



DOI: <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2016v31n3p273-281>

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DE AQUECEDORES SOLARES COMPOSTOS POR EMBALAGENS REAPROVEITÁVEIS UTILIZANDO MODELOS DE REGRESSÃO POLINOMIAL

Luís Roberto Almeida Gabriel Filho¹, Lucas Siqueira De Souza¹, Camila Pires Cremasco¹, Bruno César Góes¹, Fernando de Lima Caneppele² e Fernando Ferrari Putti³

RESUMO: O aproveitamento da energia solar é um tema abordado por diversos pesquisadores, sejam com aproveitamento em conversão elétrica desta energia, sejam eles com a utilização de aquecimento solar. Uma vez que esta última forma de conversão vem apresentando interessantes relações custo/benefício, diversas pesquisas foram realizadas visando provar tal fato, e também aprimorar tais aquecedores para ou terem uma maior eficiência, ou menores custos. No Brasil, um modelo de aquecedor solar compostos por embalagens reaproveitáveis, construído e patentado (sob domínio público) pelo aposentado José Alcino, da cidade de Tubarão-SC, e vencedor do prêmio Super Ecologia 2004 da revista Super Interessante, vem se destacando-se justamente pelo seu baixo custo e facilidade de construção. O objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação do conforto térmico destes aquecedores frente aos convencionais, utilizando modelos de regressão polinomial a partir de um método de comparação com aquecedor convencional instalado em diferentes locais. Para isto, foram realizadas aferições de temperatura do ambiente e da água aquecida pelo aquecedor alternativo, bem como obtido dados de um aquecedor convencional instalado em local diferente ao do primeiro aquecedor. Utilizando-se de métodos matemáticos para a utilização dos resultados térmicos do aquecedor convencional para o local de instalação do aquecedor alternativo, foi possível a realização da comparação térmica. O sistema de alternativo apresentou médias de temperatura com 10°C abaixo da água do sistema de aquecimento convencional.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar, modelos matemáticos, aquecimento de água.

EVALUATION OF THE THERMAL COMFORT OF SOLAR HEATERS COMPOSED BY REAPROVEITABLE PACKS USING POLYNOMIAL REGRESSION MODELS

ABSTRACT: The use of solar energy is an issue addressed by several researchers, whether they use electric conversion of this energy, whether using solar heating. Since this last form of conversion has presented interesting cost-benefit relationships, several researches have been carried out to prove this fact, and also to improve such heaters for or have a higher efficiency or lower costs. In Brazil, a model of solar heater made up of recyclable packaging, built and patented (under public domain) by the retired José Alcino, from Tubarão-SC, and winner of the 2004 Super Ecology Award of Super Interessante magazine, has been a highlight precisely because of its low cost and ease of construction. The objective of this work was to perform an evaluation of the thermal comfort of these heaters compared to conventional heaters using polynomial regression models from a comparison method with conventional heater installed in different locations. For this, measurements were made of ambient temperature and water heated by the alternative heater, as well as data obtained from a conventional heater installed in a different location than the first heater. Using mathematical methods to use the thermal results of the conventional heater for the location of the alternative heater, it was possible to perform the thermal comparison. The alternative system presented averages of temperature with 10 ° C below the water of the conventional heating system.

KEYWORDS: Solar energy, mathematical models, water heating.

¹ Faculdade de Ciências e Engenharia, UNESP - Univ Estadual Paulista, Tupã-SP, gabrielfilho@tupa.unesp.br, lucas_lss12@hotmail.com, camila@tupa.unesp.br, brunogoes2211@gmail.com

² Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, USP - Univ de São Paulo, Pirassununga-SP, caneppele@usp.br

³ Faculdade de Ciências e Engenharia, UNESP - Univ Estadual Paulista, Tupã-SP; UNIFENAS - Univ José do Rosário Vellano, Alfenas-MG, fernandoputti@tupa.unesp.br

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia solar é um tema abordado por diversos pesquisadores, sejam com aproveitamento em conversão elétrica desta energia (GABRIEL FILHO 2010, 2012), sejam eles com a utilização de aquecimento solar. Uma vez que esta última forma de conversão vem

apresentando interessantes relações custo/benefício, diversas pesquisas foram realizadas visando provar tal fato, e também aprimorar tais aquecedores para ou terem uma maior eficiência, ou menores custos.

Siqueira (2009), visando calcular a eficácia do desempenho de um aquecedor solar de baixo custo, determinou uma economia de R\$ 388,00 na renda de uma família média por ano (residência de estudo apresentava 4 adultos e 2 crianças), recuperando o valor financeiro do investimento em 9 nove meses de utilização do sistema.

Com a viabilidade econômica provada, pesquisadores passaram a dar uma maior atenção a este tipo de sistema e diversos modelos passaram a ser criados e estudados. Jurado (2004) realizou seu estudo embasado num modelo dinâmico que apresenta um balanço de energia entre a placa coletora e o reservatório térmico, Cristofari et al. (2002) realizaram um estudo sobre o desempenho térmico de um coletor de placa plana feito de copolímero, e Souza e Gomes (2002) realizaram estudos sobre a degradação sofrida pelo material PVC com a temperatura elevada da água.

Pachkawade, Nimkar e Chavhan (2013) desenvolveram um estudo para projetar um aquecedor solar de baixo custo que tenha capacidade de esquentar 400 litros de água a uma temperatura entre 60°C a 70°C. O estudo do design deste aquecedor que atenda a este requisito foi motivado em prol de ajuda a uma reserva de tigres chamada de Melghat que faz parte da Nature Conservation Society da cidade de Amravati (NCSA). A reserva estava carente de água quente para utilização nos banheiros, desta forma os autores realizaram seus estudos até chegar a um resultado final no qual o sistema de aquecimento de água de baixo custo fosse passivo, onde a circulação da água quente seria feita pela própria pressão da água ou pela gravidade.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2011), ao incluir no Censo a verificação do número de pessoas que possuem acesso à energia elétrica nas áreas rurais brasileiras foi notado que 10,3% das pessoas não tem acesso à energia elétrica, isso sem contar a Região Norte onde esse número aumenta para 38,5%.

Laredo (2014) apresenta em seu trabalho dados de que uma em cada três pessoas que moram no campo e não possuem acesso à energia elétrica nas áreas rurais brasileiras, sendo iminente as dificuldades sofridas por essas pessoas. O mesmo autor ressalta que uma atividade simples como um banho torna-se uma experiência desagradável já que só há água fria para higiene pessoal. Para solução desse problema, ele ainda apresenta o trabalho de um engenheiro florestal no qual desenvolveu um premiado sistema de aquecimento solar de baixo custo que foi inspirado em sistemas utilizados no Tennessee, Estados Unidos. O sistema possui uma fácil instalação e ainda um custo baixo girando em torno de R\$ 220,00, mostrando ser uma alternativa viável para os ruralistas (LAREDO, 2014).

Tiwari, Hong e Goyal (1996) notaram a importância e necessidade do uso da energia na área rural do Vietnã. O país de clima tropical recebe muita incidência de irradiação solar, principalmente na região norte, propícia ao uso do sistema de baixo custo para suprir essa necessidade. O estudo dos autores se deu no desenvolvimento de um modelo que faz uso de um refletor para otimizar a captação solar e sua performance no aquecimento, sendo capaz de atender as necessidades e trabalhar com eficácia nas condições climáticas disponíveis no Vietnã.

Gabriel Filho (2013) desenvolveu na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho um curso que visou apresentar o aquecedor solar de baixo custo à comunidade rural. Além da abordagem teórica, houve a apresentação dos materiais assim como uma demonstração prática para adquirir uma melhor afinidade na montagem do sistema e solucionar possíveis dúvidas durante sua execução.

No Brasil existe um grupo chamado ABENGOA BRASIL que desenvolve soluções tecnológicas inovadoras para o desenvolvimento sustentável, sendo um desses projetos, o “ATE VII- Projeto Social Rural Solar”, responsável por promover o conforto térmico nas habitações populares e agregar valor às produções rurais familiares. Os aquecedores solares de baixo custo são direcionados para limpeza e tratamento da produção de carne e leite, criação de suínos e aves, além de uso doméstico (ABENGOA BRASIL, 2012).

Outras atividades implantadas para ajudar as pessoas que habitam o meio rural são aquelas que envolvem materiais recicláveis. No Baixo Acaraú (CE) oficinas de artesanato ecológico estão sendo implementadas com intuito de gerar emprego e renda a partir de um baixo custo. Este projeto ainda incentiva a utilização de materiais recicláveis e reutilizáveis para fabricação de artesanato, visando de reduzir os impactos que atingem as florestas brasileiras, pois com a reutilização de matérias não há a necessidade da devastação para produção de novos produtos (SAMPAIO, 2012).

A Universidade Estadual de Roraima os alunos do curso de pedagogia com ênfase no campo realizam oficinas que criam brinquedos didáticos com materiais reciclados. O projeto apoiado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Rural utiliza copos de iogurte, cuba de ovos, bandeja de isopor, palitos de picolé dentre outros diversos materiais que é de costume se descartar após o uso. As confecções desenvolvidas após ser apresentada na IV Semana Nacional de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual de Roraima foram destinadas a escolas vicinais do município de educação infantil e das séries iniciais do ensino fundamental (GONÇALVES, 2014).

Cremasco et al. (2013) apresenta em seu trabalho uma preocupação com o meio ambiente devido a quantidade cada vez maior de dejetos que tem grande potencial de se tornar um problema para a humanidade. Visando reduzir esse impacto causado pelos dejetos, Cremasco et al.

(2013) juntamente com a FATEC de Presidente Prudente iniciaram um estudo que diz respeito a construção de uma casa construída com materiais recicláveis (garrafas fabricadas com Politereftalato de etileno, denominadas garrafas PET) e o estudo do conforto térmico com o uso da lógica *fuzzy*.

Tendo em vista a queixa das pessoas com a dificuldade de reciclagem e o alto preço dos aquecedores solares convencionais, surgiu como uma solução para ambos os problemas, a elaboração de aquecedores solares de baixo custo, fazendo uso de garrafas do tipo PET, caixas de leite Tetrapak além de tubos de PVC. A Universidade Federal do Rio Grande do Sul construiu um sistema utilizando esse material como insumo visando calcular a eficiência térmica do sistema (COIMBRA et al., 2008).

O Brasil é um dos países que apresentou grande interesse por esse tipo de material na composição do aquecedor solar de baixo custo, em 2008 no estado do Paraná ocorreu a instalação do maior aquecedor solar do país composto por garrafas PET, sendo importante ressaltar que o sistema não é somente o maior dentre os aquecedores de baixo custo, mas também o maior dentre todos os tipos de aquecedores solares. O sistema foi instalado em um edifício de posse do Exército Brasileiro no qual atende a 50 soldados e consome 8 mil litros de água por dia (ALVARADO, 2008).

Faria (2015) ressalta a importância da busca cada vez maior por fontes alternativas de energia sustentáveis já que para a mesma as consequências do aquecimento global não são mais apenas previsões futuras, são a realidade vivida por todos nós. Ela defende que o aquecedor solar de baixo custo é uma alternativa sustentável e viável, devido a sua eficácia de

funcionamento. Um sistema equipado com 240 garrafas PET, 200 embalagens de leite Tetrapak, 44 metros de canos PVC e 80 conexões T em PVC (FARIA, 2015).

A eficiência do aquecedor solar de baixo custo composto por garrafas PET é visível para Husain (2012), que após estudos realizados chegou a resultados satisfatórios. No verão a temperatura da água chega a 52°C e no inverno a 38°C, essa diferença se dá devido a diferença de temperatura da água no inverno que cai de 22°C à 25°C para 16°C à 18°C além da diferença da incidência de radiação solar, mesmo assim o sistema colabora com economia de 30% da energia elétrica (HUSAIN, 2012).

O objetivo deste trabalho realizar uma avaliação do conforto térmico de aquecedores solares compostos por embalagens reaproveitáveis utilizando modelos de regressão polinomial a partir de um método de comparação com aquecedor convencional instalado em diferentes locais.

1 MATERIAIS E MÉTODOS

1.1 Descrição do sistema de aquecimento alternativo proposto

Os procedimentos aplicados na construção do aquecedor solar de baixo custo na Faculdade de Ciências e Engenharia, FCE/UNESP, Campus de Tupã, estão descritos de acordo com os manuais disponibilizados pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná (SEMA, 2009), sendo este modelo similar construído de forma simplificada e adaptada para a cidade de Tupã. O sistema de aquecimento solar utilizado para o desenvolvimento do trabalho está apresentado na Figura 1.



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

O princípio de funcionamento do aquecedor solar de baixo custo é o termo sifão, por se tratar de um funcionamento que melhor se adapta a sistemas simples. Sendo assim, é necessário que na parte superior do reservatório, o coletor instalado esteja conectado a barra associada à água quente, enquanto na parte inferior o coletor instalado deve ser o associado à água fria, para que com a diferença de densidade entre água quente e fria a diferença de altura garanta a circulação da água no coletor.

O coletor solar do aquecedor desenvolvido compõe-se de tubos e conexões de PVC, garrafas PET, além de caixas de leite Tetra Pak, materiais recicláveis e mais baratos que substituem os convencionais tubos de cobre ou alumínio.

O dimensionamento realizado na construção teve como base uma família com 4 pessoas, sendo necessária uma caixa d' água de 500 litros, assim como uma torneira boia e um redutor de turbulência.

As principais ferramentas utilizadas para a construção de um aquecedor solar de baixo custo deste tipo foram estiletes, fitas de auto fusão, rolos para pintura, canos de PVC, martelo de borracha, lixas, colas para tubos, arco de serra, tábuas, ripas, conexões em L e um tampão em PVC. Sendo necessária a contratação um profissional na área hidráulica (encanador) visando a construção do sistema para que este apresente o funcionamento pôr termo sifão.

1.2 Softwares e equipamentos de aferições de temperatura

As aferições de temperatura do ambiente foram realizadas por aparelhos instalados na parte externa do laboratório que armazenavam diretamente os dados, sendo posteriormente necessária sua conexão com computador para transferência de dados e utilização do software *HOBOWare Pro* (Onset Computer Corporation).

1.3 Métodos

Os métodos constituíram-se da análise de dados comparativos referentes à temperatura ambiente com a temperatura atingida nos aquecedores solar convencional instalado na cidade de Uberlândia e o de baixo custo instalado na FCE/UNESP. Além da realização de estimativas de temperatura atingida nos aquecedores a partir de dados referentes ao seu rendimento de aquecimento.

1.3.1 Procedimento experimental

Para o início do procedimento de comparação foram utilizados e analisados dados da temperatura ambiente da cidade de Tupã em um período de um mês, de 03/05/2013 a 02/06/2013 por meio do aparelho de aferição *Data Logger U12-012* que mensurou a temperatura ambiente e simultaneamente ocorreu outra com o instrumento *Data Logger UA-002-64*, responsável por aferir a temperatura da água do aquecedor solar de baixo custo. Apesar de serem modelos diferentes, ambos foram programados para captar dados durante o mesmo período e intervalo de tempo (5 min.) visando maximizar a precisão dos dados colhidos.

Em relação aos dados do sistema convencional, foi utilizado como base o estudo realizado na Universidade Federal de Uberlândia. As medidas foram retiradas em dias diferentes, mas que apresentavam características de tempo semelhantes, e com horários pré-determinados para realização das aferições (9h da manhã às 16h da tarde).

As informações utilizadas neste trabalho foram extraídas dos gráficos de OLIVEIRA (2009). Desta forma, foi necessária a utilização do programa *GraphData*, o qual permite a extração dos valores dos pontos apresentados nos gráficos, tornando assim possível o conhecimento e manuseio dos dados.

1.3.2 Método de análise dos dados dos aquecedores solares de baixo custo e do convencional

Com os dados da temperatura ambiente e dos sistemas, realizou-se uma subtração para chegar ao valor da diferença entre ambos. Ressaltando que este procedimento foi realizado para cada um dos sistemas, sendo assim houve uma subtração com os dados da temperatura ambiente do sistema de baixo custo e uma para o sistema convencional com a temperatura ambiente do local em que o mesmo se encontra.

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

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

em que, D_{tsc} é a diferença de temperatura do sistema convencional, D_{tsg} é a diferença de temperatura do sistema de garrafas, T_{amb} é a temperatura do ambiente e T_{sist} é a temperatura do sistema.

Ao finalizar este processo deu-se início a segunda etapa, na qual um método estatístico (análise de regressão) foi utilizado para se chegar a equações que tornariam possível o cálculo da diferença da temperatura ambiente para a da água do sistema e a estimativa do valor da temperatura da água dos sistemas conhecendo apenas o valor da temperatura ambiente.

A partir das equações de diferença da temperatura ambiente para a da água dos dois sistemas, estimou-se uma equação de variação de temperatura entre os aquecedores.

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

em que, ΔT é a 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 de garrafas.

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 Análise das variáveis do aquecedor de baixo custo de garrafas PET

Utilizando os métodos descritos, houve tabulação dos dados e elaborou-se a Figura 2 e m que estão representado a temperatura ambiente de Tupã e a temperatura da água aquecida no sistema de baixo custo.

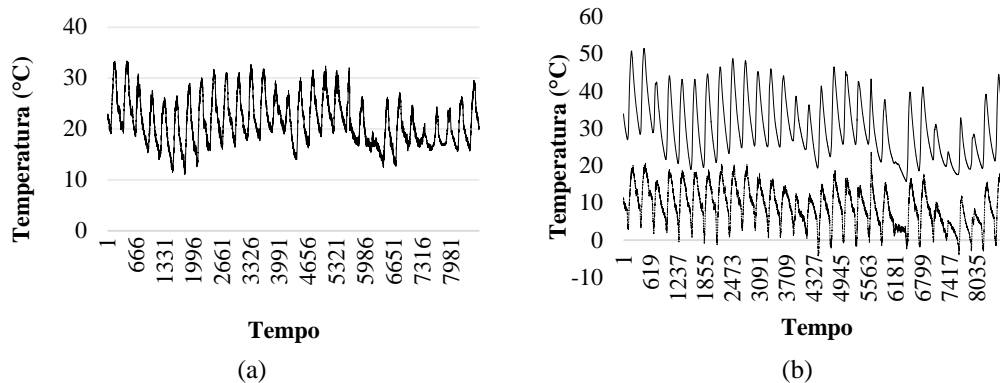


Figura 2 - (a) Gráfico da temperatura ambiente de Tupã e (b) Gráfico da temperatura da água aquecida no sistema de baixo custo (linha contínua) e diferença de temperatura ambiente e água aquecida (linha tracejada).

A partir dos gráficos pode-se inferir que a temperatura alcançada pelo aquecedor de baixo custo atinja valores acima dos 50°C quando a temperatura ambiente ultrapassar os 30°C, ocorrendo uma sintonia de acompanhamento de elevações e quedas da temperatura da água conforme a temperatura do ambiente. Porém esse acompanhamento acontece com uma diferença de

temperatura notável entre a temperatura ambiente e a da água aquecida pelo sistema.

Observou-se ainda essa diferença por meio da análise estatística descritiva das informações obtidas da temperatura ambiente, temperatura da água aquecida e da diferença de temperatura (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados referentes às aferições das temperaturas ambiente, água aquecida no sistema de baixo custo e a diferença entre eles.

Sistema de Baixo custo	Temperatura ambiente	Temperatura da água aquecida	Diferença de temperatura
Tamanho da amostra	8640	8640	8640
Média	21,41	30,58	9,16
Mediana	20,77	29,35	9,17
Mínimo	11,13	15,76	-4,23
Máximo	33,37	51,57	23,60
Variância	20,48	64,37	26,70
Coefficiente de variação	21,13	26,23	56,37

Nota-se que a média da temperatura da água aquecida é cerca de nove graus maior, além da mediana; temperaturas, mínima e máxima; variância e coeficiente de variação que também apresentam valores maiores.

2.2 Análise das variáveis do aquecedor convencional

Com os dados de temperatura ambiente e do INMET (INMET, 2016) tabulados, constatou-se que a média de temperatura da água do sistema convencional é mais elevada que a da água do sistema de baixo custo feito por garrafas do tipo PET, podendo ser constatado na Figura 3.

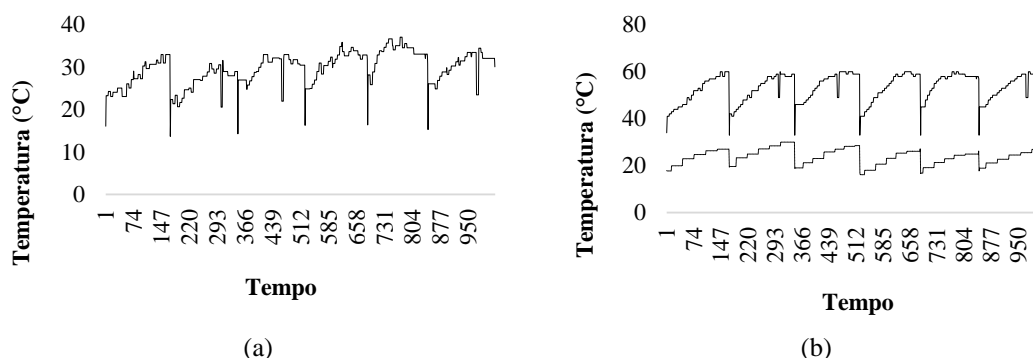


Figura 3 - (a) Gráfico da temperatura ambiente da cidade de Uberlândia. (b) Gráfico da temperatura da água aquecida no sistema convencional (linha contínua) e diferença de temperatura ambiente e água aquecida (linha tracejada).

Foi possível constatar que a diferença entre a temperatura ambiente para a temperatura da água do sistema também é maior se comparada com a diferença de temperatura ambiente para a água do sistema de baixo custo. A água no sistema convencional chega a atingir a marca de 60°C nos picos em que a temperatura ambiente atinge seu valor máximo.

Os resultados obtidos das análises estatísticas mostram melhor essa diferença dos resultados obtidos com os

dados das aferições dos estudos com aquecedores convencionais realizadas em Uberlândia e da temperatura ambiente da cidade.

A partir dos dados da Tabela 2, pode-se notar que a temperatura alcançada pelo aquecedor convencional é superior ao alcançado pelo aquecedor solar de baixo custo, tanto a mínima como a máxima apresentam maiores.

Tabela 2 - Análise estatística descritiva das aferições de temperaturas ambiente, da água aquecida no sistema convencional e a diferença entre eles.

Sistema Convencional	Temperatura ambiente	Temperatura da água aquecida	Diferença de temperatura
Tamanho da amostra	1020	1020	1020
Média	29,70	53,51	23,80
Mediana	30,5	56	24,5
Mínimo	13,7	33	16,1
Máximo	37,1	60	30
Variância	14,61	34,26	10,83
Coefficiente de variação	12,86	10,93	13,82

2.3 Análise das regressões e estimativas das equações

2.3.1 Análise da regressão e estimativa de regressão do aquecedor solar de garrafas

A partir dos dados da temperatura da água encontradas no sistema de garrafas, a partir do trabalho de Moraes (2013), correlacionados com a diferença de temperatura ambiente, realizou-se a análise de regressão (Figura 4) que gerou como resultado uma equação polinomial na qual é possível estipular a temperatura da água de dentro do sistema tendo conhecimento apenas da temperatura ambiente do momento.

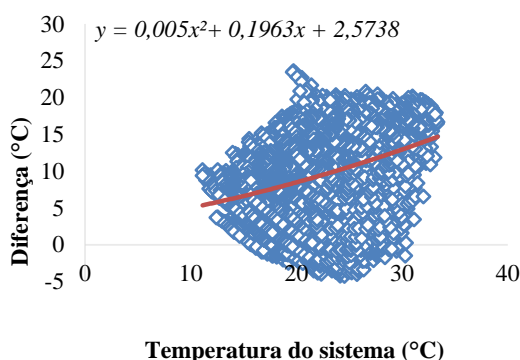


Figura 41 - Regressão polinomial entre a temperatura da água do sistema de garrafas e a diferença de temperatura em relação ao ambiente.

2.3.2 Análise da regressão e estimativa de regressão do aquecedor solar convencional

Oliveira (2009) ao realizar o trabalho analisando o sistema de aquecimento convencional foi possível determinar a diferença de temperatura entre a temperatura ambiente e do aquecedor, conforme ilustra a Figura 5.

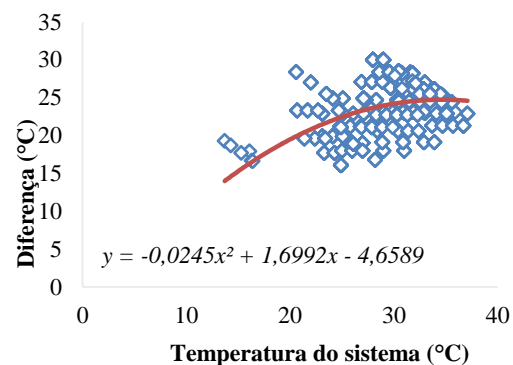


Figura 5 - Curva de regressão da temperatura da água do sistema convencional e diferença de temperatura em relação ao ambiente.

Pode-se constatar que o modelo polinomial de 2º grau apresenta melhor ajuste e assim possibilitando observar o comportamento, em que a partir de uma determinada temperatura ocorre a redução na diferença.

2.3.3 Análise das equações encontradas

A partir dos dados foi possível determinar o modelo de regressão, encontraram-se equações que representam o valor da temperatura da água do sistema. A equação encontrada para o aquecedor solar foi:

$$y_g = 0,005x^2 + 0,1963x + 2,5738$$

em que y_g é o valor estimado da temperatura da água dentro do sistema de baixo custo e x é o valor da temperatura ambiente.

Desta forma a temperatura pode ser estimada por meio da equação de polinomial de 2º ordem, sendo necessário apenas o valor da temperatura ambiente, dado este que é de fácil acesso. O mesmo ocorre na equação encontrada para o aquecedor solar convencional:

$$y_c = -0,0245x^2 + 1,6992x - 4,6589$$

em que y_c é o valor estimado da temperatura da água dentro do sistema convencional e x é o valor da temperatura ambiente.

Trabalhando com essas equações, consegue-se chegar a uma equação que estima o valor da diferença de temperatura dentre os dois tipos de aquecedores (convencional e de garrafas).

$$y_d = -0,0295x^2 + 1,5029x - 7,2327$$

em que y_d é o valor estimado da diferença de temperatura das águas do sistema convencional e de garrafas e x é o valor da temperatura ambiente.

A partir das equações desenvolvidas, foi possível realizar as simulações com temperaturas ambiente hipotéticas para averiguar a eficiência dos dois sistemas.

Analisando a Figura 6, temos que de acordo com as estimativas, a temperatura da água do aquecedor convencional apresenta-se cerca de o dobro da temperatura ambiente quando em temperaturas mais baixas, porém este valor aumenta conforme a temperatura ambiente também aumenta, chegando a 24,7°C quando a temperatura ambiente está a 33°C.

Considerando esse mesmo valor de temperatura mais baixo, o sistema de aquecedor de baixo custo apresenta 6°C de diferença para a temperatura ambiente e nas temperaturas mais elevadas, como a citada anteriormente, a diferença chega a ser de 14,5°C. As Figuras 6 e 7 a representam o comportamento da temperatura estimada de acordo com as equações.

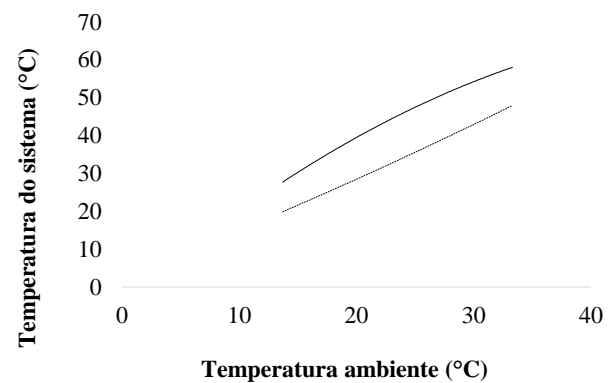


Figura 6 - Duas Curvas de temperaturas de aquecimento da água no sistema de aquecimento convencional (linha contínua) e sistema de aquecimento com garrafas PET (linha tracejada).

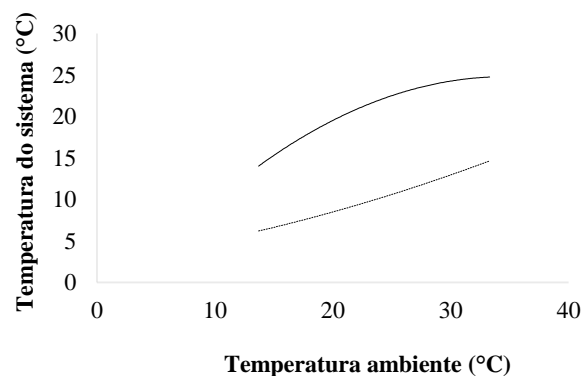


Figura 7 - Diferença de temperatura de aquecimento da água no sistema de aquecimento convencional (linha contínua) e sistema de aquecimento com garrafas PET (linha tracejada).

2.3.4 Comparação da eficiência dos sistemas a partir das equações estimadas com temperaturas aferidas

As equações polinomiais foram testadas também em um experimento na FCE/UNESP, no qual as temperaturas aferidas por meio do uso de *Data Loggers* foram submetidas nas equações, gerando como resultado os dados apresentados na Figura 8.

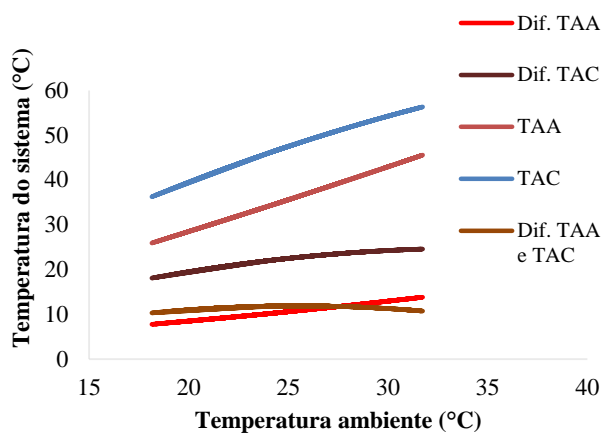


Figura 8 - Comportamento das classes de temperaturas aferidas em Tupã de acordo com as equações polinomiais obtidas.

Legenda: TA-temperatura ambiente, TAG-temperatura aquecedor de garrafas, TAC-temperatura aquecedor convencional, Dif. TA-diferença de temperatura aquecedor aleatório, Dif. TAC-diferença de temperatura aquecedor convencional.

Analisando o gráfico temos que a diferença de temperatura entre os dois tipos de sistemas de aquecimento é de 10°C quase que constante conforme há aumento de temperatura ambiente, possuindo uma variação muito baixa.

Observa-se também a diferença de temperatura entre ambiente e a água dos sistemas, nota-se que o aquecedor solar de baixo custo chega a mais de 10°C de diferença pro ambiente quando a temperatura ambiente atinge 30°C, número bastante significativo.

3 CONCLUSÕES

O sistema de aquecimento convencional apresentou ótima eficiência em seu funcionamento, com temperaturas atingido níveis elevados. Para o aquecedor solar construído a partir de materiais reaproveitáveis, os índices de temperaturas atingidos também foram considerados satisfatórios, estando a água desse sistema em média apenas 10°C abaixo da água do sistema de aquecimento convencional.

4 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo fomento à projeto de pesquisa (Processo CNPq 480985/2008-1- Edital Universal) e pelo auxílio em Bolsas de Iniciação Científica (Processo 31341/2014) e de Produtividade em Pesquisa (Processo 306964/2014-7).

5 REFERÊNCIAS

ABENGOA BRASIL. **Projetos sociais**. 2012. Disponível em:

<http://www.abengoabrasil.com/web/pt/noticias_e_publicacoes/noticias/arquivo_de_noticias/2012/abe_20121219_2.html>

ALVARADO, P. Largest water solar heater with PET bottles installed in Parana, Brazil. **Treehugger**. 2008. Disponível em: <<http://www.treehugger.com/clean-technology/largest-water-solar-heater-with-pet-bottles-installed-in-parana-brazil.html>>

COIMBRA, N.; *et al.* **Eficiência térmica de coletor solar de baixo custo**. Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/medterm/trabalhos/trabalhos-2008/coletorsolarbaixocusto.pdf>>

CREMASCO, C. P.; *et al.* **Estudo de ambiente construído com materiais recicláveis**. Presidente Prudente, 2013. Disponível em: <<http://www.unoeste.br/site/enepe/2013/suplementos/area/Agraria/Ci%C3%A4ncia%20e%20Tecnologia/ESTUDO%20DE%20AMBIENTE%20CONSTRU%C3%8DDO%20COM%20MATERIAIS%20RECICL%C3%81VEIS.pdf>>

CRISTOFARI, C.; *et al.* A. Modelling and performance of a copolymer solar water heating collector. **Solar Energy**, v. 72, n. 2, 2002.

FARIA, C. Aquecedor solar de material reciclado. **Infoescola**. 2015. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/ecologia/aquecedor-solar-de-material-reciclado/>>

GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; SERAPHIM, O. J. Análise diferencial da potência máxima gerada por um sistema solar fotovoltaico. **Energia na Agricultura, Botucatu**, v. 25, n. 2, p. 123-138, 2010.

GABRIEL FILHO, L. R. A.; VIAIS NETO, D. S.; CREMASCO, C. P.; SERAPHIM, O. J.; CANEPPELE, F. L. Mathematical analysis of power generated by photovoltaic systems and their applications in rural areas. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 32, n. 4, p. 650-662, 2012.

GABRIEL FILHO, L. R. A. *et al.* Promoção do uso de aquecedor solar de água de baixo custo para a população rural e urbana de baixa renda da região da Alta Paulista. **Rev. Ciênc. Ext.** v.9, n.3, p.61-71, 2013.

GONÇALVES, P. **Alunos de pedagogia realizam oficina com materiais reciclados**. 2014. Disponível em: <http://www.uerr.edu.br/index.php?option=com_content&view=article&id=3191:alunos-de-pedagogia-realizam-oficina-com-materiais-reciclados&catid=1:timas>

HUSAIN, A. H. Solar water heater from plastic bottles and beverage carton. **Journal of engineering and development**. vol. 16, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010: Características da**

população e dos domicílios. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/english/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_da_populacao/resultados_do_iverso.pdf>

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados meteorológicos.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 01 ago 2016.

JURADO, D. A. J. **Modelagem dinâmica de um sistema solar termo-sifão usando coletores atmosféricos de plástico.** Dissertação de Mestrado, Uberlândia, FEMEC-UFU, 2004, 102p. Disponível em: <<http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/posmec/13/artigos/trb214.pdf>>

LAREDO, G. Banho de sol. **Globo rural.** 2014. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/GloboRural/0,6993,EEC1067411-4528-1,00.html>>

MORAES, K. B. **Avaliação do conforto térmico de aquecedores solares compostos por embalagens reaproveitáveis utilizando variáveis meteorológicas e sistemas fuzzy em comunidades rurais e locais de baixa renda.** Tupã: UNESP, 2013. 53p.

PACHKAWADE, M. A.; NIMKAR, P. R.; CHAVHAN, B. K. Design and fabrication of low cost solar water heater. **International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development.** vol.6, 2013.

SAMPAIO, G. **Cartilha artesanato ecológico.** Ceará, 2012. Disponível em: <<http://www.alternativaterrazul.org.br/cajus/wp-content/uploads/2013/03/1-CARTILHA-ARTESANATO-ORGANICO.pdf>>

SEMA. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná. **Aquecedor Solar Construído com Materiais recicláveis.** 2009. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/meioambiente/solar.pdf>>.

SIQUEIRA, D. A. **Estudo de desempenho do aquecedor solar de baixo custo.** Uberlândia, 2009. Disponível em: <http://www.bdtd.ufu.br/tde_arquivos/12/TDE-2009-08-12T121523Z-1616/Publico/dis.pdf>

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.** Tese de Doutorado do programa de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, UFRN, 2002.

TIWARI, G. N.; HONG, D. D.; GOYAL, R. K. **A low cost solar water heater suitable for rural, as well as urban, areas of Vietnam.** 1996. Disponível em:

<http://www.researchgate.net/publication/45533702_A_low_cost_solar_water_heater_suitable_for_rural_as_well_as_urban_areas_of_vietnam>