduino/>>. Acesso em 31 de outubro de 2018.

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.

GUD ENERGY: Energias Renováveis, **BOMBAS DE CALOR DE GEOTERMIA**. Disponível em: <<https://www.gudenergy.pt/bombas-calor-geotermia>>
Acesso em 03 de novembro de 2018.

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

MOTA, A. F. **Contributo da energia geotérmica no desempenho térmico de um edifício**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Aveiro.

OMIDO, A. R. et al., **Energia Geotérmica: Uma aliada na busca da eficiência Energética**. VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2017, Campo Grande, MS

REIS, L. B. D. et al., **Energia, recursos naturais e a pratica do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. rev. e atual. Editora Manole. Barueri, SP, 2012.

REIS, L. B. D. et al., **Geração de energia elétrica**. 2. ed. rev. e atual. Editora Manole. Barueri, SP, 2011.

RENOVGAL: Energías Renovables, **Geotermia: La energía de la Tierra**. Disponível em <<http://www.renovgal.es/geotermia>>. Acesso em 03 de novembro de 2018.

SANTOS, A. F. **Análise de temperaturas geotérmicas para aplicação de bombas de calor no Paraná**. 2014. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, PRODETEC, Instituto LACTEC, Curitiba, Paraná.

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

SOUZA FILHO, M. N. et al **Avaliação do potencial geotérmico da bacia sedimentar de Taubaté.** 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

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, 2011.

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.

VIEIRA, A.; MARANHA, J. R. **Estudo de modelação numérica do comportamento de estruturas de fundação termoactivas.** 2012.