

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS RELEVANTES EM UM PROCESSO DE DESTILAÇÃO SOLAR DE ÁGUA SALGADA: MODELAGEM E SIMULAÇÃO

E. V. de FARIA¹, N. G. SOUSA²

¹ Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas

² Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Departamento de Engenharia Química

E-mail para contato: erica-victor@hotmail.com

RESUMO – Um grande problema enfrentado atualmente pela sociedade é a diminuição na disponibilidade de água potável. Frente a este problema, se tornou evidente a necessidade de novas estratégias economicamente viáveis para que as águas salobras e marítimas também pudessem ser aproveitadas no consumo humano. Neste trabalho, foram investigados os efeitos da temperatura ambiente e velocidade do vento sobre um processo de destilação solar utilizando-se modelagem e simulação do processo no software *Scilab*®, e utilizando os dados meteorológicos da cidade de Uberlândia. Com isso foi possível verificar que estes dois parâmetros não exercem forte influência sobre a produção de água destilada, embora afetem diretamente a temperatura da cobertura e a temperatura da bacia.

1. INTRODUÇÃO

A escassez de água é um assunto cada vez mais recorrente. Apesar de ser um dos maiores bens da humanidade, a água não é inesgotável. De acordo com Cravo e Cardoso (1996), o consumo de água doce no mundo aumenta a um ritmo superior ao do crescimento populacional, restando, como uma das saídas para satisfazer às necessidades hídricas, a produção de água potável a partir da água do mar ou de águas salobras de açudes e poços.

Atualmente diversas tecnologias são utilizadas para a produção de água potável a partir de águas salgadas e salobras, dentre estas, a destilação solar se apresenta como uma alternativa atraente, uma vez que utiliza uma fonte de energia gratuita e abundante, de fácil operação, não polui e é eficaz no tratamento da água, sendo assim uma solução integrada para a escassez de água potável e problemas energéticos e ambientais enfrentados. O Brasil apresenta um elevado potencial para a utilização dessa fonte energética, já que possui altos índices anuais de radiação solar.

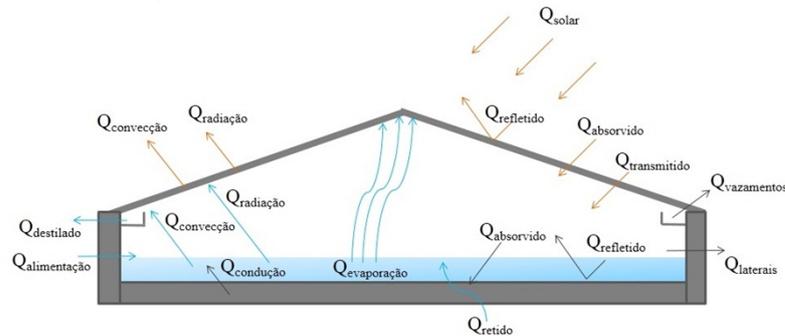
Em 1961 foram publicados dois importantes trabalhos na área de destilação solar o de Dunkle (1961) sobre destiladores solares simples e de múltiplo efeito e o trabalho de Lof *et al.* (1961) sobre balanço de energia em destiladores solares. A fim de propor uma comparação entre alguns tipos de destilação solar, Jorge (2011) estudou quatro tipos de instalações, testando a sensibilidade dessas estruturas à variação de alguns parâmetros. Hamadou (2014) estudou a modelagem e simulação de um sistema de destilação solar ativa com uso de um fluido de aquecimento abaixo da bacia d'água.

O presente trabalho visa o estudo da dessalinização solar, pela investigação de seu modelo dinâmico e a avaliação da influência de variáveis relevantes como a temperatura ambiente e a velocidade do vento na produção diária de água destilada. Essa análise é baseada em estudos já feitos sobre dessalinização solar sendo assim possível avaliar a consistência dos resultados apresentados.

2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

A Figura 1 mostra uma unidade de destilação solar. Os objetivos em um processo de destilação é maximizar o calor gasto na evaporação da água da bacia ($Q_{\text{evaporação}}$), pois esta é diretamente proporcional à produtividade do destilador e minimizar todas as formas de transferência de energia para o ambiente.

Figura 1 – Mecanismos de transferência de energia em um destilador solar passivo (adaptado de Duffie e Beckman (1991)).



O modelo adotado para a simulação de um destilador solar é dado pelas Equações 1 a 3, estas são baseadas no modelo utilizado nos trabalhos de Jorge (2011) e Hamadou (2014). O modelo é composto por balanços de energia individuais para cada componente do destilador: a cobertura, base e água na bacia.

$$\alpha_c I_s A_c + h_{tw}(T_w - T_c)A_b = M_c C_c \frac{dT_c}{dt} + h_{1g}(T_c - T_a)A_c \quad (1)$$

$$\alpha_b(1 - \alpha_c)(1 - \alpha_w)I_s A_b = h_w(T_b - T_w)A_c + h_b(T_b - T_a)A_b \quad (2)$$

$$\alpha_w(1 - \alpha_c)I_s A_b + h_w(T_b - T_w)A_b = M_w C_w \frac{dT_w}{dt} + h_{tw}(T_w - T_c)A_b \quad (3)$$

em que: T_c é a temperatura da cobertura, T_b é a temperatura da bacia e T_w é a temperatura da água da bacia.

O coeficiente total de transferência de calor da superfície da água para a cobertura é definido por: $h_{tw} = h_{rw} + h_{cw} + h_{ew}$. A transferência de calor por convecção ocorre a partir da mistura ar-vapor para a cobertura dado pela seguinte expressão: $h_{rw} = \epsilon_{eff} \sigma (T_w^2 + T_c^2) (T_w + T_c)$, sendo σ a constante de Boltzmann, a evaporação ocorre da bacia de água para a mistura ar-

vapor dada por: $h_{cw} = 0,884 \left[T_w - T_c + \frac{(P_w - P_c)T_w}{268,9 * 10^3 - P_w} \right]^{1/3}$ e a condensação ocorre da mistura

ar-vapor para a cobertura dada pela equação: $h_{ew} = 16,273 * 10^{-3} h_{cw} \frac{P_w - P_c}{T_w - T_c}$. As pressões parciais de vapor de água P_w e P_c em função da temperatura podem ser obtidas a partir da seguinte expressão: $P(T) = \exp\left[25,317 - \frac{5144}{T}\right]$. O coeficiente de transferência de calor convectivo do revestimento da bacia para a água e o coeficiente total de transferência de calor do revestimento da bacia para o ambiente é dado pelas seguintes correlações, respectivamente: $h_b = \left[\frac{L_1}{K_1} + \frac{1}{h_{1g}}\right]^{-1}$ e $h_w = \frac{k_w}{L} 0,54 (Gr * Pr)^{1/4}$, sendo o calor latente de vaporização da água do mar $L = 3,146 * 10^6 - 2360T_w$.

A velocidade do vento é determinada pela Equação 4, denominada de correlação de Mc Adams (Hamadou, 2014).

$$h_{1g} = \begin{cases} 5,6201 + \frac{1151,2 V_{vento}}{T_a}; se V_{vento} < 4,88 \text{ m/s} \\ 604,29 \left(\frac{V_{vento}}{T_a}\right)^{0,78}; se 4,88 \leq V_{vento} \leq 30,48 \text{ m/s} \end{cases} \quad (4)$$

A produção horária de água destilada é função da diferença entre a temperatura da cobertura e da água da bacia, dada por: $\dot{m}_{ew} = \frac{A_c h_{ew} (T_w - T_c) * 3600}{L}$. A produção diária de destilado é dada pelo somatório da produção horária durante o tempo de operação do

destilador solar: $M_{ew} = \sum_{i=1}^{24} \dot{m}_{ew}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados de temperatura ambiente, radiação solar, velocidade do vento, adotados neste trabalho, são do mês de Janeiro de 2015 para cidade de Uberlândia-MG, todos estes dados foram obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os parâmetros utilizados na simulação estão dispostos na Tabela 1.

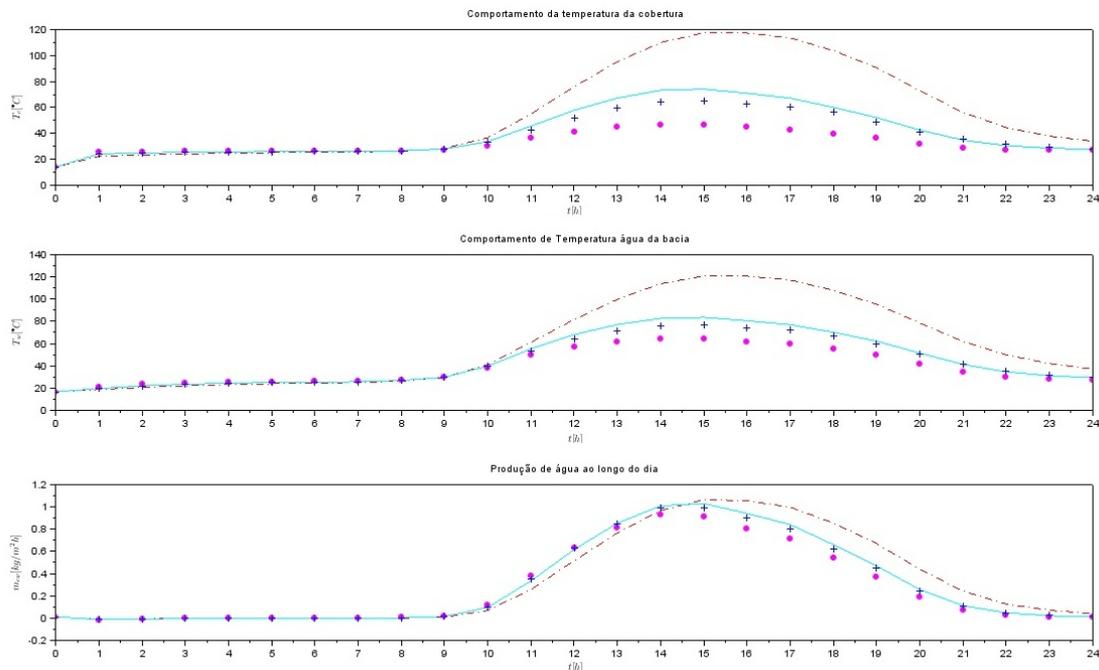
Tabela 1 – Parâmetros da simulação.

Absorbância da água (α_w)	0,08	Coefficiente de dilatação térmica (β)	0,00024276 1/K
Absorbância da base (α_b)	0,34	Condutividade térmica da água (k_w)	0,613 W/m
Absorbância da cobertura (α_c)	0,05	Condutividade térmica do isolamento (k_1)	0,08 W/m K
Área da base (A_b)	1 m ²	Emissividade da água (ϵ_w)	0,96
Área da cobertura (A_c)	1,22 m ²	Emissividade da cobertura (ϵ_c)	0,9

Capacidade calorífica da água do mar (C_w)	670 J/kg K	Espessura do isolamento (L_1)	0,06 m
Capacidade calorífica da cobertura (C_c)	4179 J/kg K	Massa de água	10 kg

Os resultados obtidos nas simulações foram plotados na forma de gráficos para facilitar a visualização, como pode ser observado nas Figuras 2 e 3. Ao observar o comportamento da temperatura ambiente, na Figura 2, pode-se notar que esta varia inversamente à variação da velocidade do vento, quanto maior a velocidade do vento, maior a temperatura observada. A mesma análise pode ser feita para a temperatura da água da bacia. Também se observa que o perfil de variação destas segue a mesma tendência. No entanto a produção de água destilada ao longo do dia não sofre mudanças significativas ao variar-se a velocidade do vento. Ainda, verifica-se que os resultados observados para o uso da velocidade do vento média nas simulações se aproximam dos mesmos para o uso da velocidade do vento com variação horária.

Figura 2: Comportamento da temperatura da cobertura, da água da bacia, e da produção de água ao longo do dia pra diferentes velocidades do vento mantendo a Temperatura ambiente fixa e igual a média diária ($T_a=299,56$ K) (++) Velocidade do vento variando ao longo do dia; -- Velocidade do vento igual a 0 m/s; --- Velocidade do vento constante igual 1,62 m/s (média diária); ... Velocidade do vento constante igual a 6m/s)



Para o segundo caso, Figura 3, em que se utilizou a temperatura ambiente horária, ou seja, variando ao longo do dia, têm-se as mesmas conclusões do primeiro caso. Também se observa que o comportamento das temperaturas e produção de água são semelhantes, o que leva a rematar que a variação da temperatura ambiente tem pouca influência sobre o processo

de destilação solar e durante uma simulação optar pela utilização de uma temperatura média é uma boa aproximação do sistema real.

A produção total diária de água destilada em cada condição simulada está disposta na Tabela 2. Contudo, pode-se observar que a produção de água destilada sofre pouca influência da variável velocidade do vento. Sendo que ao desprezar este efeito a produção é acrescida em 12,6% do que ao considerar a velocidade do vento variando ao longo do dia. Também pode-se notar que a diferença na produção de água utilizando-se a temperatura ambiente real horária e a temperatura média é de aproximadamente 1,24%.

Devido à grande influência que a velocidade do vento tem sobre a temperatura da cobertura era de se esperar que esta também tivesse forte influência sobre a produção. No entanto a força motriz do processo de destilação solar é o gradiente entre a temperatura da cobertura e da água da bacia, pois esta favorece a condensação do vapor de água, como é evidenciado pela equação produção horária de água destilada. Desta forma a pequena variação da produção diária é apoiada no fato de a velocidade do vento altera, de forma semelhante, essas suas variáveis, ou seja, em cada caso avaliado não há grandes alterações nesse gradiente. Tal resultado é concordante com o trabalho de Jorge (2011).

Figura 3: Comportamento da temperatura da cobertura, da água da bacia, e da produção de água ao longo do dia para diferentes velocidades do vento utilizando a temperatura ambiente horária. (++) Velocidade do vento variando ao longo do dia; -- Velocidade do vento igual a 0 m/s; --- Velocidade do vento constante igual 1,62 m/s (média diária); ... Velocidade do vento constante igual a 6m/s)

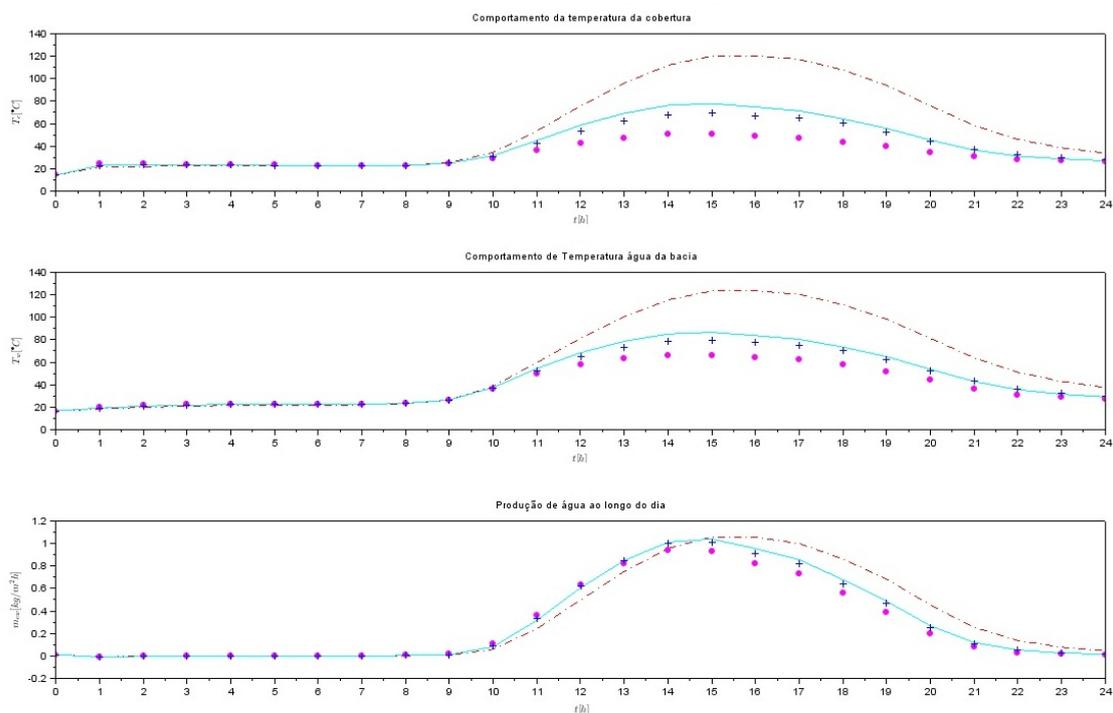


Tabela 2: Produção diária de água para cada condição

T_A constante	T_A horária
-----------------	---------------

V_{vento} real horária	7,104 kg/m ² dia	V_{vento} real horária	7,193 kg/m ² dia
$V_{\text{vento}} = 0$ m/s	8,126 kg/m ² dia	$V_{\text{vento}} = 0$ m/s	8,129 kg/m ² dia
$V_{\text{vento}} = 1,62$ m/s	7,290 kg/m ² dia	$V_{\text{vento}} = 1,62$ m/s	7,360 kg/m ² dia
$V_{\text{vento}} = 6$ m/s	6,469 kg/m ² dia	$V_{\text{vento}} = 6$ m/s	6,589 kg/m ² dia

4. CONCLUSÕES

Através da análise e simulação de um sistema de destilação solar foi estudada a influência de se considerar a temperatura ambiente como a média diária em contrapartida com o uso da temperatura real horária, ou seja, variando ao longo do dia. Neste caso pôde-se notar que a adoção de uma temperatura média diária é uma boa aproximação durante a simulação de sistemas de destilação solar de água salgada.

Outro ponto avaliado foi a influência da velocidade do vento utilizando-se de 3 níveis de comparação, mantendo-a constante e variando ao longo do dia. Novamente pôde-se notar que vento não exerce alteração considerável sobre a produção do destilado, visto que este parâmetro exerce influência direta e de igual grandeza sobre a temperatura da cobertura e da água, e por isso não influi em grandes variações no gradiente de temperatura dentro do destilador solar e com isso na produção de destilado. Portanto, assim como verificado no trabalho de Jorge (2011), pode-se afirmar que a velocidade do vento não é uma variável de forte influência sobre a destilação solar.

5. REFERÊNCIAS

- CRAVO, J. G.; CARDOSO, H. E. **Projeto de dessalinização de solos e água**. Nota Técnica nº1. Brasília/DF: SRH/MMA, 1996.
- DUFFIE, J., & BECKMAN, W. **Solar Engineering of Thermal Processes** (2.^a ed.). New York: John Wiley and Sons, 1991.
- DUNKLE, R. V. **Solar water distillation: the roof type still and a multiple effect**
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>.
- JORGE, Bruno Miguel Jacinto: **Simulação de Processos de Destilação Solar de Água Salgada**. Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Técnica de Lisboa, Outubro de 2011. 118p. Dissertação de Mestrado.
- LOF, G. O. G., EIBLING, J. A., BLOEMER, J. M. **Energy balances in Solar Distillers**. A.I.Ch.E. Journal, vol. 7, N° 4, 641-649, 1961.