

TERMOGRAFIA DE AQUECEDORES SOLARES COMPOSTOS POR MATERIAIS REUTILIZÁVEIS E CORRELAÇÃO ENTRE IRRADIÂNCIA E TEMPERATURA

LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO¹, RODOLFO FERRARI PUTTI², CAMILA PIRES CREMASCO³, BRUNO CÉSAR GÓES⁴, MARCELO GEORGE MUNGAI CHACUR⁵, FERNANDO FERRARI PUTTI⁶

¹ Professor Associado da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã-SP, gabriel.filho@unesp.br

² Graduando em Agronomia pela Universidade Estadual de Londrina (UEL), Departamento de Agronomia, Londrina-PR, rodolfo.putti@gmail.com

³ Professor Associado da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã-SP, camila.cremasco@unesp.br

⁴ Doutorando em Agronegócio e Desenvolvimento pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã-SP, bruno.goes@unesp.br

⁵ Professor Permanente voluntário do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande-MS, marcelo.chacur@uol.com.br

⁶ Professor Doutor da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã-SP, fernando.putti@unesp.br

RESUMO: Após a revolução industrial de 1760, houve grande demanda de energia elétrica para manutenção das máquinas e continuidade ao crescimento industrial. Devido ao aumento da demanda, novas fontes foram criadas visando suprir a exigência do mercado, entretanto muitas dessas fontes são consideradas altamente poluentes, degradando o meio ambiente. Recentemente, fontes de energia renováveis têm sido estudadas para o processo de geração de energia elétrica, visando a preservação do meio ambiente, suprimindo a demanda em virtude do crescimento econômico. Entre tantas estudadas, a fonte de energia solar é vista como grande potencial, sendo inesgotável e limpa, baseada na produção de energia por meio térmico. Assim, os aquecedores solares surgiram em substituição aos chuveiros elétricos, vilões do consumo de energia residencial. Entretanto, devido ao alto custo de aquisição, aquecedores alternativos têm sido construídos a partir de materiais reutilizáveis, obtendo a mesma eficiência térmica do aquecedor convencional, porém com valor de custo baixo, acessível a pessoas de baixa renda. Dessa forma, buscou avaliar a eficiência térmica do aquecedor de baixo custo em relação ao conforto térmico comparado ao aquecedor convencional, aferindo uma média de 10°C abaixo do aquecedor convencional, levando em consideração seu baixo valor de construção e instalação.

Palavras-chaves: Rendimento, irradiação solar, viabilidade econômica, sustentabilidade.

THERMOGRAPHY OF SOLAR HEATERS COMPOSED BY REUSABLE MATERIALS AND CORRELATION BETWEEN IRRADIANCE AND TEMPERATURE

ABSTRACT: After the industrial revolution of 1760, there was a great demand for electric energy to keep the machines in operation and to continue industrial growth. Due to the demand for electric energy, new sources of energy were created aiming to supply the market demand, however many of these sources are considered highly polluting, degrading the environment. Recently, renewable energy sources have been studied for the process of electric power generation, aiming at the preservation of the environment, supplying any demand due to economic growth. Among so many studied, Solar energy is great potential source, being inexhaustible and clean, in which the principle is based on the production of energy by means of thermal. Thus, solar heaters have appeared in substitution of electric showers, great villain of the residential energy consumption, however due to the high cost of acquisition, alternative heaters have been constructed from reusable materials, obtaining the same thermal efficiency of the conventional heater, but with low cost value, being accessible and to low-income people.

Keywords: Yield, solar irradiation, economic viability, sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A matriz energética mundial é constituída em sua maioria por fontes não renováveis, totalizando mais de 86%, já a energia proveniente de fontes renováveis responde por apenas 13,7% do total (EPE, 2016; BRASIL, 2017). No Brasil, há uma maior participação das energias renováveis na matriz energética (em torno de 43,6%) sendo ainda mais expressivo quando analisado em relação à composição da matriz elétrica, na qual as fontes renováveis são responsáveis por mais de 80,4%, sendo que 67,5% é proveniente de energia hidráulica, enquanto que o aproveitamento mundial das fontes renováveis para geração de energia elétrica é de apenas 22,8% (BRASIL, 2017).

Em razão da finitude das fontes não renováveis, em sua maioria combustíveis fósseis, pesquisas científicas são realizadas com o propósito de buscar soluções alternativas para a geração de energia preservando os recursos naturais do planeta. Aponta-se como destaque, a utilização da energia solar para a geração de eletricidade, no qual o setor fotovoltaico obteve um aumento mundial nas instalações em 40% entre os anos de 2010 e 2016 (GABRIEL FILHO et al., 2012; SERAPHIM et al., 2014; LIMA et al., 2018).

No Brasil, o setor residencial consome aproximadamente 28,8% da energia elétrica, ficando atrás apenas do setor industrial, o qual é responsável por 35,7% do consumo elétrico no país (EPE, 2017). Por sua vez, o chuveiro elétrico é o maior vilão do consumo de energia elétrica das residências, sendo responsável por cerca de 24% da energia elétrica utilizada, seguido dos refrigeradores e ar condicionados, com valores na ordem de 22% e 20% respectivamente (OLIVEIRA et al., 2015).

Dessa forma, o uso da energia solar é apontado como uma solução para redução do consumo de eletricidade das instalações residenciais, se aplicado aos sistemas de aquecimento de água.

O sistema de aquecimento da água pode ocorrer de duas formas, primeiro o termossifão, no qual a circulação da água dá-se por meio da diferença de densidades entre água fria e quente, em que o coletor se posiciona abaixo do tanque de armazenamento, garantindo a circulação da água após sofrer o processo de aquecimento por entre os tubos; já o outro sistema é o de circulação forçada, no qual há a presença de uma bomba forçando a circulação da água sem fazer-se necessária a instalação do coletor abaixo do tanque de armazenamento de água quente (ALTOÉ; OLIVEIRA FILHO; CARLO, 2012).

Nesse contexto, o mercado nacional de aquecimento solar atingiu um total de 11,24 milhões de m² de área acumulada no período entre 2001 e 2014, com pouco mais de 1 milhão de área acumulada em 2001, período em que houve aumento de novas áreas de instalação dos aquecedores solares de mais de 345 % entre 2003 e 2014, saindo de 323,7 mil m² de área produzidas em 2003 para 1,44 milhão de m² em 2014 (ABRAVA, 2015).

As instalações residenciais dos aquecedores solares representam mais de 70% da área total de instalação dos coletores, em substituição aos chuveiros elétricos. O crescimento da utilização dos aquecedores solares foi impulsionado pela implantação do Programa Social Minha Casa Minha Vida (PMCMV), tornando-se obrigatório a partir de 2011, sendo supervisionada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) (ABRAVA, 2010).

Após a ECO 92, uma equipe de pesquisadores elaborou um conjunto de aquecedores solares de caráter econômico, com valor de aquisição em cerca de 10% dos aquecedores convencionais, com uso da bricolagem (FIGUEIREDO et al., 2018; WOELZ, 2002).

Siqueira (2009) calculou o desempenho do aquecedor solar de baixo custo (ASBC), do ponto de vista econômico, apresentando uma economia de R\$ 388,00 por ano para uma família de 4 pessoas (SILVA;

SOUZA, 1997; OLIVEIRA, 2008; SANTOS, 2015).

Devido a eficiência térmica proporcionada pelos coletores solares, além do baixo custo de aquisição e a facilidade de montagem dos ASBC, surgiram como maneira de complementação do processo de reciclagem de materiais, fazendo uso de caixas de leite tipo tetra Pak, garrafas Pet e tubos de PVC, no qual a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, construiu um protótipo visando calcular a eficiência térmica do sistema (SOUZA; GOMES, 2002; CRISTOFARI et al., 2002).

Para a construção do aquecedor solar de baixo custo utilizado na pesquisa, foram considerados os procedimentos descritos nos manuais da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná

O objetivo do presente trabalho foi verificar a interferência da radiação solar no aquecimento de água, assim como verificar a distribuição da temperatura da caixa água no reservatório por meio de termografia de infravermelho.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição do Sistema de Aquecimento de Baixo Custo

(SEMA, 2010), com adaptações para a região da cidade de Tupã, local da Faculdade de Ciências e Engenharia, FCE/UNESP, Campus de Tupã, onde instalou-se um sistema (Figura 1).

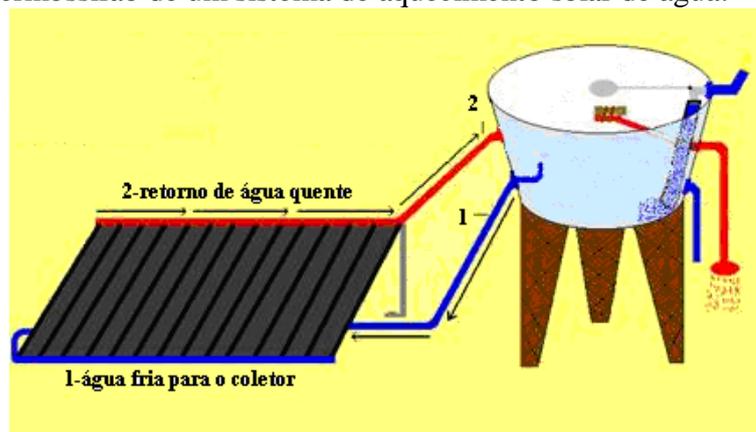
Figura 1. Aquecedor solar de baixo custo instalado na Faculdade de Ciências e Engenharia, FCE/UNESP, Campus de Tupã.



Fonte: Gabriel Filho et al. (2017).

O sistema de termossifão é o que melhor se adapta a esse tipo de projeto, pois trata-se de um sistema simples. Seu princípio de funcionamento baseia-se na diferença de

densidades entre a água fria e a água quente que, pela diferença de altura entre o reservatório e o coletor solar, garante a circulação da água pelo sistema.

Figura 2. Processo de termossifão de um sistema de aquecimento solar de água.

Fonte: Adaptado de SEMA (2010).

Para a estrutura do coletor solar foram utilizados tubos e conexões de PVC, garrafas PET e caixas de leite Tetra Pak - materiais

reutilizáveis com o mesmo propósito dos aquecedores convencionais, compostos de cobre ou alumínio.

Figura 3. Corte das garrafas PET e caixas de leite Tetra Pak.

Fonte: SEMA (2010).

Para a construção do aquecedor solar, foi considerada uma família de 4 pessoas, para a qual seria necessária uma caixa d'água de 500 litros além de uma torneira boia e um redutor de turbulência. Foram utilizados para a sua construção, fitas de auto fusão, canos de PVC, rolos de pintura, martelo de borracha, colas, lixas, estiletes, tábuas e ripas, arco de serra, além de conexões em L e um tampão em PVC.

2.2 Softwares e Equipamentos de Aferições de Temperatura

O aparelho utilizado para a aferição da temperatura do ambiente é o *Data Logger U12-012*, instalado na parte externa do laboratório, sendo necessária posteriormente a conexão com computador para a transferência dos dados por meio do *software HOBOWare Pro* (Onset Computer Corporation). Para a análise termográfica (termogramas) foi

utilizado o programa computacional *Flir Tools 2.1*®, determinando a temperatura em regiões distintas do sistema.

2.3 Métodos

Os métodos utilizados para este trabalho foram os mesmos realizados por Gabriel Filho et al. (2017), ao comparar temperatura dos aquecedores solares instalados na cidade de Uberlândia e na FCE/UNESP de Tupã, além da aferição da temperatura ambiente local.

Conforme Gabriel Filho et al. (2017), as análises dos dados de temperatura, do ambiente e da água, foram realizadas no período de 03/05/2013 a 02/06/2013, sendo utilizado o *Data Logger U12-012* para aferição da temperatura do ambiente local, já por sua vez, para aferição da temperatura da água em circulação pelo aquecedor solar de baixo custo, utilizou-se o *Logger UA-002-64*. Os aparelhos

foram programados de maneira sincronizada para captar os dados de temperaturas em intervalos iguais de 5 minutos, possibilitando no maior armazenamento de informações.

Os dados foram coletados na cidade de Uberlândia (Aw – Clima Tropical) na Universidade Federal de Uberlândia e na cidade de Tupã (Cfa – Clima Subtropical úmido), na Faculdade de Ciências e Engenharia da UNESP, ambas aferições foram realizadas nos horários pré-determinados às 9h e às 16h (KÖPPEN; GEIGER, 1928).

Vale ressaltar que as informações de temperatura referente ao sistema de aquecimento convencional da cidade de Uberlândia, foram extraídas do trabalho realizado por Oliveira (2009), sendo necessária a utilização do *GraphData*, para fins de manuseio e extração de dados contido no gráfico.

2.4 Método de Análise dos Dados dos Aquecedores Solares de Baixo Custo e Convencional

De acordo com o experimento já realizado por Gabriel Filho et al. (2017), fez-se o cálculo para determinar a diferença entre a temperatura do ambiente e a do sistema, tanto do sistema convencional como do de baixo custo, conforme descrito abaixo.

$$D_{tsg} = T_{amb} - T_{sist} \quad (1)$$

$$D_{tsc} = T_{amb} - T_{sist} \quad (2)$$

Em que, D_{tsc} é a diferença de temperatura do sistema convencional; D_{tsg} é a Diferença de temperatura do sistema

alternativo; T_{amb} é a temperatura ambiente; T_{sist} é a Temperatura do sistema.

Após a finalização dos processos de determinação da diferença de temperatura da água dos dois sistemas, realizou-se a análise de regressão a partir de um modelo estatístico com a finalidade de obter a temperatura da água do sistema de aquecimento, tendo como base apenas o conhecimento da temperatura do ambiente, sendo a estimativa de temperatura baseada na análise estatística.

Por meio das equações (1) e (2), foi possível estimar a equação de variação de temperatura entre os aquecedores.

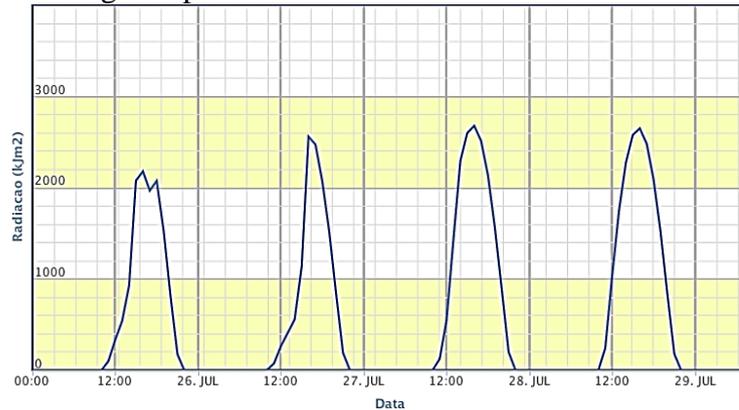
$$\Delta T = D_{tsc} - D_{tsg} \quad (3)$$

Sendo que ΔT é variação de temperatura entre os aquecedores; D_{tsc} é a Diferença de temperatura do sistema convencional e D_{tsg} é a Diferença de temperatura do sistema alternativo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise das Variáveis da Radiação Solar

Ao longo do dia, com o aumento da radiação solar, obtivemos como resposta o aumento da temperatura da água do aquecedor. Esse aumento de temperatura da água ocorreu devido ao movimento de translação que a terra desenvolve em torno do sol, fazendo com que ocorra uma prolongação do tempo de exposição solar, consequentemente uma maior taxa de radiação solar é captada pelo coletor solar. Esse aumento da exposição ao sol, aumenta a captação de radiação a cada dia, isto fica claro ao observar o gráfico abaixo e visualizar os resultados obtidos.

Figura 5. Radiação solar ao longo do período de coleta.

Fonte: INMET (2015).

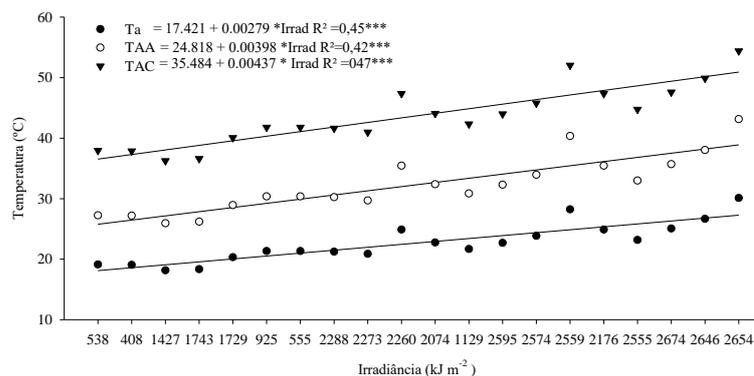
Observa-se que há uma maior incidência da captação da radiação solar no intervalo entre 14 e 15 horas, ou seja, de 2 a 3 horas após a incidência do pico de energia radiante, fato que ocorre às 12 horas. O sol, nesse momento, encontra-se no ponto mais alto, fazendo com que sua radiação incida de forma perpendicular à terra (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

3.2 Relação entre a Radiação e a Temperatura dos Aquecedores Solares

A radiação solar é composta de ondas eletromagnéticas emitidas pelo sol e que

desempenham um papel fundamental no funcionamento de todo o sistema. O aquecedor solar convencional tem uma maior capacidade de transformar essas ondas em calor, por meio de suas placas solares. Quanto maior a taxa de radiação captada, maior será a produção de calor. O aquecedor solar de baixo custo mostrou-se eficiente quando comparado ao aquecedor solar convencional, mesmo fazendo uso de materiais recicláveis, já que seu custo-benefício é mais viável. Observa-se na Figura 6 a comparação entre as temperaturas da água do sistema convencional e do de baixo custo, em relação à temperatura do ambiente.

Figura 6. Temperatura da água dos aquecedores solar de baixo custo, convencional e do ambiente em função da irradiância. Ta: Temperatura do Ambiente; TAC: Temperatura do aquecedor convencional; TAA: Temperatura do aquecedor de baixo custo.



Conforme pode ser visto na Figura 6, o aquecedor alternativo mostra-se muito eficiente quando comparado com o aquecedor convencional em relação à elevação de temperatura por meio da incidência da radiação solar, com temperatura da água entre 26°C e 38°C, consideradas satisfatórias para

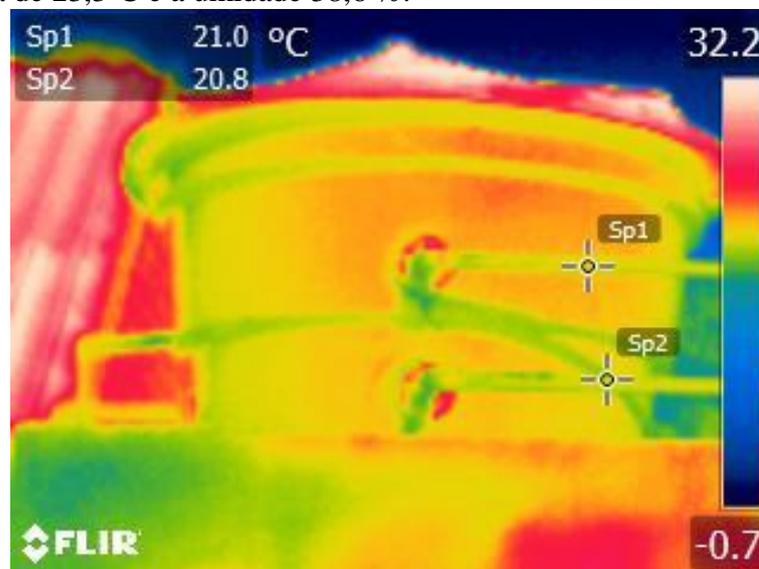
banho em relação ao conforto térmico. Conforme trabalho realizado por Gabriel Filho et al. (2017), a diferença média entre a temperatura ambiente e a do aquecedor alternativo foi de 9,16°C, já a diferença entre a temperatura ambiente e a do aquecedor convencional marcou média de 23,8°C.

3.3 Termografia do Sistema Solar Convencional

Utilizando-se de uma câmera termográfica, foram coletadas imagens (caixa d'água e sistema de captação) demonstrando assim o funcionamento do sistema de aquecimento solar de baixo custo durante três horários diferentes, ao decorrer do dia. Ao observar as imagens da caixa d'água, nota-se que há uma elevação da temperatura da água

que passa pelo cano e chega na caixa, uma vez que a água vem diretamente do sistema, no qual sofreu todo processo de absorção de calor, fazendo com que fique aquecida ao adentrar a caixa d'água. Nas imagens fotografadas do sistema, é possível ver a alteração da temperatura conforme a água circula pela tubulação. Como a água quente é menos densa que a água fria, ela concentra-se na parte de cima da caixa d'água, por este motivo, na parte superior encontra-se a maior taxa de calor.

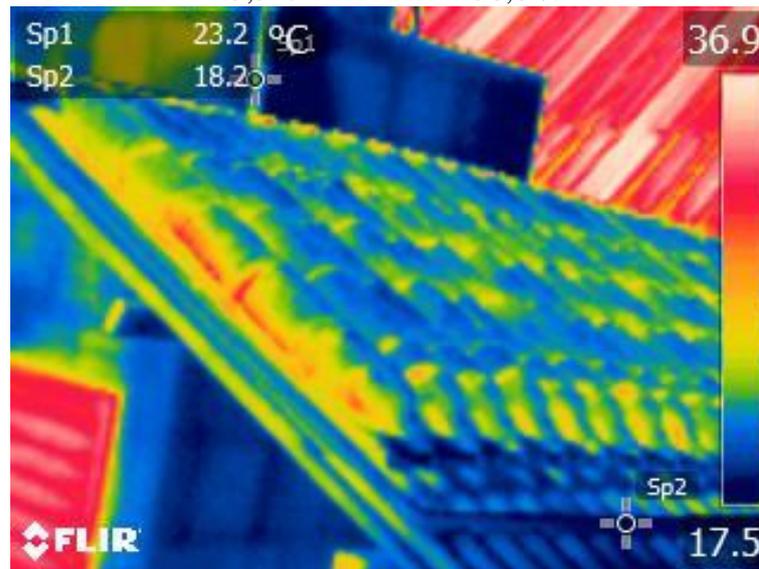
Figura 7. Imagem termográfica da caixa d'água realizada às 9 horas, horário em que a temperatura ambiente era de 23,3°C e a umidade 38,6 %.



Na Figura 7, verificam-se dois pontos distintos de medições de temperatura pela câmera termográfica, Sp1 e Sp2; em que Sp1 representa o cano de saída da água após passagem pelo coletor solar sofrendo o processo de aquecimento pela radiação solar e

Sp2 é o cano de saída da água para o coletor solar. Observa-se uma baixa temperatura em relação ao ponto Sp1, devido ao horário em que foi realizada a fotografia; no período da manhã, às 9 horas.

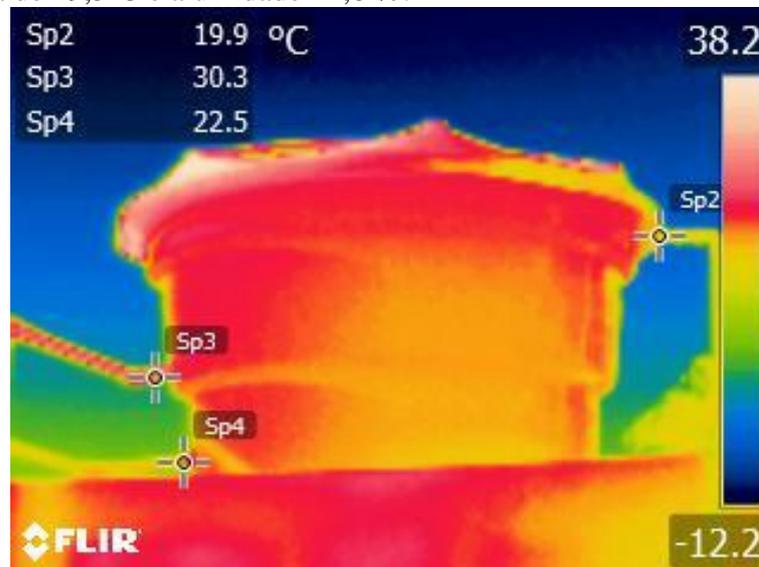
Figura 8. Imagem termográfica do aquecedor alternativo realizada às 9 horas, horário em que a temperatura ambiente era de 23,3°C e a umidade 38,6 %.



Na Figura 8, encontra-se o sistema de aquecedor alternativo fotografado no período da manhã, às 9 horas. É possível verificar uma baixa temperatura da água em circulação pela

tubulação do coletor solar, dado que pelo horário, não há incidência de radiação solar no sistema.

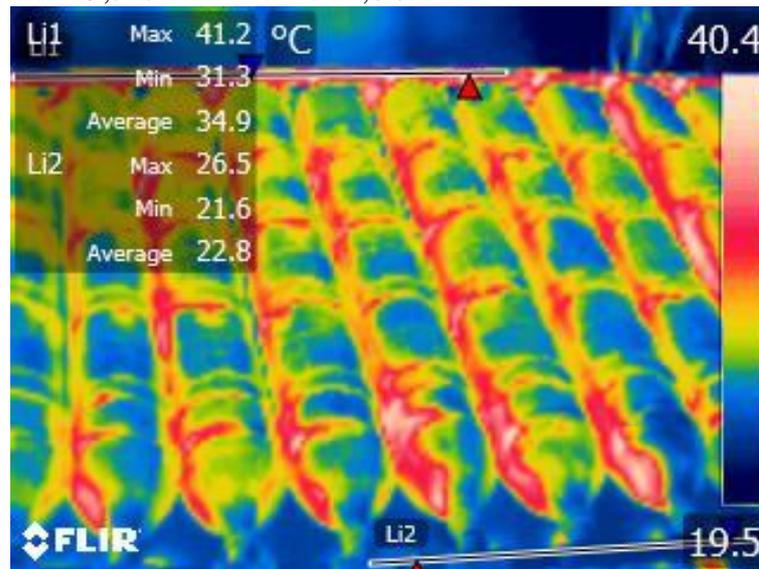
Figura 9. Imagem termográfica da caixa d'água realizada às 13 horas, horário em que a temperatura ambiente era de 29,5°C e a umidade 14,8 %.



Na Figura 9, já começa a elevação das temperaturas nos canos de entrada e de saída da água, sendo que no ponto Sp3, cano de entrada da água após passagem pelo coletor solar, constatou-se uma temperatura de 30,3°C;

já em relação ao ponto Sp4, cano de saída da água para o coletor, a temperatura encontrada foi de 22,5 °C. Vale ressaltar que a entrada da água da rua para a caixa (cano Sp2) foi de 19,9 °C.

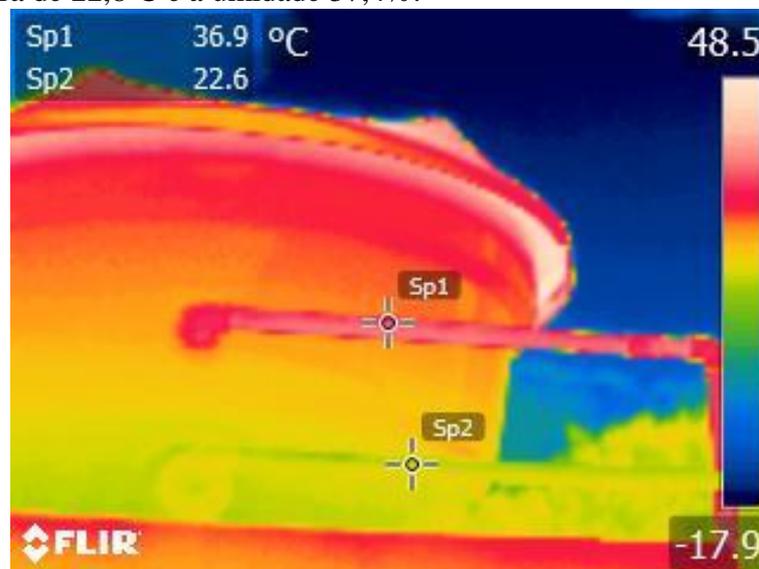
Figura 10. Imagem termográfica do aquecedor realizada às 13 horas, horário em que a temperatura ambiente era de 29,5°C e a umidade 14,8 %.



Observamos na Figura 10 (coletor solar) que a medição da média de temperatura do cano superior, pelo qual circula a água após sofrer o processo de aquecimento pelo sistema, foi de 34,9 °C; já em relação ao cano inferior, pelo qual a água mais densa (fria) sai em

direção ao sistema, a média aferida foi de 22,8 °C. Esse aumento de temperatura da água foi devido ao horário da realização da fotografia - às 13 horas - momento em que já houvera o processo de radiação solar.

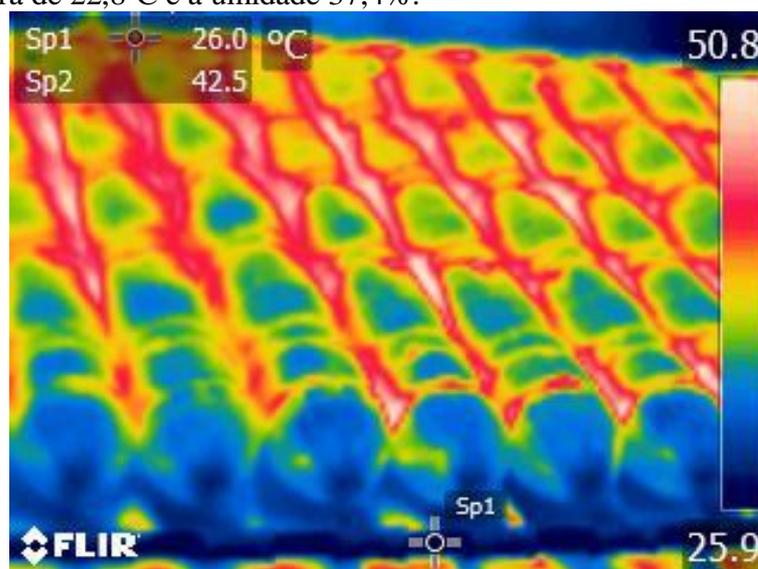
Figura 11. Imagem termográfica da caixa d'água realizada às 15 horas, horário em que a temperatura ambiente era de 22,8°C e a umidade 37,4%.



Por fim, as fotografias representadas pelas Figuras 11 e 12, foram onde constatar-se as maiores temperaturas, tanto da caixa d'água, quanto do coletor. Ambas fotografias realizadas às 15 horas, momento de pico da radiação solar, que acontece com atraso de 2 a

3 horas em relação ao pico de energia radiante, às 12 horas. Observa-se, na Figura 11 que Sp1, o cano de entrada da água aquecida, é de temperatura equivalente a 36,9°C, já no cano de saída para o sistema, a temperatura é de 22,6°C.

Figura 12. Imagem termográfica do aquecedor realizada às 15 horas, horário em que a temperatura ambiente era de 22,8°C e a umidade 37,4%.



Na Figura 12, nota-se na parte superior, Sp2, a temperatura de 42,5°C, enquanto que na parte inferior, onde circula a água após a saída da caixa por densidade, a temperatura constatada foi de 26,0°C.

4 CONCLUSÕES

Dessa forma, conforme os resultados apresentados durante a realização do estudo sobre a eficiência térmica do sistema de aquecimento convencional, constatou-se o alcance de elevadas temperaturas após o aquecimento da água sob o ponto de vista do conforto térmico para banhos, sem necessidade de energia elétrica.

Em relação ao aquecimento da água do aquecedor alternativo, as temperaturas foram consideradas satisfatórias ao conforto térmico, uma vez que a temperatura do sistema de aquecimento alternativo oscilou em média entre 26°C e 38°C, obtendo uma média de 10°C abaixo da temperatura aferida no aquecedor

convencional. Levando-se em consideração o baixo custo de instalação e construção do aquecedor alternativo, o projeto torna-se viável, atendendo às necessidades sem o uso de eletricidade para o processo de aquecimento da água.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Irrigação e Drenagem (FCA-Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP) e o Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento (FCE-Faculdade de Ciências e Engenharia da UNESP) pela contribuição científica disponibilizada.

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) na concessão da bolsa de produtividade em pesquisa concedida ao primeiro autor (Processo: 313570/2017-5) e ao último autor.

6 REFERÊNCIAS

ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Produção de Coletores Solares para Aquecimento de Água e Reservatórios Térmicos no Brasil:** ano de 2014. São Paulo: DASOL, 2015. Acesso em: 19 jun. 2018.

ALTOÉ, L.; OLIVEIRA FILHO, D.; CARLO, J. C. Análise energética de sistemas solares térmicos para diferentes demandas de água em uma residência unifamiliar. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 75-87, 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Energia no Mundo**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2017.

CRISTOFARI, C.; NOTTON, G.; POGGI, P.; LOUCHE, A. Modelling and performance of a copolymer solar water heating collector. **Solar Energy**, v. 72, n. 2, p. 99-112, 2002.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>.

FIGUEIREDO, G. B.; VALADÃO, G. F.; RESENDE, M. O.; SILVA, E. G. M.; SANTOS, D. A. Aquecedor de água utilizando energia solar com materiais reciclados e de baixo custo. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 2, n. 7, p. 2490-2496, 2018.

GABRIEL FILHO, L. R. A., SERAPHIM, O. J., CANEPPELE, F. L., CREMASCO, C. P., PUTTI, F. F. Analysis of Variables in Systems Hybrid Photovoltaic Wind in Rural Energization. **Revista IEEE América Latina**, v. 14, n. 12, p. 1-6, 2016.

GABRIEL FILHO, L. R. A., VERRI, J. A., PUTTI, F. F., CREMASCO, C. P., SILVA, A. O., SERAPHIM, O. J., HALMEMAN, M. C. R., CANEPPELE, F. L. Mathematical models of a required power design for irrigation with small-sized electric motors. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 9, n. 2, p. 99-108, 2015.

GABRIEL FILHO, L. R. A.; VIAIS NETO, D. S.; CREMASCO, C. P.; SERAPHIM, O.; CANEPPELE, F. L. Mathematical analysis of maximum power generated by photovoltaic systems and fitting curves for standard test conditions. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 4, p. 650-662, 2012.

GABRIEL FILHO, L. R. A.; SOUZA, L. S.; CREMASCO, C. P.; GOES, B. C.; CANEPPELE, F. L.; PUTTI, F. F. Avaliação do conforto térmico de aquecedores solares compostos por embalagens reaproveitáveis utilizando modelos de regressão polinomial. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 3, p. 273-281, 2017.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

LIMA, R. M. C.; MEDEIRO, R. A.; FONSECA, M. G.; DHERE, N. G.; SHINDE, O.; SCHNELLER, E.; PINHEIRO, W. A.; FERREIRA, C. L.; CRUZ, L. R. Caracterização de células solares de filmes finos de CIGS. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 22, 2018. Suplemento 1.

MESQUITA, M. **O Sistema de Aquecimento Solar e a Realidade Energética: Fatos e Oportunidades**. ABRAVA, 2010.

OLIVEIRA, A.; JORDÃO, R.; RESENDE, R.; CAPUTO, R.; SILVA, R. Projeto de residência com melhor aproveitamento energético. **O Setor Elétrico**, v. 1, n. 109, p. 70-81, 2015.

OLIVEIRA, L. F. C. Potencial de redução do consumo de energia elétrica pela utilização de aquecedores solares no estado de Goiás. **Energia na Agricultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 406-416, 2008.

OLIVEIRA, N. M. B. Aprimoramento de aquecedores solares de baixo custo. **Horizonte Científico**, Uberlândia, v. 6, n. 2, p. 1-24, 2009.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária Ltda, 2002.

SANTOS, R. C. O.; BARBOSA, G. L.; MACHADO, A. M. C.; CREMASCO, C. P. Automação residencial e utilização de fontes de energia limpa para diminuição do consumo nas redes elétricas. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 3, p. 151-165, 2015.

SEMA - Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Aquecedor Solar Construído com Materiais recicláveis**. Curitiba: SEMA, 2010. Disponível em: <http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/meioambiente/solar.pdf>. Acesso em: 13 set. 2016.

SERAPHIM, O. J.; SIQUEIRA, J. A. C.; PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; DALTIM, R. S. Energetic Exploitation from a Hybrid PV-wind Power Micro-generation, Rural Electrification. **Energy Procedia**, v. 57, n. 1, p. 1475-1484, 2014.

SILVA, A. S.; SOUZA, F. M. C. **Viabilidade econômica da energia solar**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 1997. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998_ART113.pdf. Acesso em: 13 set. 2016.

SIQUEIRA, D. A. **Estudo de desempenho do aquecedor solar de baixo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

SOUZA, L. G. M.; GOMES, U. U. **Viabilidade térmica, econômica e de materiais da utilização de tubos de PVC como elementos absorvedores em coletores de um sistema de aquecimento de água por energia solar**. 2002. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

WOELZ, A. T. Aquecedor solar de baixo custo (ASBC): uma alternativa custo-efetiva. *In*: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Proceedings** [...]. Cidade de Publicação: Editora, ano de publicação. p. inicial-final. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022002000100019&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 13 set. 2016.