

PROTÓTIPOS DE AQUECEDORES SOLARES ARTESANAIS DE BAIXO CUSTO PARA USO RURAL

Cristian Epifanio de Toledo (UEG) E-mail: cristian.toledo@ueg.br

Resumo: A energia solar é uma fonte renovável e abundante de energia, a qual pode ser explorada de diversas formas, como o aquecimento de água ou de energia direta. O objetivo desse trabalho foi produzir coletores solares de baixo custo e sustentáveis destinados ao aquecimento de água para o meio rural. Os protótipos foram produzidos com mangueiras de polietileno, sendo que T2 e T3 foram dispostos sob estruturas metálicas e o T1 sob lona plástica, além disso os T1 e T3 dispõem de uma cobertura para reduzir a perda de calor. Todos os protótipos foram expostos a radiação solar nos dias 09/03/2018 e 15/03/2018. Em ambos os dias, os protótipos T1, T2 e T3 apresentaram resultados significativos, já que obtiveram temperaturas máximas mesmo com nebulosidade 43,7; 41,2 e 44 °C, respectivamente, no dia 09/03, e 56,3; 51,5 e 53,6 °C, respectivamente, no dia 15/03. Outrossim, vale ressaltar que outros fatores ambientais colaboram para a manutenção da temperatura, como, a temperatura do ar e a radiação de ondas longas. De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que todos os protótipos podem ser utilizados para o aquecimento de água direcionado para a lavagem de equipamentos de ordenha e uso doméstico como, o banho.

Palavras-chave: Água aquecida, Coletores solares, Energia solar, Radiação solar.

PROTOTYPES OF ARTISTIC LOW-COST SOLAR HEATERS FOR RURAL USE

Abstract: Solar energy is a renewable and abundant source of energy, which can be exploited in various ways, such as heating water or direct energy. The objective of this work was to produce solar collectors of low cost and sustainable destined to the heating of water for the rural environment. The prototypes were produced with polyethylene hoses, where T2 and T3 were arranged under metal structures and T1 under plastic canvas, in addition T1 and T3 have a cover to reduce heat loss. All the prototypes were exposed to solar radiation on 09/03/2018 and 03/15/2018. In both days, the prototypes T1, T2 and T3 presented significant results, since they obtained maximum temperatures even with cloudiness 43,7; 41.2 and 44° C, respectively, on 03/09, and 56.3; 51.5 and 53.6 ° C, respectively, on 03/15. Also, it is worth noting that other environmental factors contribute to the maintenance of temperature, such as air temperature and long-wave radiation. According to the results obtained, it is concluded that all the prototypes can be used for the heating of water directed to the washing of equipment of milking and domestic use as, the bath.

Keywords: Heated water, Solar collectors, Solar energy, Solar radiation.

1. Introdução

A energia solar é a mais abundante forma de energia do planeta e pode ser explorada nas formas direta (energia térmica) e indireta (energia elétrica). Caso, 0,1% da radiação que atinge a superfície terrestre fosse convertida em energia elétrica, com 10% de eficiência, seria gerada 4 vezes a capacidade de produção mundial de energia instalada. Contudo, 80% da energia utilizada atualmente no mundo possui origem em fontes não renováveis (THIRUGNANASAMBANDAM; INIYAN; GOIC, 2010).

No Brasil, essa situação é diferente, 81,7% da oferta interna de eletricidade no país advém de fontes renováveis, sendo a principal a hidroelétrica (EPE, 2017). Todavia, apesar do Brasil ser um país tropical, onde a radiação solar global diária média anual é da ordem de 14 a 20 MJ/m² dia-1 (TIBA et al., 2000), a produção de energia solar direta ou indireta é insignificante quando comparado as outras fontes. Conforme o Ministério de Minas e Energia - MME (2017) o Brasil em 2016 possuía 81 MWp de energia solar fotovoltaica instalados, o que

representava cerca de 0,05% da capacidade instalada total no país.

No aproveitamento da energia solar direta, a qual, é convertida em energia térmica, é notória a tecnologia de aquecimento de água, por meio de coletor ou aquecedor solares, para diversas finalidades, destacando o aquecimento de água para banho. De acordo com a EPE (2017), no Brasil o setor residencial consome cerca de 25,6% do total de energia elétrica, sendo o chuveiro elétrico o maior consumidor desta energia, correspondendo a 28% da energia consumida no Centro-Oeste brasileiro (PROCEL, 2007).

Os aquecedores solares de água são equipamentos responsáveis pela captação da radiação solar e sua conversão em calor para o fluido, normalmente apresentam em sua estrutura uma cobertura transparente de plástico ou vidro, formando um aspecto de efeito estufa (SÁLES, 2008). Esses equipamentos aquecem a água mesmo em baixas temperaturas, podendo ser do tipo plano fechado ou aberto. Essa variável é definida de acordo com a temperatura pretendida, sendo os aquecedores solares fechados para temperaturas em torno de 60°C e os abertos para temperaturas ao redor de 30°C (VARELLA, 2004).

Aquecedores solares industriais são comercializados há algum tempo, existindo vários marcas, modelos e tamanhos no mercado. Contudo, são muitas vezes considerados de custo elevados, restringindo o seu acesso a milhares de famílias de baixa renda. Pesquisas têm sido realizadas na busca de aquecedores solares alternativos e/ou artesanais, utilizando materiais recicláveis, reduzindo o custo e mantendo uma boa eficiência energética. Tornando-se uma solução tecnológica social e ambiental mais sustentável (SIQUEIRA, 2009).

Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo, projetar e construir três aquecedores solares artesanais utilizando materiais de fácil acesso e baixo custo, bem como, avaliar sua capacidade de converter a radiação solar em energia térmica, com a finalidade de atender a demanda de água aquecida no meio rural.

2. Materiais e Métodos

O estudo foi efetuado na Universidade Estadual de Goiás, Campus Palmeiras de Goiás, onde foram projetados e construídos três protótipos de aquecedores solares de água artesanal (T1, T2 e T3 - Figura 1) com área de exposição de 1 m².

O aquecedor T1 foi constituído por mangueira plástica preta 3/4" de polietileno posicionada na vertical, em linhas paralelas, conectadas por intermédio de conectores plásticos, cobertas por garrafas pets transparentes (formando assim um "efeito estufa", visando reduzir a perda de calor no seu interior) e sobrepostas em lona plástica preta. O sistema foi montado sobre uma estrutura de madeira, ficando o aquecedor com uma inclinação de 45°. Desse modo, a água fria entra pela parte de baixo (mais densa) e sai quente (menos densa) pela parte de cima.

Os aquecedores T2 e T3, como no protótipo anterior, foi constituído por uma mangueira plástica preta 3/4" de polietileno, porém a distribuição da mesma, foi realizada formando uma espiral, não sendo colocadas as garrafas pets. Ambos aquecedores foram montados sobre uma estrutura metálica pintada de preto, ficando o aquecedor T2 exposto na posição horizontal e o T3 inclinado em 30°, tendo ambos a entrada da água fria no centro da espiral e saindo quente na extremidade final da espiral. Outra diferença entre os aquecedores, foi que no T3 colocou-se uma tampa de acrílico transparente de 0,5 cm.

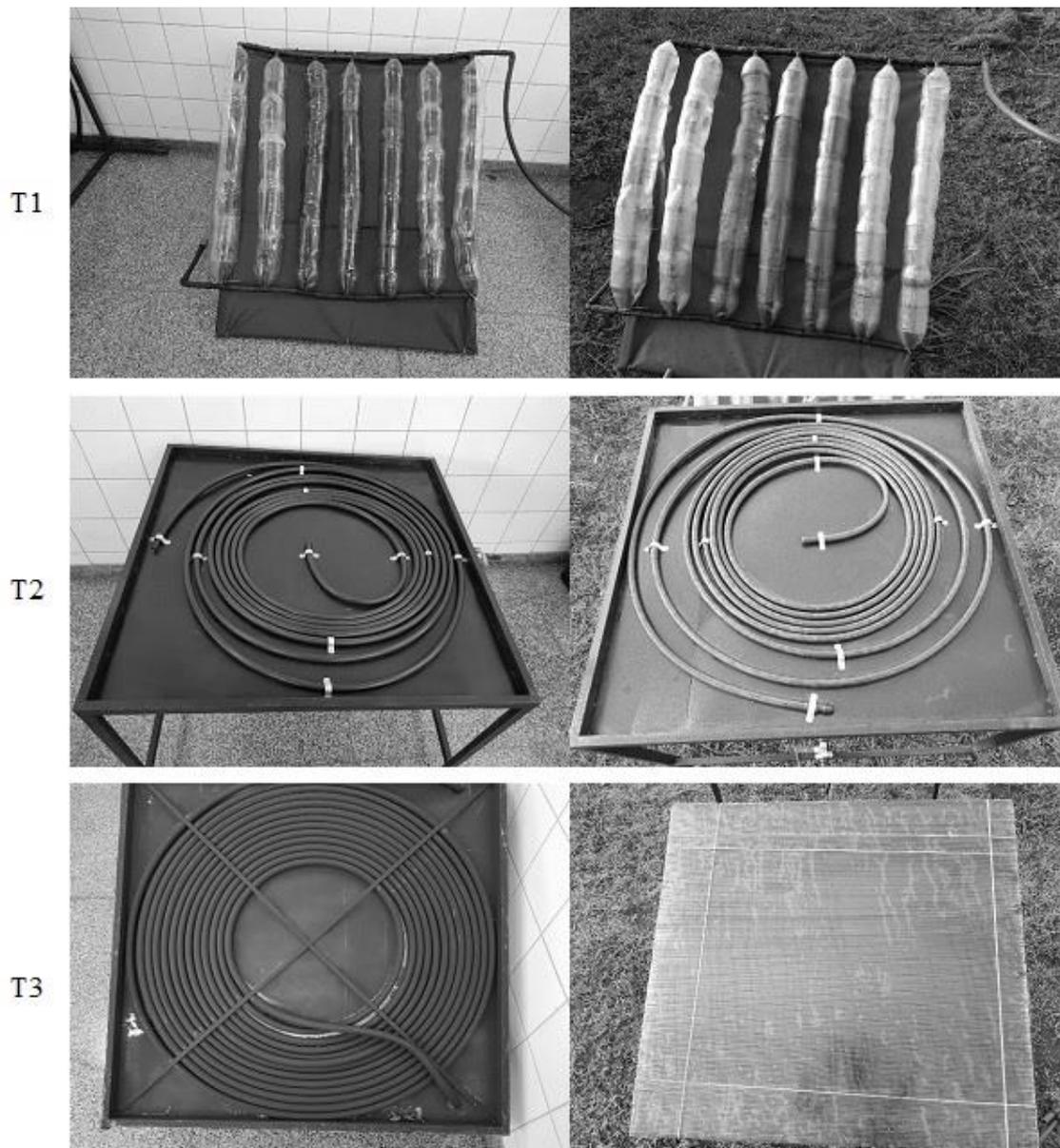


Figura 1 - Ilustração dos três projetos de aquecedores artesanais (T1, T2 e T3) construído para aproveitamento a radiação solar como energia térmica.

As dimensões dos aquecedores, bem como, o custo de montagem de cada um, foram conforme a tabela 1.

Tabela 1 - Características do dimensionamento e custo dos aquecedores.

Aquecedor	Dimensão do aquecedor (m)		Comprimento do coletor (mangueira) (m)	Volume armazenado (litros)	Custo do aquecedor (R\$)
	Comprimento	Largura			
T1	1	1	9	2,56	31,50
T2	1	1	18	5,12	58,00
T3	1	1	30	8,54	90,00

A avaliação da capacidade de cada aquecedor em transformar a radiação solar em energia térmica (água aquecida), foi iniciada colocando os aquecedores em uma área onde ao longo de todo o dia os mesmos pudessem receber a radiação solar direta. Foram escolhidos dois dias de

insolação distintas, os dias 09/03/2018 e 15/03/2018, que apresentaram uma radiação solar de 12,4 MJ/m² e 20,1 MJ/m², respectivamente. Em ambos os dias, a temperatura (°C) da água que saía dos aquecedores foram avaliadas a cada duas horas, a partir das 8:00 até 18:00, coletando um volume 500 ml de cada aquecedor em um béquer volumétrico e com o auxílio de um termômetro digital infravermelho foi aferida a temperatura.

Para verificar a possível relação da temperatura da água nos aquecedores há fatores externos, foi levantado no banco dados do Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás - SIMEHGO, os valores da temperatura do ar e da radiação solar monitorada na estação climatológica da Universidade Estadual de Goiás, Campus Palmeiras de Goiás. Estação essa instalada aproximadamente 100 m do experimento.

3. Resultado e Discussão

Os resultados demonstram que no primeiro dia de avaliação – 09/03, as temperaturas máximas em ambos protótipos ocorreram ao 12:00 e a mínima às 08:00 (Figura 2). As temperaturas nos tratamentos T1, T2 e T3 atingiram valores de 43,7; 41,2 e 44,0 °C, respectivamente, de máxima; 25,7; 25,3 e 26,1 °C, respectivamente, de mínima e 33,7, 32,6 e 33,6 °C, respectivamente, como média diária. Vale ressaltar, que no dia em questão ocorreu a entrada de uma massa de ar úmida, que restringiu a passagem da radiação solar, a partir das 13 horas. O que resultou em uma diminuição drástica da temperatura da água em todos protótipos, de aproximadamente 10 a 15 °C.

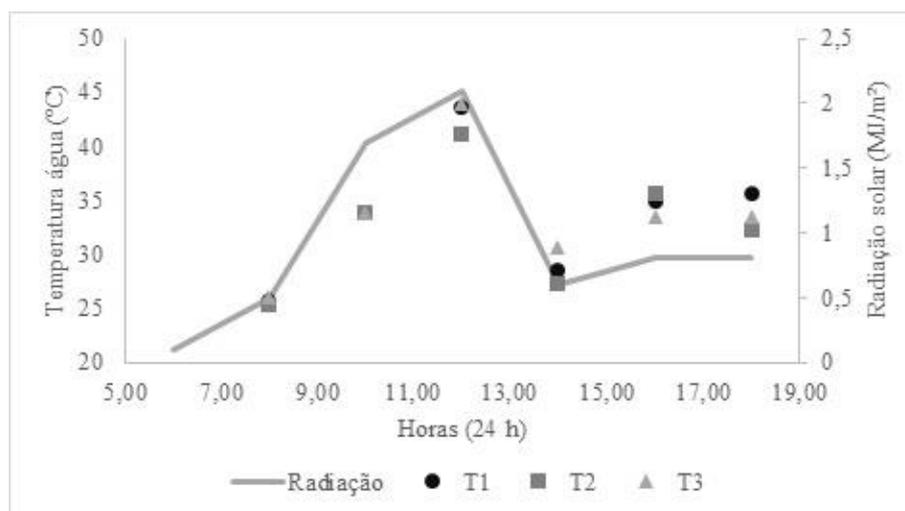


Figura 2 - Variação da temperatura da água (°C) nos protótipos, estabelecendo relação com a radiação solar no dia 09 de março de 2018, em Palmeiras de Goiás (GO).

Nota-se que durante o período de incidência solar direta, a temperatura da água dos protótipos se manteve igual ou inferior a radiação solar. Já no período de incidência solar indireta, devido à presença de nuvens, a temperatura da água demonstrou um comportamento diferente, ficando acima do valor da radiação. Esse fato é corroborado quando se analisa a temperatura do ar (Figura 3) que demonstra as mesmas tendências de temperatura das obtidas nos protótipos.

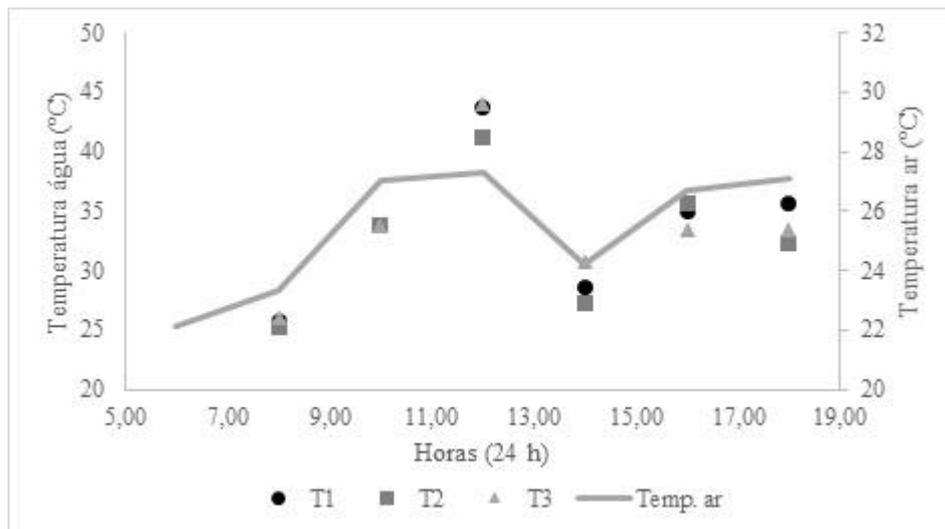


Figura 3 - Variação da temperatura da água (°C) nos protótipos, estabelecendo relação com a temperatura do ar (°C) no dia 09 de março de 2018, em Palmeiras de Goiás (GO).

No segundo dia de avaliação – 15/03, as temperaturas máximas dos protótipos foram às 14:00 e as mínimas às 08:00 (Figura 4). As temperaturas nos protótipos T1, T2 e T3 alcançaram de máxima 56,3; 51,5 e 53,6 °C, respectivamente; de mínima 25,5; 25,1 e 25,5 °C, respectivamente, e de média 42,7; 40,7 e 40,8 °C, respectivamente. No início da radiação solar a temperatura da água do protótipo não se diferenciou, já ao longo do dia o tratamento T1 destacou-se dos demais, sempre promovendo os maiores valores de temperatura, sugerindo uma maior eficiência na conversão de energia em calor.

Novamente, os resultados demonstram a mesma tendência do primeiro dia de avaliação, onde é perceptível, que a radiação solar atinge seu ponto máximo às 12:00, decrescendo posteriormente. Contudo, devido a ocorrência de efeito estufa nos protótipos T1 e T3, em razão da cobertura das mangueiras com garrafas pets e placa de acrílico, respectivamente, ocorreu a conservação do calor no seu interior, ou seja, diminuição da perda de calor da água. No T2 como o protótipo não possui sistema de cobertura, esse efeito não é verificado,

Nos dois dias de avaliação, após o 12:00 observa-se uma diminuição natural da radiação solar. Contudo, a temperatura da água nos aquecedores, bem como, a temperatura do ar (Figura 3 e 5) demonstram uma velocidade menor de redução dos seus respectivos valores em comparação a radiação solar. Vindo em alguns momentos após as 12:00, ambas temperaturas apresentarem um acréscimo nos seus valores. Atribui-se a essa tendência, de aumento e/ou menor velocidade de redução, a uma fonte secundária de energia, como exemplo a radiação de ondas longas emitidas da atmosfera e da superfície da terra (solo).

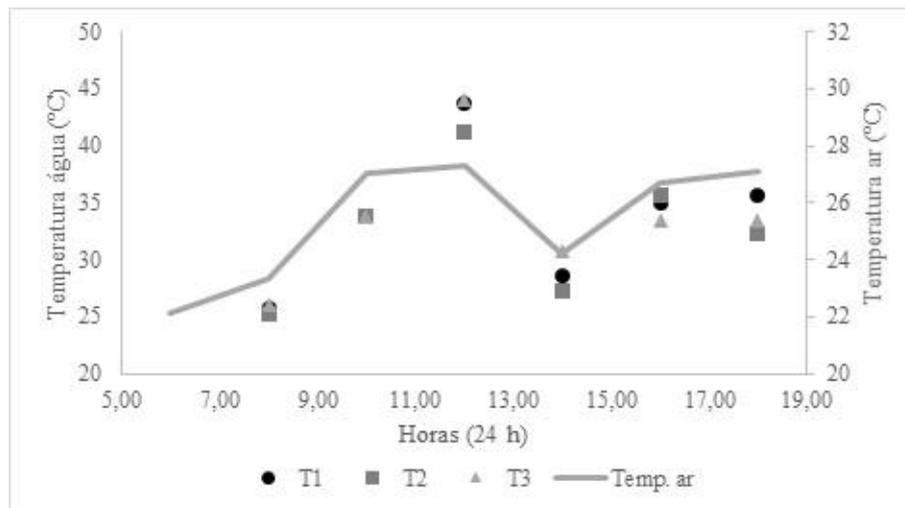


Figura 4 - Variação da temperatura da água (°C) nos protótipos, estabelecendo relação com a radiação solar no dia 15 de março de 2018, em Palmeiras de Goiás (GO).

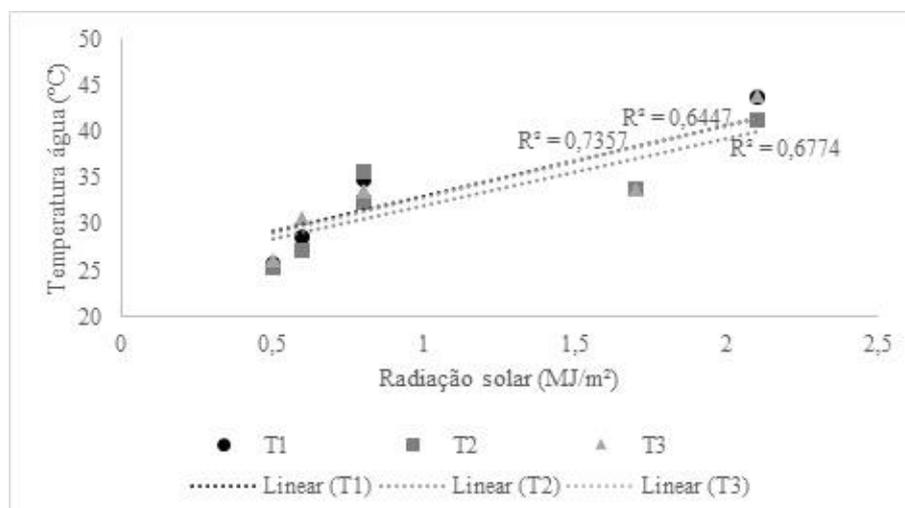


Figura 5 - Correlação linear entre radiação solar e temperatura da água obtida nos protótipos, no dia 09 de maio de 2018, em Palmeiras de Goiás (GO).

Bomventi, Wainer e Taschetto (2006) comentam que praticamente toda a energia que chega no sistema Terra provém da radiação solar, existindo um balanço quase perfeito em relação à radiação incidente (ondas curtas) e a radiação emitida pela terra para o espaço (radiação de onda longa).

Estudos como por exemplo, Alves et al. (2017) e Santos et al. (2018) mostram que durante o dia, o saldo de radiação em uma superfície qualquer tende a ser elevada e advir do fluxo da radiação incidente (sol e atmosférico) e uma frações da radiação refletida e emitida (superfície da Terra).

Por outro lado, fora das horas de brilho solar intenso, principalmente durante a noite, o saldo de radiação diminui devido o fluxo de radiação passar a ser apenas da atmosférico e superfície.

Essa teoria de uma fonte secundária de energia é reforçada quando se analisa a relação da radiação com a temperatura da água obtida nos protótipos (Figura 6). Observa-se que a radiação solar explica boa parte da temperatura da água, já que existe uma tendência linear alta ($R^2 = 0,7$) entre os dois parâmetros (DANCEY; REIDY, 2006).

Com base nos resultados alcançados em ambos os protótipos, a temperatura da água obtida pode ser recomendada para diversas atividades agrícolas, como por exemplo, na limpeza de ordenha mecânica e uso doméstico (banho). A limpeza de ordenhas mecânicas é realizada com a lavagem e enxágues de todo material com água na temperatura entre 35° a 45° C, possibilitando assim a retirada dos resíduos de leite, principalmente, a gordura (ZAFALON et al., 2008). No âmbito do uso doméstico, a água para banho, a temperatura ideal é de aproximadamente 40 °C (SIQUEIRA et al., 2013), temperatura essa obtida mesmo no final do dia nos protótipos, mesmo em dias de menor radiação solar.

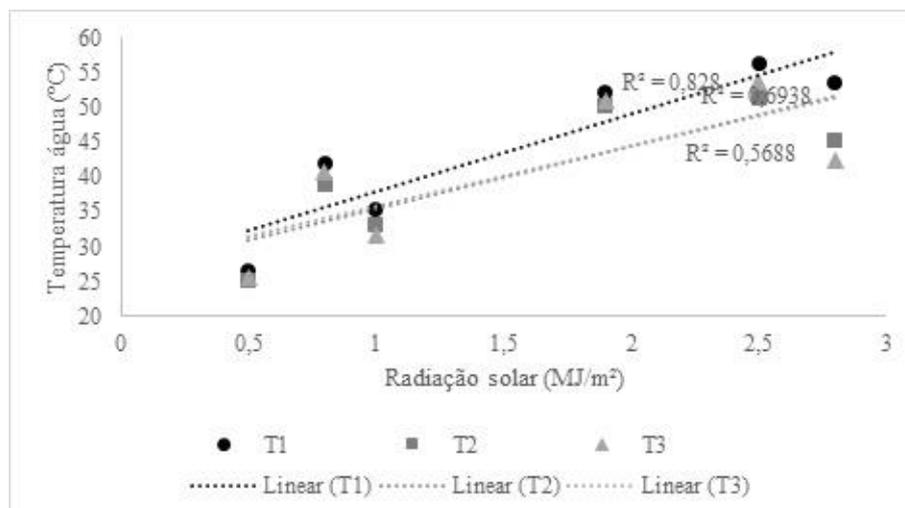


Figura 6. Correlação linear entre radiação solar e temperatura da água obtida nos protótipos, no dia 15 de maio de 2018, em Palmeiras de Goiás (GO).

De modo geral, comparando os resultados obtidos nesse trabalho com outros protótipos, como o descrito por Ruas et al. (2009) que utilizando tubo metálico preto fosco e envolto com uma cobertura transparente obtiveram valores de temperatura máxima de 50 °C, observa-se o grande potencial do empregando de materiais recicláveis e de baixo custo, para o aquecimento de água e/ou produção de energia, visando a redução de gasto energético em residências. Segundo Siqueira et al. (2013), é viável construir placas planas solares para aquecimento de água, com tubos de PVC (pretos) cobertos por garrafas (PET) e embalagens cartonadas (por baixo).

4. Conclusão

Conclui-se que, todos os protótipos possuem potencial para aquecer a água para utilização no meio rural, bem como, urbano, contudo os protótipos com algum tipo de cobertura promovem um efeito estufa, reduzindo a perda de calor dos modelos, e consequentemente, mantendo a temperatura da água mais elevada.

O aquecimento da água via radiação solar, advém da combinação da radiação incidente do sol e atmosfera e da radiação emitida pela superfície da Terra, sendo a radiação solar a principalmente fonte de energia, porém com menor influência no final do dia e durante dias nublados.

Referências

ALVES, L. E. R.; GOMES, H. B.; SANTOS, M. N.; FREITAS, I.G.F. *Balço de radiação através do satélite Landsat-8 na bacia do Rio Pajeú*. Revista do Departamento de Geografia, v.33, p. 117- 127, 2017.

BOMVENTI, T. N.; WAINER, I. E. K. C.; TASCHETTO, A. S. *Relação entre a radiação de onda longa,*

precipitação e temperatura da superfície do mar no oceano atlântico tropical. Revista Brasileira de Geofísica, São Paulo, v. 24, n. 4, 2006.

DANCEY, C.; REIDY, J. *Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows*. Porto Alegre: Artmed, 2006.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. *Balço Energético Nacional 2017: Ano base 2016*. Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2017.

MME - Ministério de Minas e Energia. *Boletim mensal de monitoramento do setor elétrico – dezembro de 2016*. Brasília: MME, 2017.

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. *Avaliação do mercado de eficiência energética no brasil*. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano base 2005. 2007.

RUAS, R. A. A.; MAGALHÃES, E. A.; LACERDA FILHO, A. F.; SILVA, J. S. *Análise energética de um protótipo de aquecedor solar de baixo custo*. Global Science and Technology, Rio Verde, v. 2, n. 2, p.01-07, 2009.

SÁLES, I. C. F. *Análise da substituição do chuveiro elétrico por aquecedor solar: uma contribuição ao setor elétrico na conservação de energia*. 2008. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

SANTOS, B. C.; PERUSSI, R.; PEREIRA, D. N. B.; SOUZA, P. H. *Agricultura sintrópica na bacia do ribeirão do Feijão: Uma proposição a partir dos balanços hídricos e energéticos da região*. Caderno de Geografia, v.28, n.53, p.443-466, 2018.

SIQUEIRA, D. A. *Estudo de desempenho do aquecedor solar de baixo custo*. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

SIQUEIRA, L. B.; TEIXEIRA, L. T.; RAMOS, S. S.; ROCHA, S. M. S. *Comparação entre aquecedores solares com ligações em serpentina e paralela*. In: X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica, Vassouras - Rio de Janeiro, v.10, 2013.

THIRUGNANASAMBANDAM, M.; INIYAN, S.; GOIC, R. *A Review of Solar Thermal Technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 14, n. 1, p. 312-322, 2010.

TIBA, C.; NAUM, F.; MOSZKOWICK, M.; CAVALCANT, E. S. C.; LYRA, F. J. M.; NOGUEIRA, A. M. B.; GROSSI GALLEGOS, H. *Mapas de Isolinhas de Radiação Solar*. In: TIBA, C. et al. Atlas Solarimétricos do Brasil: banco de dados solarimétricos. 2. ed. Recife: Universitária da UFPE, 2000. Cap. 3. p. 31-59.

VARELLA, F. K. O. M. *Tecnologia solar residencial: inserção de aquecedores solares de água no distrito de Barão Geraldo - Campinas*. 2004. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

ZAFALON, L. F.; POZZI, C. R.; CAMPOS, F. P.; ARCARO, J. R. P.; SARMENTO, P.; MATARAZZO, S. V. *Boas práticas de ordenha*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008.