

# MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE AQUECEDOR SOLAR VISANDO AQUECIMENTO DE ÁGUA

S. R. TAVARES<sup>1</sup> e N. G. SOUSA<sup>1</sup>

<sup>1,2</sup>Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Departamento de Engenharia Química

<sup>2</sup>E-mail para contato: nadiagsousa@gmail.com

**RESUMO** – O crescente aumento na demanda energética mundial é um dos grandes desafios da atualidade. Sabe-se que o uso da energia elétrica para aquecimento de água é um dos maiores responsáveis pelo alto consumo de energia elétrica no país. Com isto em mente sempre se tenta arrumar alternativas para uma diminuição do uso de energia elétrica. Neste trabalho é possível notar a viabilidade de um aquecedor solar onde utilizando equações foi possível se conseguir um bom rendimento para o aquecedor solar. Dentre as variáveis que foram relevantes para este processo está a temperatura ambiente, que tem uma significativa diferença quando tratada como a média do dia e quando considerada durante as vinte e quatro horas do dia.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento na demanda energética mundial é um dos grandes desafios da atualidade. Sabe-se que o uso da energia elétrica para aquecimento de água é um dos maiores responsáveis pelo alto consumo de energia elétrica no país. Para reduzir esse consumo, uma alternativa viável é popularizar a utilização da energia solar para tal aquecimento. O Brasil é privilegiado em termos de radiação solar. Segundo a ANEEL, o Plano Nacional de Energia 2030 reproduz dados do Atlas Solarimétrico do Brasil e registra que essa radiação varia de 8 a 22 MJ/m<sup>2</sup> durante o dia, sendo que as menores variações ocorrem nos meses de maio a julho, variando de 8 a 18 MJ/m<sup>2</sup>.

Os primeiros aquecedores surgiram na década de 70, porém somente na década de 90 eles se tiveram um aumento substancial e com isso começaram a ter maiores variações de modelo, qualidade e assim maiores aplicações. Albuquerque *et al.* (2002) propuseram a análise de como alguns fatores, como a velocidade do vento, influenciam na eficiência de um sistema de aquecimento de água com coletor solar. Eles concluíram que nas condições e no local onde foram feitas as medidas o uso de coletores solares é viável e no verão a radiação solar é fator determinante no sistema.

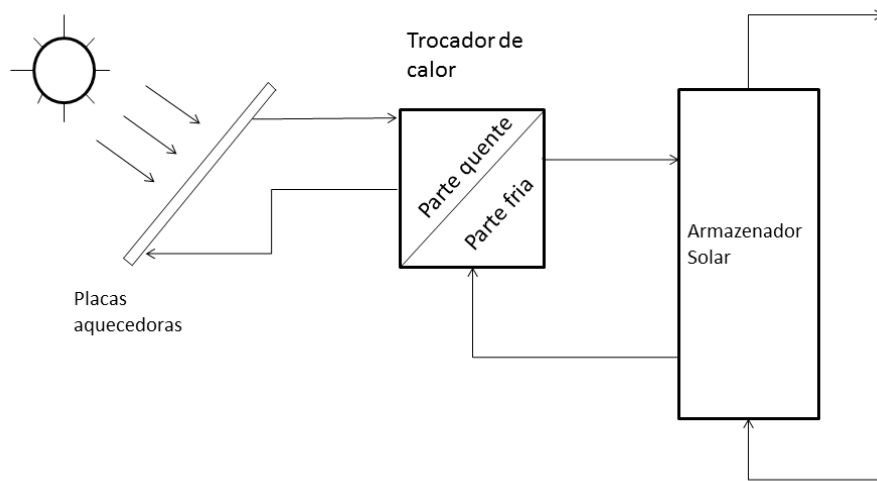
Kicsiny *et al.* (2013) propuseram modelos de EDO's estendidas para modelar uma grande espécie de sistemas de aquecimento solar com tubos. Os modelos estendidos são mais razoáveis que os modelos básicos levando em conta a precisão da modelagem de armazenamento, o que é indispensável na previsão e no desenvolvimento da eficiência do sistema de aquecimento solar para o benefício do consumidor.

O objetivo deste projeto é a análise e a simulação matemática de um aquecedor solar para sistema de aquecimento de água. Para tal, tem-se como base trabalhos encontrados na literatura, para efeito de comparação e viabilidade do projeto. A utilização de sistemas de aquecimento solar visa diminuição dos custos de energias elétricas além de ser uma fonte de energia renovável e limpa. Os dados de irradiação e temperatura ambiente foram coletados para a cidade de Uberlândia, localizada no Triângulo Mineiro.

## 2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Um sistema solar de aquecimento de água é composto basicamente por: reservatório de água fria, reservatório térmico, coletor solar e rede de consumo, como mostrado na Figura 1.

Figura 1- Aquecedor Solar (adaptado de Kicsiny *et al.*, 2013)).



Este trabalho possui natureza teórico-computacional e utilizará o software livre Scilab®, para realizar as simulações computacionais dos sistemas estudados.

### 2.1. Modelo matemático

Utilizando as equações de Kicsiny *et al.* (2013), foi possível um estudo para a região do Triângulo Mineiro. As equações propostas por eles que utilizamos foram:

$$T_c = \frac{A_c n_0}{\rho_c c_c V_c} I_c + \frac{U_{Lb} A_c}{\rho_c c_c V_c} (T_{ca} - T_c) + \frac{v_c}{V_c} (T_{hh} - T_c) \quad (1)$$

$$T_{hh} = \frac{\rho_c c_c V_c}{\frac{c_h m_h}{2} + \rho_c c_c \frac{V_h}{2}} (T_c - T_{hh}) + \frac{\epsilon k_h A_h}{\frac{c_h m_h}{2} + \rho_c c_c \frac{V_h}{2}} (T_{hc} - T_{hh}) + \frac{A_a k_a}{\frac{c_h m_h}{2} + \rho_c c_c \frac{V_h}{2}} (T_{ha} - T_{hh}) \quad (2)$$

$$T_{hc} = \frac{\rho_s c_s V_s}{\frac{c_h m_h}{2} + \rho_s c_s \frac{V_h}{2}} (T_s - T_{hc}) + \frac{\varepsilon k_h A_h}{\frac{c_h m_h}{2} + \rho_s c_s \frac{V_h}{2}} (T_{hh} - T_{hc}) + \frac{\frac{A_a k_a}{2}}{\frac{c_h m_h}{2} + \rho_s c_s \frac{V_h}{2}} (T_{ha} - T_{hc}) \quad (3)$$

$$T_s = \frac{v_l}{V_s} (T_d - T_s) + \frac{v_s}{V_s} (T_{hc} - T_s) + \frac{A_s k_s}{\rho_s c_s V_s} (T_{sa} - T_s) \quad (4)$$

em que:  $T_c$  é a temperatura do coletor solar;  $T_{hh}$  é a temperatura da parte quente do trocador de calor.  $T_{hc}$  é a temperatura da parte fria do trocador de calor e  $T_s$  é a temperatura do tanque de aquecimento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os parâmetros utilizados para a simulação do modelo estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros da simulação.

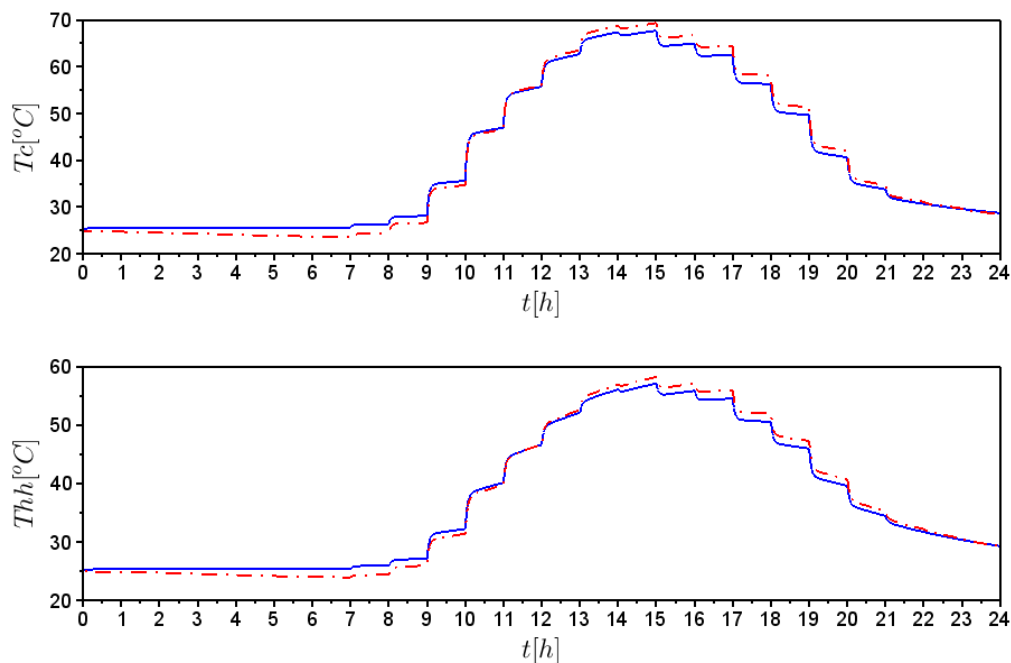
|                                      |                           |                                       |  |                       |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|-----------------------|
| $A_c = 33,3 \text{ m}^2$             | $A_a = 0,24 \text{ m}^2$  | $v_c = 0,000272 \text{ m}^3/\text{s}$ | $V_h = 0,005 \text{ m}^3$                        | $V_s = 2 \text{ m}^3$ |
| $\rho_s = 1000 \text{ kg/m}^3$       | $c_s = 4200 \text{ J/kg}$ | $c_c = 3623 \text{ J/kgK}$            | $k_a = 0 \text{ W/m}^2\text{K}$                  | $A_s = 4 \text{ m}^2$ |
| $U_{Lb} = 7,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $V_c = 0,027 \text{ m}^3$ | $c_h = 464,8 \text{ J/kgK}$           | $\varepsilon k_h = 2461,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $A_h = 2 \text{ m}^2$ |
| $\rho_c = 1034 \text{ kg/m}^3$       | $\eta_0 = 0,74$           | $v_l = 0,0001 \text{ m}^3/\text{s}$   | $v_s = 0,00175 \text{ m}^3/\text{s}$             | $m_h = 37 \text{ kg}$ |
| $T_{ha} = 298,15 \text{ K}$          | $T_d = 298,15 \text{ K}$  | $k_s = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$       | $T_{sa} = 298,15 \text{ K}$                      |                       |

Com as Equações 1 a 4 e os valores de irradiação e de temperatura ambiente, obtidos através do site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), foi possível uma comparação utilizando a temperatura média e a temperatura durante as 24 horas, ou seja, variando ao longo do dia. A fim de comprar os resultado simulados a eficiência média será calcula pela Equação 5.

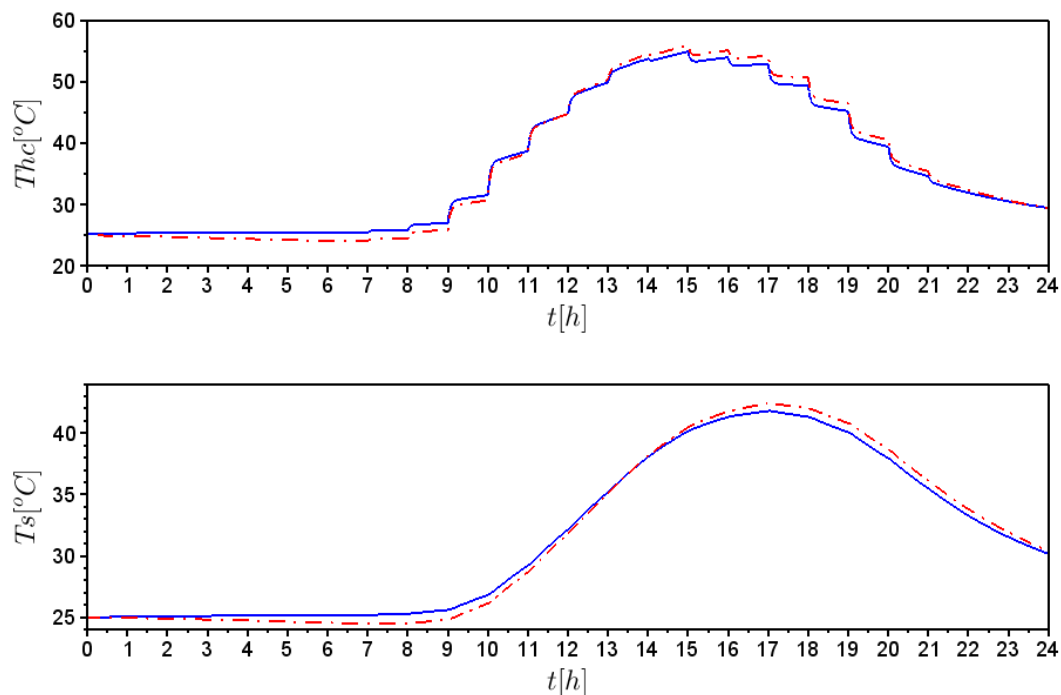
$$\eta = \frac{v_s \rho_s c_s (T_{s \text{ média}} - T_{sa})}{A_c I_{c \text{ médio}}} \quad (5)$$

Os resultados da simulação são mostrados nas Figuras 2 e 3.

**Figura 2 – Comportamento para as temperaturas do coletor solar e da parte quente do trocador ( -  $T_{ca}$  constante; -.-  $T_{ca}$  variando).**



**Figura 3 – Comportamento para as temperaturas da parte fria do trocador e do armazenador ( -  $T_{ca}$  constante; -.-  $T_{ca}$  variando) .**



Analisando os resultados obtidos, pode-se notar que a influência da temperatura ambiente é pouco significativa. Entretanto, ao analisar a eficiência percebe-se que ao

considerar a temperatura variando ao longo do dia tem-se  $\eta=48\%$  e a eficiência considerando a média das temperaturas é de  $\eta=30,5\%$ . Isso ocorre pelo fato de que ao considerarmos hora a hora temos um modelo com maior grau de precisão do que quando fazemos a média.

#### 4. CONCLUSÕES

As simulações efetuadas mostraram que as unidades de aquecimento solar de água são ferramentas em potencial para serem utilizadas como alternativas para reduzir o consumo de energia, pois, apresentaram eficiências próximas de 50%. Entretanto é necessário levar em conta a influência de algumas variáveis do processo, como a variação da temperatura ambiente.

Os resultados obtidos quando foram implementados os dados coletados para a região do Triângulo Mineiro pôde-se notar que quando se utiliza a temperatura variando ao longo do dia tem-se temperaturas máximas o que leva a uma maior absorção de energia solar pelo coletor e assim influencia diretamente as demais temperaturas do processo ( $\eta=48\%$ ). Isso não é notado quando se utiliza valores médios para a temperatura ambiente, neste caso as máximas não serão atingidas reduzindo assim eficiência do sistema de aquecimento solar ( $\eta=30,5\%$ ).

#### 5. NOMENCLATURA

$A_a$  = área da superfície do trocador de calor para o ambiente ( $m^2$ )

$A_c$  = área de superfície do coletor no campo ( $m^2$ )

$A_h$  = área da superfície de transferência de calor dentro do trocador ( $m^2$ )

$A_s$  = área superficial externa do armazenador solar ( $m^2$ )

$c_c$  = capacidade do calor específico do fluido coletor (J/kg K)

$c_h$  = capacidade de calor específico do material do trocador de calor (J/kg K)

$c_s$  = capacidade do calor específico da água (J/kg K)

$\varepsilon k_h$  = coeficiente de transferência de calor dentro do trocador ( $W/m^2 K$ )

$I_c$  = irradiação solar global na superfície do coletor ( $W/m^2$ )

$k_a$  = coeficiente de perda de calor do trocador para o ambiente ( $W/m^2 K$ )

$k_s$  = coeficiente de perda de calor do armazenador solar para o ambiente ( $W/m^2 K$ )

$m_h$  = massa do trocador de calor vazio (kg)

$T_c$  = Temperatura do coletor solar (K)

$T_d$  = Temperatura da água da torneira (K)

$T_{ha}$  = Temperatura ambiente do trocador de calor (K)

$T_{hc}$  = Temperatura da parte fria do trocador (parte do armazenador) (K)

$T_{hh}$  = Temperatura da parte quente do trocador (parte do coletor) (K)

$T_{sa}$  = Temperatura ambiente do armazenador solar (K)

= volume do coletor solar no campo ( $m^3$ )

$V_h$  = volume total do trocador de calor ( $m^3$ )

$V_s$  = volume do armazenador solar ( $m^3$ )

## 6. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE. T. T. de A.; BARCELLOS. K. M.; LYRA. R. F. da F. Influência dos Parâmetros Meteorológicos sobre a Eficiência de um Coletor Solar Plano Destinado a Aquecimento de Água na Região de Maceió-Al. Alagoas, 2002.

KICSINY. R.; NAGY. J.; SZALÓKI. CS. Extended Ordinary Differential Equation Model for Solar Heating Systems with Pipes. Applied Energy, v. 129, p. 166-176, 2013.

OLIVEIRA, A. G. A. DE. Modelagem e Simulação de um Sistema Solar de Aquecimento e Distribuição de Água Quente. Belo Horizonte, 2014.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em:  
<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>.

KICSINY. R.; VARGA. Z. Real-time state observer design for solar thermal heating systems. Applied Mathematics and Computation, v. 218, p. 11558–11569, 2012.