

# ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS PARA CÁLCULO DA PRODUÇÃO MENSAL DE ENERGIA EM COLETORES SOLARES

**Leonardo Chamone Cardoso** – leonardo@solis.ind.br

**Vicente Luiz Scalon** – scalon@feb.unesp.br

Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Departamento de Engenharia Mecânica

**Resumo.** Atualmente, a aplicação da energia solar térmica para aquecimento de água é uma solução técnica e economicamente viável permitindo a redução do consumo de energia elétrica no setor residencial e comercial brasileiro. Diante disto, se faz cada vez mais necessário o domínio de metodologias que permitam quantificar a energia térmica útil produzida pelos coletores solares e determinar a sua eficiência na geração de água quente. Como uma forma de contribuir para esta meta, este trabalho desenvolve uma análise comparativa da produção mensal de energia térmica nos coletores solares em condições reais de uso. A partir de dados experimentais e teóricos, diferentes modelos foram aplicados para a determinação da produção mensal de energia. A metodologia do trabalho consistiu em monitorar um sistema de aquecimento solar residencial em funcionamento e, a partir dos dados obtidos, calcular e comparar a produção de energia térmica útil dos coletores solares baseando-se no balanço energético e no Método das Perdas. Além disso, como a radiação solar global incidente no plano do coletor solar foi monitorada, o seu valor também foi comparado ao modelo teórico. A aplicação mostrou bons resultados em grande parte dos casos, mas apresentou algumas inconveniências em determinadas situações como destacado no trabalho.

**Palavras-chave:** Energia Solar Térmica, Coletor Solar Plano, Eficiência Energética

## 1. INTRODUÇÃO

O mercado de aquecedores solares no Brasil e no mundo, começou a crescer a partir da década de 70 impulsionado pela crise do petróleo, mas expandiu significativamente durante a década de 90 com as novas crises energéticas. Associado a este desenvolvimento surgiram uma série de inovações tecnológicas que permitiram aumentar a eficiência global dos sistemas, assim como os procedimentos de etiquetagem para indicar sistemas mais eficientes.

Neste sentido, uma avaliação efetiva da operação destes coletores solares em comparação com os resultados obtidos em seus testes de etiquetagem, pode trazer mais elementos para a melhoria da tecnologia dos coletores, diminuindo ainda mais o seu custo efetivo.

A investigação de coletores solares de placa plana vem sendo desenvolvida há bastante tempo, desde as primeiras caixas aquecedoras que surgiram no EUA ao final do século XIX. Recentemente diversos trabalhos têm sido apresentados nos mais diversos tópicos de estudo relacionados à aplicação de coletores solares planos nos sistemas de aquecimento de água.

Para destacar alguns, no que se refere ao aperfeiçoamento de modelos teóricos de avaliação e dimensionamento merece destaque o trabalho Khalifa (1999), onde são comparados com os valores efetivos e eficiências dos coletores solares e Wojcicki (2015), onde é feita análise do conceito do dia típico realizado. Estes modelos apresentam pequenas alterações dos tradicionais, apresentados por Duffie e Beckman (2001) e Kalogirou (1997). Modelos para testes transientes de coletores solares foram desenvolvidos por Fischer et al. (2004) e Taherian et al. (2011). Modelos numéricos para avaliar os coletores também vem sendo desenvolvidos, no caso, merece destaque Hussein et al. (1999). Propostas de inovações, de maneira a melhorar a eficiência global de coletores, podem ser encontrados em Ammari e Nimir (2003), Jaisankar et al. (2009), Ananth e Jaisankar (2013) e García et al. (2013).

Neste contexto de desenvolvimento de novas tecnologias, este trabalho se propõe a apresentar uma análise comparativa da energia térmica útil produzida nos coletores solares em condição de uso e compará-la com a das condições de teste. Para tanto, foi instrumentada uma instalação residencial com alguns dispositivos de medição adicionais e registradores de parâmetros de operação. A Fig. 1 ilustra o sistema instalado indicando os respectivos pontos de monitoração. Resultados experimentais podem ser calculados a partir de dados experimentais monitorados. Os cálculos de eficiência térmica por sua vez, podem ser calculados com base nos dados fornecidos pela etiquetagem utilizando-se de dados estatísticos e modelos matemáticos. De posse dos resultados de ambos os casos, pontos de discrepância entre os resultados podem ser avaliados e discutidos. Ainda em decorrência desta análise é possível propor eventuais ações corretivas nos métodos ou mesmo alterações no sistema de aquecimento de modo a aumentar a confiabilidade técnica ou melhorar a eficiência de longo prazo.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia de trabalho consistiu em monitorar um sistema de aquecimento solar residencial em condições normais de operação e, a partir dos dados monitorados, calcular a produção de energia térmica útil dos coletores solares. A análise térmica dos coletores se baseia nos princípios da Primeira Lei da Termodinâmica e comparada com as estimativas baseadas no Método das Perdas.

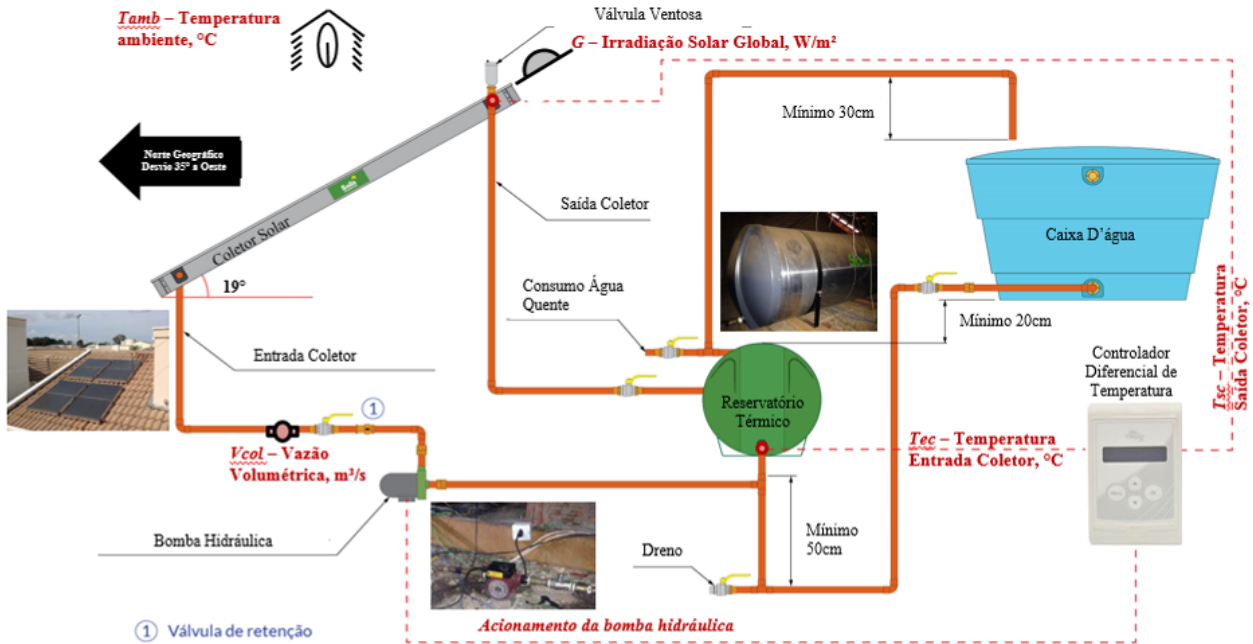


Figura 1 – Instalação do sistema de aquecimento solar e pontos de monitoração.

As variáveis monitoradas pelo sistema são  $T_{amb}$ , temperatura ambiente em °C,  $T_{ec}$ , temperatura de entrada do coletor solar em °C,  $T_{sc}$ , temperatura de saída do coletor solar em °C,  $G$ , irradiação solar global incidente sobre o plano do coletor solar em W/m² e  $V_{col}$ , vazão volumétrica de água no coletor solar em m³/s.

### 2.1 Modelos de Estimativa de Irradiação Solar

A irradiação solar global incidente no plano do coletor solar foi monitorada e comparada ao modelo teórico, obtido a partir do número de horas de insolação, ângulos de geometria solar e série de modelos matemáticos, conforme sequência lógica ilustrada por Guimarães (1995) na Fig. 2.

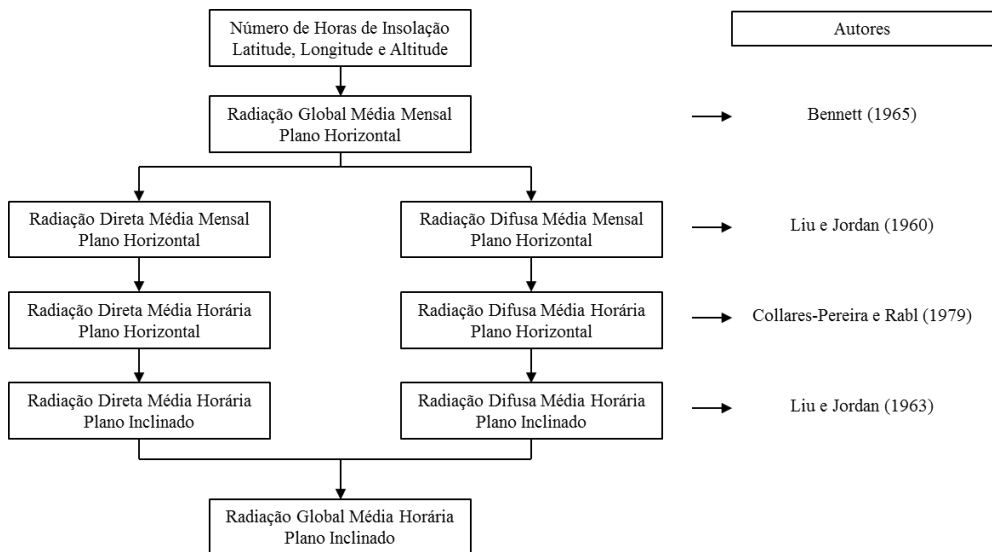


Figura 2 – Diagrama de blocos para modelos de estimativa de irradiação solar em um determinado local.

## 2.2 Eficiência Térmica

A eficiência térmica ( $\eta$ ) experimental é calculada a partir de médias horárias na Primeira Lei da Termodinâmica utilizando os dados monitorados de  $T_{amb}$ ,  $T_{ec}$ ,  $T_{sc}$ ,  $V_{col}$  e  $G$  conforme Eq. (1).

$$\eta = \frac{V_{col} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{sc} - T_{ec})}{A_{ext} \cdot G} \quad (1)$$

As propriedades físicas são: a massa específica ( $\rho$ ) da água e considerada igual a 990,10 kg/m<sup>3</sup>, o calor específico a pressão constante ( $c_p$ ) da água, considerado igual a 4,18 kJ/kg.°C e a área externa total dos coletores solares ( $A_{ext}$ ) igual a 6,00 m<sup>2</sup>.

A eficiência térmica ( $\eta$ ) experimental novamente é calculada, agora a partir do Método das Perdas e em função dos dados monitorados de  $T_{amb}$ ,  $T_{ec}$ ,  $G$  e com base nos dados fornecidos pelos testes de etiquetagem do coletor:

$$\eta = \frac{A_u}{A_{ext}} \left\{ K_{\tau\alpha} \cdot F_R (\tau\alpha) - \frac{F_R U_L (T_{ec} - T_{amb})}{G} \right\} \quad (2)$$

A constante  $F_R(\tau\alpha)$  é um parâmetro adimensional referente aos ganhos térmicos do coletor solar,  $F_R U_L$  é um parâmetro adimensional referente as perdas térmicas do coletor solar,  $K_{\tau\alpha}$  é fator de correção do ângulo de incidência e o parâmetro  $A_u$  é a área útil total dos coletores solares igual a 5,86 m<sup>2</sup>.

A eficiência térmica ( $\eta$ ) é calculada novamente a partir do Método das Perdas, Eq. (2), contudo considerando dados empíricos de  $T_{ec}$  baseado no Regulamento Específico para uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia, revisão 9 do PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem, conforme Tab. 1. Além disso, considerou-se também dados teóricos de  $T_{amb}$ , conforme método recomendado pela ASHRAE baseado em dados estatísticos de temperatura ambiente máxima ( $T_{max}$ ), diferença entre a temperatura ambiente máxima e mínima ( $\Delta T$ ) e hora solar ( $HS$ ), conforme Eq.(3). Neste caso,  $G$  adotado é proveniente do modelo teórico, conforme Fig. 2.

Tabela 1 –  $T_{ec}$  empírica.

Hora	07:01 a 08:00	08:01 a 09:00	09:01 a 10:00	10:01 a 11:00	11:01 a 12:00	12:01 a 13:00	13:01 a 14:00	14:01 a 15:00	15:01 a 16:00	16:01 a 17:00
$T_{ec}$	30°C	32°C	34°C	36°C	38°C	40°C	40°C	40°C	38°C	36°C

$$T_{amb} = T_{max} - \frac{\Delta T}{2} + \frac{\Delta T}{2} \cos \left[ \frac{15 \cdot (HS - 14) \cdot \pi}{180} \right] \quad (3)$$

## 2.3 Produção Mensal de Energia Específica

A produção mensal de energia específica,  $PMEe$ , foi calculada utilizando todas as possibilidades de eficiência térmica descritas anteriormente. Neste caso, considerou-se que a energia produzida pelos coletores solares durante uma hora, é equivalente ao produto de sua eficiência térmica pela irradiação global média incidente no plano do coletor solar neste mesmo período. A soma dos valores horários para as  $i$  horas do dia, fornece a  $PMEe$ . Em nosso caso, o índice  $i$  variou de 1 a 12, correspondente ao período entre 7 e 19 horas:

$$PMEe = \sum_{i=1}^{12} 30 \cdot \eta \cdot G \cdot 3,6 \quad (4)$$

sendo as constantes 30 e 3,6 utilizadas para conversão da unidade em kJ/mês.m<sup>2</sup>. Este procedimento permite avaliar a economia de energia a ser obtida com a utilização do aquecimento solar durante o mês.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de aquecimento solar monitorado, classificou-se como um sistema de baixa pressão, ou seja, pressão de trabalho de até 49,00 kPa e aberto à pressão atmosférica. Além disso, trata-se de um sistema com circulação forçada entre coletores solares e reservatório térmico. A orientação geográfica dos coletores solares é de 35° a oeste do norte geográfico e sua inclinação dos mesmos em relação ao plano horizontal de 19°.

### 3.1 Equipamentos

Os equipamentos que compõem o sistema de aquecimento solar são:

**Coletor Solar.** Dimensão 1,50 m x 1,00 m x 0,065 m, área externa 1,50 m<sup>2</sup>, área transparente 1,465 m<sup>2</sup>,  $Fr(\tau\alpha)$  0,741,  $FrUL$  6,681,  $K\tau\alpha = 1 - b/\cos(\Theta)$  e  $b = 0,1065$ ,  $\eta = 59,31\%$ ,  $PMEe = 294,12$  MJ/mês.m<sup>2</sup>, classificação A no PBE do INMETRO e quantidade de 4 unidades.

**Reservatório Térmico.** Dimensão  $\varnothing$  0,65 m x 1,705 m, com volume 0,40 m<sup>3</sup>, pressão de trabalho 49,00 kPa, etiquetado no PBE do INMETRO com Selo PROCEL de qualidade e 1 unidade.

**Bomba Hidráulica.** Potência 100 W, alimentação elétrica 110V e quantidade de 1 unidade.

**Controlador Diferencial de Temperatura.** Dotado de comunicação serial RS 485 para aquisição de dados e com controle da diferença de temperatura para acionamento.

Uma instrumentação adicional à do sistema foi incluída de maneira a obter parâmetros adicionais:

**Medidor de Vazão.** Tipo digital com um sensor de efeito Hall com alimentação elétrica 5 a 24Vcc e faixa de medida de vazão de 1 a 30 L/min.

**Piranômetro.** Marca Fascitec, modelo SIR, tipo do sensor fotodiodo de silício, espectro de 400 a 1100 nanômetros.

**Sensores de Temperatura.** Marca Full Gauge, tipo NTC – Negative Temperature Coeficiente, temperatura de controle S1 (temperatura entrada coletor), S2 (temperatura saída coletor) e S4 de -50°C a 200°C e S3 (temperatura ambiente) de -50°C a 105°C e resolução de 0.1°C entre -10 e 100°C e 1°C no restante da faixa.

Para tratamento e aquisição dos dados disponíveis foi utilizado um conversor de dados conectado a um PC usando porta de comunicação USB. A interface entre ambos transformou o padrão elétrico utilizado pelo PC, para o padrão elétrico RS-485 utilizado pelos controladores. O uso do PC foi obrigatório para armazenagem dos dados. Os instrumentos usados na aquisição de dados foram:

**Conversor de Dados.** Marca Full Gauge, modelo CONV32, alimentação através da porta USB. Um conector USB-B fêmea para ligação com o PC, utilizando cabo específico fornecido juntamente com a Interface. Uma porta RS-485 isolada para conexão de até 32 instrumentos, sem a necessidade de terminação. O controlador diferencial de temperatura utilizado permite comunicação direta com o conversor de dados.

**Expansor de Dados.** Marca Full Gauge, modelo MOD64, para ampliar o número de entradas e receber os sinais do piranômetro e medidor de vazão através das 2 entradas analógicas de 0 a 5 Vcc.

**Conversor Digital/Analógico.** Montado para adequar a saída do medidor de vazão de número de pulsos para um sinal analógico de 0-5V. Para a conversão foram utilizadas placas controladoras de plataforma aberta tipo Revolution Arduino, modelo V2.1, alimentação 5 Vcc. A conversão do sinal foi necessária, visto que as portas digitais do expansor de dados MOD 64 não são dotadas de contador de pulso.

### 3.2 Procedimentos de Cálculo

Para avaliar o comportamento do coletor ao longo do tempo foram coletados e armazenados  $T_{amb}$ ,  $T_{ec}$ ,  $T_{sc}$ ,  $G$  e  $V_{col}$  em intervalos de 30s durante todo o período.

Com base nestes dados foram calculados a taxa de transferência de calor útil dos coletores solares em cada instante de tempo. A sua integral no tempo permitiu o cálculo da  $PMEe$  utilizando o princípio da somatória e as expressões anteriores permitiram ainda o cálculo da eficiência térmica dos coletores solares, baseando-se no seu balanço energético.

Também foi possível a partir dos dados  $T_{ec}$ ,  $T_{amb}$ ,  $G$  e dos termos adimensionais do coletor solar  $FrUL$ ,  $Fr(\tau\alpha)$  e  $K\tau\alpha$  o cálculo da eficiência térmica dos coletores solares, conforme o Método das Perdas. Esta nova estimativa de eficiência, por sua vez, permitiu o cálculo da energia útil dos coletores solares, e cuja integral no tempo também permitiu um novo cálculo da  $PMEe$ .

Por fim, de modo independente dos dados experimentais, o Método das Perdas foi utilizado novamente para cálculo da eficiência térmica instantânea e  $PMEe$ . Neste caso, os valores de  $T_{amb}$  e  $G$  foram calculados por métodos matemáticos a partir de dados estatísticos de  $T_{max}$ ,  $\Delta T$ ,  $HS$  e número de horas de insolação na cidade de Araçatuba SP, cuja posição geográfica é latitude -21,21°, longitude -50,45° e altitude 409,11m. Desta forma, foi possível uma nova estimativa da  $PMEe$  dos coletores solares e respectiva eficiência térmica.

O tratamento dos dados em todos os casos foi baseado em média horária mensal. Uma análise comparativa entre as três alternativas também pode ser realizada.

#### 4. RESULTADOS

O sistema de aquecimento solar residencial foi monitorado durante os 31 dias do mês de Outubro de 2014. Foi possível aproveitar 27 dias válidos. Foram considerados dias não válidos aqueles em que houve perda total ou parcial de dados por queda de energia elétrica ou problemas técnicos na instrumentação.

Baseada na metodologia descrita e na instrumentação utilizada no sistema de aquecimento solar, obteve-se uma série de informações sobre o funcionamento do conjunto. Estes dados e cálculos desenvolvidos permitem analisar vários parâmetros de operação e eficiência dos dispositivos envolvidos.

A Fig. 3 apresenta a eficiência térmica média horária mensal calculada a partir da Primeira Lei da Termodinâmica com dados experimentais e calculada a partir do Método das Perdas também com dados experimentais e com dados teóricos. Verificou-se que o diferencial de temperatura entre  $T_{ec}$  e  $T_{sc}$  programado para ligar a bomba hidráulica provocou concentração de energia térmica no coletor nos primeiros minutos em que a bomba hidráulica foi acionada no início e término do dia. Esta situação gerou, no processamento dos dados, a falsa impressão de que a eficiência térmica nestes períodos foi superior a 100%. Para desconsiderar este efeito, a Fig. 3 é restrita apenas ao intervalo de tempo das 09:00hs às 15:00hs. Neste período, a operação da bomba hidráulica foi praticamente contínua e portanto, a eficiência térmica pode ser melhor avaliada.

O controlador diferencial de temperatura, responsável pelo acionamento da bomba hidráulica de circulação de água nos coletores solares, foi programado para acioná-la apenas quando a diferença de temperatura entre  $T_{ec}$  e  $T_{sc}$  fosse superior ou igual a  $8^{\circ}\text{C}$ .

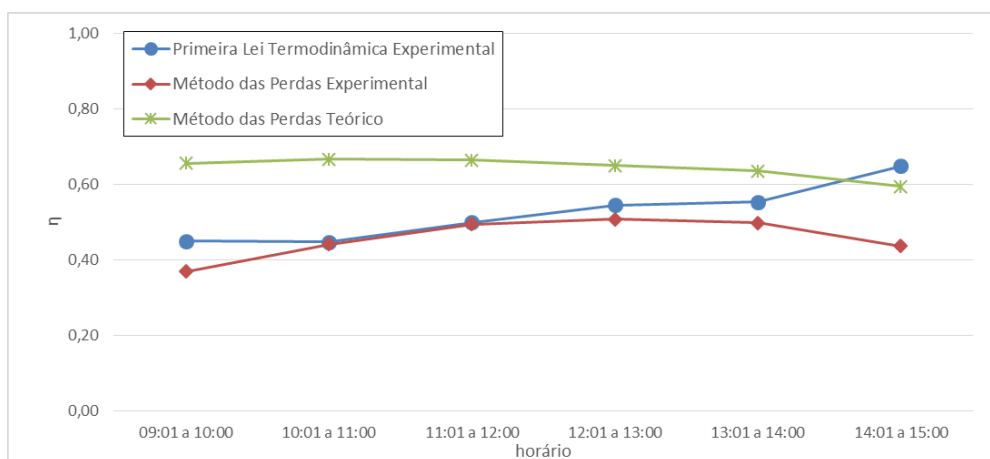


Figura 3 - Curva eficiência térmica média horária mensal 09:00hs as 15:00hs.

Tabela 2 – Eficiência térmica média diária mensal das 09:00hs as 15:00hs.

Primeira Lei Termodinâmica Experimental	Método das Perdas Experimental	Método das Perdas Teórico
0,52	0,46	0,64
Erro Percentual Média Mensal	-12,57%	23,06%

Analisando a eficiência térmica na Fig. 3 e a Tab. 2, nota-se uma coerência entre os resultados e um erro percentual médio relativamente menor entre o método da Primeira Lei da Termodinâmica e o Método das Perdas Experimental. Notou-se também neste caso, que a eficiência térmica média mensal pelo Método das Perdas Teórico é a maior dentre os métodos. Neste caso, isto se deve, predominantemente, ao modelo utilizado na determinação da  $T_{ec}$ . Trata-se de um modelo empírico que apresentou valores baixos de temperatura em relação aos experimentais e elevou significativamente a eficiência térmica dos coletores, conforme visto na Fig. 5(b) e Tab. 6, respectivamente.

A Fig. 4(a) apresenta a  $PMEe$  calculada a partir do balanço energético com dados experimentais e ainda calculada a partir do Método das Perdas com dados experimentais e teóricos. A Fig. 4(b) apresenta a mesma análise, contudo substituindo a  $T_{ec}$  empírica por  $T_{ec}$  experimental exclusivamente no cálculo da  $PMEe$  a partir do Método das Perdas com dados teóricos.

Notou-se na Fig. 4(a) e Tab. 3 que a variação no resultado entre a  $PMEe$  calculada a partir da Primeira Lei da Termodinâmica e a  $PMEe$  calculada a partir do Método das Perdas foi relativamente baixa. Entretanto, esta variação entre os métodos, possivelmente advém do fato de que o controlador diferencial de temperatura esteve programado, inadvertidamente, para desligar a bomba hidráulica caso a temperatura de entrada dos coletores ultrapasse  $70^{\circ}\text{C}$ . Esta condição ocorreu em 8 dos 27 dias válidos, impactando portanto o cálculo da  $PMEe$ , pois eliminou a possibilidade de

produzir energia neste período através do método Primeira Lei da Termodinâmica. Entretanto, este fato não impactou no cálculo da *PMEe* a partir do Método das Perdas com dados experimentais, uma vez que esta foi calculada a partir da média horária mensal das variáveis de entrada no período das 07:00hs às 19:00hs sem levar em consideração o período em que a bomba hidráulica esteve desligada. Com o aproveitamento total do período de irradiação solar, o valor da *PMEe* é necessariamente maior.

O mesmo efeito relacionado à divergência da *Tec* teóricas e experimentais do coletor impactaram na diferença dos resultados. Como consequência, a *PMEe* calculada a partir do Método das Perdas com dados teóricos foi mais alta. Para avaliar este impacto, a Fig. 4(b) e a Tab. 4 apresenta a mesma análise contudo substituindo a *Tec* empírica por *Tec* experimental exclusivamente no cálculo da *PMEe* a partir do Método das Perdas com dados teóricos. Notou-se, neste caso, que a variação entre os métodos caiu significativamente, comprovando que a variável de entrada *Tec* foi, possivelmente, o principal fator impactante no resultado final.

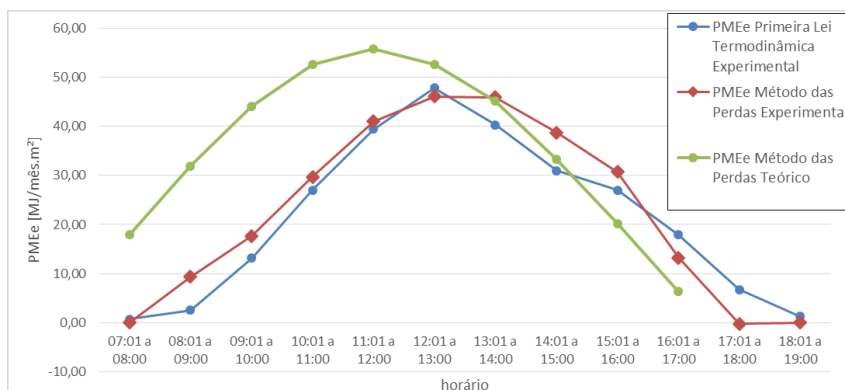


Figura 4(a) - *PMEe* .

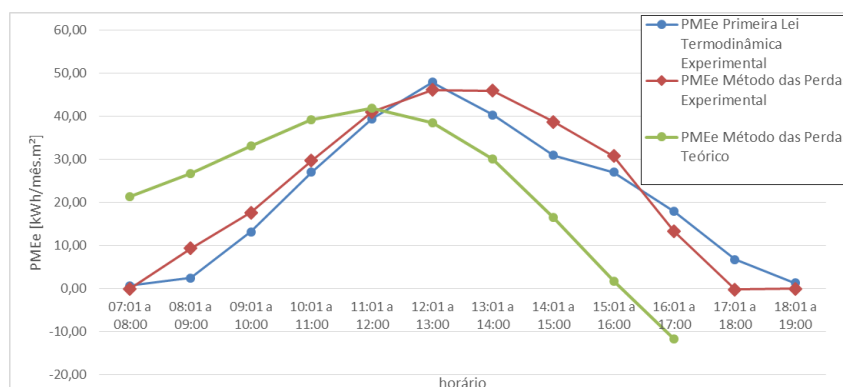


Figura 4(b) - *PMEe* com uso de *Tec* experimental em Método das Perdas Teórico.

Tabela 3 – *PMEe*.

Primeira Lei Termodinâmica Experimental	Método das Perdas Experimental	Método das Perdas Teórico
254,84 MJ/mês.m <sup>2</sup>	272,21 MJ/mês.m <sup>2</sup>	360,04 MJ/mês.m <sup>2</sup>
Erro Percentual Média Mensal	6,81%	41,28%

Tabela 4 – *PMEe* com uso de *Tec* experimental em Método das Perdas Teórico.

Primeira Lei Termodinâmica Experimental	Método das Perdas Teórico com <i>Tec</i> Experimental
254,84 MJ/mês.m <sup>2</sup>	237,29 MJ/mês.m <sup>2</sup>
Erro Percentual Média Mensal	-6,89%

Analisando as diferenças entre as estimativas teóricas e experimentais, a Fig. 5(a) e Tab. 5 apresentam os valores de *G* experimental e teórica em média horária mensal e média diária mensal, respectivamente. Notou-se, neste caso, que a variação entre os valores é pequena conferindo boa confiabilidade dos resultados.

A Fig. 5(b) e Tab. 6 apresentam uma avaliação comparativa entre *Tec* experimental e *Tec* empírica, baseada na Tab. 1. Neste caso, ao contrário dos valores de *G*, notou-se que a variação entre ambas é extremamente alta, impactando negativamente nos resultados da eficiência térmica e *PMEe* calculados a partir do Método das Perdas usando dados teóricos. Esta variação, neste caso, se deve ao fato da produção de energia térmica no mês em questão ser muito maior

que a demanda de energia térmica, fazendo com que as temperaturas de todo sistema de aquecimento solar se elevassem significativamente, inclusive  $T_{ec}$ .

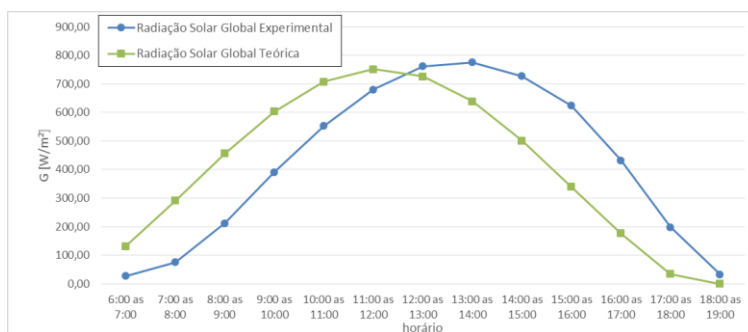


Figura 5(a) - Curvas de  $G$  experimental e teórica em média horária mensal

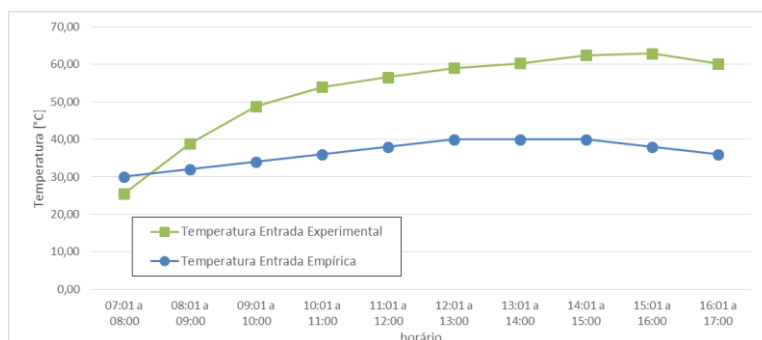


Figura 5(b) - Curvas de  $T_{ec}$  experimental e empírica em média horária mensal

Tabela 5 – Irradiação solar global em média diária mensal.

Experimental	Teórico
5.495,03 Wh/m <sup>2</sup>	5.359,01 Wh/m <sup>2</sup>
Erro Percentual Média Mensal	-2,48%

Tabela 6 – Temperatura de entrada média diária mensal.

Experimental	Teórico
51,71 °C	36,40 °C
Erro Percentual Médio	-29,61%

## 5. CONCLUSÃO

Com base na série de considerações e comparações apresentadas ao longo do trabalho, cabe destacar algumas das principais conclusões.

A diferença de temperatura entre  $T_{ec}$  e  $T_{sc}$  programada no controlador diferencial em sistemas bombeados tem importante impacto na quantidade de energia efetivamente armazenada no coletor. Para atenuar este fenômeno, a programação pode ser reduzida para diferenças de temperatura menores, melhorando o aproveitamento mensal sobretudo no início e término do dia. Além disso, para o método de cálculo da eficiência térmica pelo Método das Perdas aplicado aos dados teóricos, o método utilizado para determinação da  $T_{ec}$  precisa ser revisto no sentido de reduzir suas discrepâncias em relação aos valores experimentais.

As respectivas variações entre a  $PME$  e  $\eta$  calculadas a partir da Primeira Lei da Termodinâmica com dados experimentais e calculadas a partir do Método das Perdas também com dados experimentais foram relativamente pequenas demonstrando boa confiabilidade entre os métodos. A  $PME$  calculada a partir do Método das Perdas com dados teóricos pode também ser utilizada com confiabilidade, desde que os dados  $T_{ec}$  propostos representem melhor a realidade das condições de operação do sistema de aquecimento solar.

O modelamento matemático para cálculo de  $G$  teórico demonstrou ótima confiabilidade quando comparado a  $G$  experimental, abrindo assim um recurso a mais a ser aplicado em caso onde não é possível fazer a medição experimental da  $G$ .

Por fim, pode-se afirmar que, resguardados algumas aproximações discrepantes da  $T_{ec}$ , programação para desligar a bomba quando  $T_{ec}$  fosse maior que 70°C e do funcionamento intermitente da bomba no início e término dos

dias, os métodos de estimativas conseguiram reproduzir com boa precisão as demais condições de operação do sistema de aquecimento. Apesar disso, é preciso destacar que trata-se de uma análise de apenas 1 mês e que portanto, pretende-se dar continuidade a este tema incorporando dados experimentais equivalente ao período de 1 ano de monitoração, realizando assim uma análise mais profunda e de longo prazo em diferentes estações do ano.

## REFERÊNCIAS

- Ammari, H.D., Nimir, Y.L., Experimental and theoretical evaluation of the performance of a tar solar water heater. *Energy Conversion and Management*, v. 44, pp. 3037–3055, 2003.
- Ananth, J., Jaisankar, S., Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of thermosyphon solar water heating system fitted with regularly spaced twisted tape with rod and spacer. *Energy Conversion and Management*, v. 73, pp. 207–213, 2013.
- Fischer, S., Heidemann, W., Müller-Steinhagen, H., Perers, B., Bergquist, P., Hellström, B., Collector test method under quasi-dynamic conditions according to the European Standard EN 12975-2. *Solar Energy*, v. 76, pp. 117–123, 2004.
- García, A., Martín, R.H., Pérez-García, J., Experimental study of heat transfer enhancement in a flat-plate solar water collector with wire-coil inserts. *Applied Thermal Engineering*, v. 61, pp. 461–468, 2013.
- Hussein, H.M.S., Mohamad, M.A., El-Asfour, A.S., Transient investigation of a thermosyphon flat-plate solar collector. *Applied Thermal Engineering*, v. 19, pp. 789–800, 1999.
- Jaisankar, S., Radhakrishnan, T.K., Sheeba, K.N., Suresh, S., Experimental investigation of heat transfer and friction factor characteristics of thermosyphon solar water heater system fitted with spacer at the trailing edge of Left–Right twisted tapes. *Energy Conversion and Management*, v. 50, pp. 2638–2649, 2009.
- Kalogirou, S.A., Design, construction, performance evaluation and economic analysis of an integrated collector storage system. *Renewable Energy*, v. 12, pp. 179–192, 1997.
- Khalifa, A.-J.N., Thermal performance of locally made flat plate solar collectors used as part of a domestic hot water system. *Energy Conversion and Management*, v. 40, pp. 1825–1833, 1999.
- Taherian, H., Rezaei, A., Sadeghi, S., Ganji, D.D., Experimental validation of dynamic simulation of the flat plate collector in a closed thermosyphon solar water heater. *Energy Conversion and Management*, v. 52, pp. 301–307, 2011.
- Wojcicki, D.J., The application of the Typical Day Concept in flat plate solar collector models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 49, pp. 968–974, 2015.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons.
- Benett, I. , Monthly Maps of Mean Daily Insolation for th United States, *Solar Energy*, 1965.
- Collares – Pereira, M., Rabl, A. The average Distribution of Solar Radiation – Correlations between Diffuse and Hemispherical and between Daily and Hourly Insolation, *Solar Energy*, V.22, p. 155, 1979.
- DNMET, Normais Climatológicas: 1961 – 1990, Brasília 1992.
- Guimarães, A. P.C., Estudo Solarimétrico com Base na Definição de Mês Padrão e Sequência de Radiação Diária, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, UFMG, 1995.
- Liu, B.H., Jordan, R. C. The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation, *Solar Energy*, V.4, N3 1960.
- ABNT – NBR 15.569 - Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e Instalação
- ASHARE – Active Solar Heating Systems Design Manual – ASHARAE (1988)

## COMPARATIVE ANALYSIS METHODS FOR CALCULATION PRODUCTION MONTHLY ENERGY SOLAR COLLECTORS

**Abstract.** *Currently, the application of solar thermal energy for water heating is a technical and economically viable solution that permits the reduction of electricity consumption from residential and commercial sectors in Brazil. So, new methodologies to evaluate the useful thermal energy produced by the solar collectors and determine their efficiency in hot water production. This paper intends to contribute to this aim developing a comparative analysis for monthly production of thermal energy in solar collectors for operating conditions. Therefore, experimental and theoretical data from different models were applied to determine the monthly energy production. The methodology consists in monitoring a domestic solar hot water system in operation and, based on the experimental data, it is calculated and compared each other the production of useful thermal energy. The analysis was done based on the energy balance (First Law of Thermodynamics) and the Heat Losses Method. Moreover, as the global solar radiation incident on the solar flat plate collector plan was monitored, it was also compared with theoretical model. The application shows good results in most of cases, but presented some inconveniences in certain situations as highlighted on paper.*

**Keywords:** *Solar Thermal Energy, Flat Plate Solar Collector, Thermal Energy Efficiency*