

## CONCEÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO: TÉRMICO E ELÉTRICO

### Resumo

*O rendimento dos painéis fotovoltaicos decresce com o aumento da temperatura de funcionamento, aspeto particularmente relevante em locais onde a temperatura diária máxima atinge temperaturas elevadas, como é o caso de Portugal. Este facto tem implicações no dimensionamento de um painel fotovoltaico, desde a fase de projeto no cálculo das correntes e tensões de operação dos equipamentos a jusante do painel, até à sua operação, com influência relevante nas condições económicas de exploração. Um rendimento elétrico inferior implica mais tempo para amortizar o painel, resultando num projeto de investimento menos atrativo.*

*Este estudo propõe a conceção de um sistema de arrefecimento térmico do painel, com base na circulação forçada de água, sendo apresentados benefícios que justificam a sua exploração.*

*A utilização do princípio de extração do calor pode ser integrada com sistemas de aquecimento de águas (painéis solares) existentes nos edifícios, permitindo diluir os custos da solução e aumentar o rendimento global elétrico e térmico através de um pré-aquecimento.*

### Palavras-chave:

Arrefecimento do painel. Painel Híbrido Térmico/Elétrico (PHTE). Permutador de calor. Rendimento do painel.

### 1. Introdução

A preocupação com o meio ambiente e com a sustentabilidade do planeta encaminham a produção da energia para a busca de fontes de energias renováveis, que,

registaram um considerável aumento nos últimos anos. Dentro destas energias de menor impacto ambiental, destaca-se a energia solar, por ser uma fonte limpa, abundante e inesgotável. A energia proveniente do sol pode ser utilizada de diversas maneiras, é o caso da produção direta de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos (FV) e a produção de energia térmica, devido ao calor produzido pela radiação solar [1].

O rendimento do painel FV varia de acordo com a temperatura do painel, o ângulo de inclinação do painel em relação ao chão, a limpeza da face exposta à luz solar e a radiação solar incidente no painel. O fator mais relevante e que tem maior impacto no rendimento do painel FV é a temperatura a que o painel PV está sujeito [2].

Nos dias em que a temperatura regista valores maiores, o painel pode atingir 60°C a 80°C. Estima-se que por cada grau acima de 25º celsius haja uma perda de 0,45% de rendimento elétrico do painel [3]. Assim, para  $T = 60^{\circ}\text{C}$  existe uma perda de 15,75% no rendimento do painel FV. Isto deve-se ao facto de as células fotovoltaicas serem constituídas por cristais semicondutores, sendo materiais bastante sensíveis à temperatura [4], o que vai alterar tanto a corrente de curto-circuito, como a tensão em circuito aberto.

O presente trabalho desenvolve e analisa um sistema híbrido térmico/elétrico na tentativa de obter um aumento da potencia produzida pelo painel pela sua diminuição da temperatura de funcionamento. Partindo do funcionamento de um painel FV comum, é aplicado a este uma estrutura que lhe permite um constante arrefecimento durante o seu tempo de funcionamento.

## 2. Conceção do painel híbrido

Para este projeto foi utilizado o painel fotovoltaico BP585U com potência máxima de 85 W, tensão e intensidade de corrente para a potência máxima, respetivamente, de 18,0 V e 4,72 A, valores em condições STC - *Standard Test Conditions*. O rendimento deste painel é naturalmente afetado pelas condições climáticas [5], as suas características elétricas relativas à tensão e corrente variam com a temperatura de acordo com as curvas apresentadas na Fig. 1.

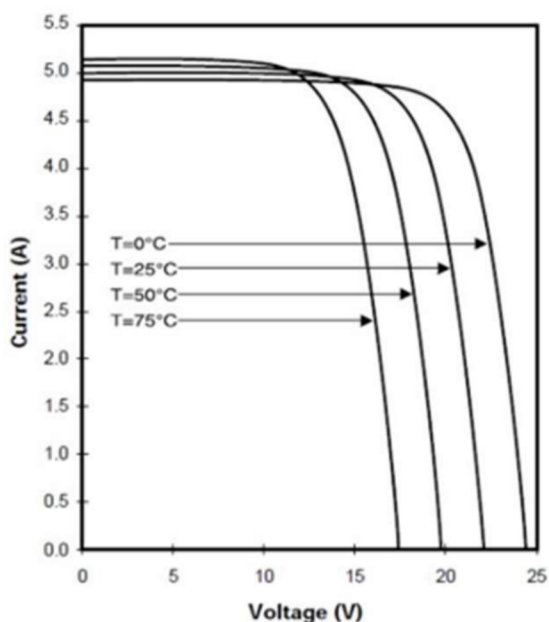


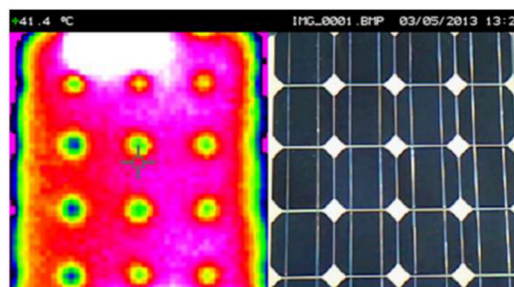
Fig. 1- Curvas de Tensão e Corrente do painel BP585U

De modo a criar uma estrutura de arrefecimento de raiz, a estrutura física do painel FV foi rearranjada para o adaptar à estrutura do Painel Híbrido Térmico/Elétrico (PHTE), tentando maximizar a área de contacto com o painel FV e, conseqüentemente, a transferência de calor. A área de contacto e a transferência de calor são diretamente proporcionais [6], de acordo com a equação (1):

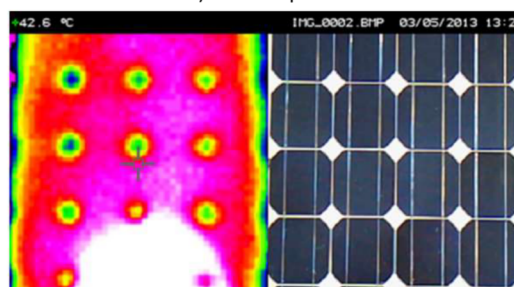
$$qk = -K * A * \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Com base neste critério, foram analisadas as dimensões do painel assim como a distribuição de calor ao longo da sua superfície.

Como se pode observar na Fig. 2, a distribuição de calor na superfície do painel fotovoltaico é relativamente uniforme, existindo um ponto mais quente na parte superior e outro na parte inferior, que foram tidos em consideração na construção do PHTE.



a) Parte superior



b) Parte inferior

Fig. 2- Distribuição de calor no painel FV

A aplicação deste estudo levou à conceção de um permutador de calor, com a estrutura da Fig. 3.

O protótipo consiste na sobreposição de uma placa de alumínio e acrílico separadas por um espaço de 7,5 mm por onde o fluido de arrefecimento irá circular, de acordo com o esquema da Fig. 4.

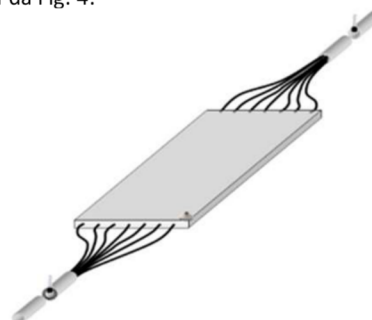


Fig. 3- Protótipo do PHTE

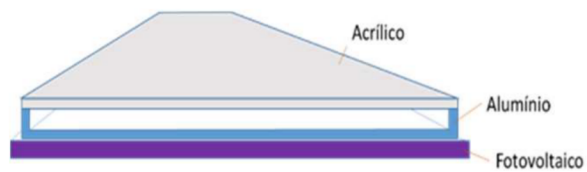


Fig. 4 - Configuração genérica do PHTE

A placa de alumínio será a que vai estar em contato com o painel, onde foram fixadas barras, também elas de alumínio, para se obter uma distribuição mais uniforme do fluido. Com isto tenta-se eliminar a formação de zonas críticas, isto é, zonas de formação de “remoinhos” nos vértices do PHTE, aumentando assim a uniformização da transferência de calor do painel FV com o PHTE.

O cálculo da potência térmica,  $Q$  (em W) é dado pela equação (2), tendo como variáveis o caudal  $m$  (l/s), a constante de condutividade térmica do fluido,  $C_p$  (J/Kg°C) e pela diferença de temperatura do fluido  $\Delta T$  (°C).

$$Q = m * C_p * \Delta T \quad (2)$$

Neste caso, interessa medir a temperatura de entrada e de saída,  $T_{in}$  e  $T_{out}$  ou seja o valor de  $\Delta T$ .

Para tal, foi feito um furo com um diâmetro ligeiramente superior ao diâmetro que o sensor de temperatura LM35 ocupa, sendo o sensor introduzido até meio do tubo e vedado o que restava do furo.

O sistema baseia-se na circulação forçada de água através da estrutura do PHTE.

A água é armazenada num recipiente e, com uma bomba, é bombeada para o interior do PHTE, entrando pela base. Após percorrer o PHTE, a água sai pelo topo, sendo devolvida ao mesmo, tornando-se assim um ciclo fechado, visualizado na Fig. 5.

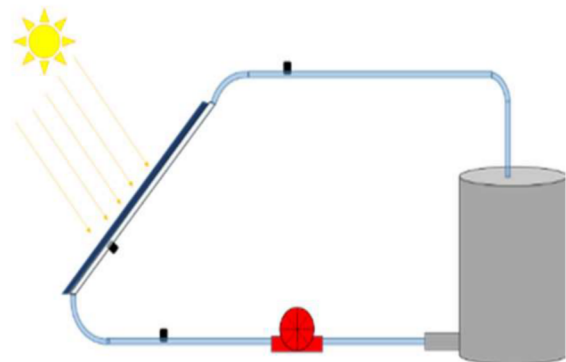


Fig. 5 - Esquema de funcionamento do PHTE

### 3. Análise dos resultados obtidos

Em relação à temperatura do painel FV é de salientar que, tal como os resultados obtidos assim o demonstram na Fig. 6, a tensão está diretamente relacionada com a temperatura: aumenta com a diminuição da temperatura, para uma radiação constante.

Note-se ainda que no “Ponto 1” da Fig. 6 é visível o início do arrefecimento do painel FV.

A Fig. 7 apresenta variação das temperaturas da água, à saída e à entrada, assim como a temperatura do painel e sua evolução ao longo do processo de arrefecimento do PV.

O “Ponto 2” representa a entrada de água no PHTE. O decréscimo da temperatura deve-se ao facto de que a temperatura da água está relativamente inferior a temperatura ambiente.

O “Ponto 3” representa a saída da água do PHTE. O pico de temperatura deve-se ao facto da temperatura do painel estar ainda muito elevada. Quando os valores se tornam constantes, observar-se que a temperatura da água à saída é quase igual à temperatura do PV.

Para cálculo da potência térmica, utilizam-se os valores de temperatura quando estes são constantes.

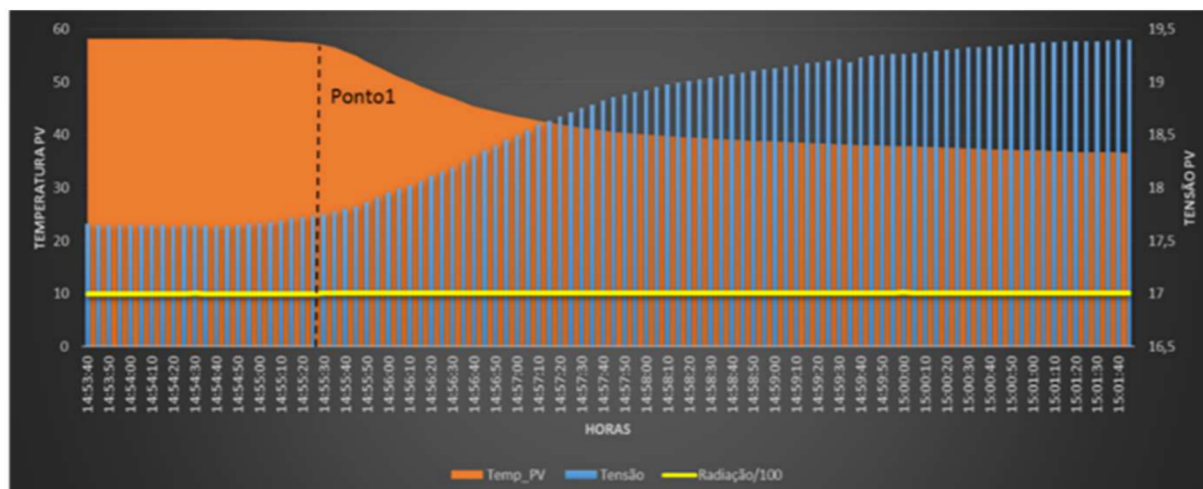


Fig. 6 - Relação entre Temperatura do PV e Tensão



Fig. 7- Temperatura da água à entrada e saída do PHTE

Para uma melhor percepção da evolução da potência do painel PV com a aplicação do sistema proposto, foram efetuadas medições com o sistema de arrefecimento em funcionamento assim como medições com o sistema de arrefecimento desativado, as curvas obtidas estão presentes na Fig. 8. É visível que a potência máxima obtida pelo painel, sem arrefecimento, com uma radiação constante de 1100 W/m<sup>2</sup> foi cerca de 66W. Isto significa que, de acordo com a equação (3), perde-se cerca de 22% da potência máxima do painel PV.

De acordo com a equação (4), o rendimento elétrico para a potencia de 66W é cerca de 12%.

$$Perda\ Pot.\ max = \frac{Pot.\ max\ do\ PV - Pot.\ max\ obtida}{Pot.\ max\ do\ PV} \quad (3)$$

$$\eta_{elétrico} = \frac{Pot.\ max\ obtida}{Radiação * S} \quad (4)$$

Após o arrefecimento, com o mesmo nível de radiação, o PV debitava cerca de 78 W, estando-se a perder cerca de 8% da potência máxima.

O rendimento elétrico para esta potência é então cerca de 14%.

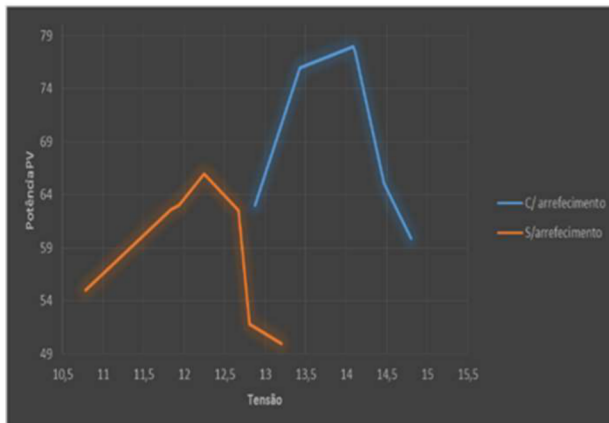


Fig. 8 - Potencia do painel, com e sem arrefecimento

Após os valores da temperatura do painel FV estabilizarem, procedeu-se ao cálculo da potência térmica, tendo sido registados as temperaturas da água:  $T_{in} = 36,59 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $T_{out} = 37,11 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Novamente, com a utilização da equação (1), verifica-se que o valor da potência térmica é de 152,4 W. De acordo com a equação (4), o rendimento térmico para esta potência é de 28%.

Na interpretação e análise dos dados foi possível verificar uma diminuição da temperatura do painel FV e, simultaneamente, um aumento de tensão em circuito aberto, de acordo com o que seria previsto.

Com este aumento de tensão verifica-se um aumento na potência produzida do painel FV, garantindo assim um efetivo aumento do seu rendimento.

#### 4. Análise financeira do PHTE

Para a análise financeira foi elaborado um processo de comparação de custos de investimento versus benefícios. O custo total do equipamento descrito tem um custo aproximado de 73,85€ com IVA (ou 60€, sem IVA), com um desconto comercial de 10% o custo final do PHTE fixou-se em 54,58€.

Foi visto anteriormente nos dados obtidos em ensaio que o painel não arrefecido (situação de uma instalação típica) produz uma potência elétrica de 66W e, quando aplicado o arrefecimento com o PHTE, a produção elétrica aumenta para 78W, correspondendo a um aumento de 15% na potência do painel.

No entanto, o ganho deste modelo não se reduz à potência elétrica. Os dados obtidos com a utilização do LABview indicam que a potência térmica ganha na transferência de calor do painel para a água foi de  $Q = 152\text{W}$ . O motor colocado para fazer fluir a água consome 49,5W, os quais se subtraem à potência ganha.

Os dados de radiação solar [7] permitem saber que, no local onde o painel foi colocado, o valor de radiação médio tem duração aproximada de 4 horas por dia e cerca de 120 dias por ano. Tendo em conta as condições referidas, podemos afirmar que a potência ganha no final de um ano é 54.960 W. Considerando um preço da energia de 0,1386 €/kWh, o retorno do investimento seria garantido entre o 7º e o 8º ano após o investimento no equipamento.

#### 5. Conclusão

Perante os resultados técnicos e económicos obtidos na elaboração do projeto, podemos afirmar que o PHTE é eficaz e viável. O rendimento elétrico do painel FV aumenta e o PHTE assegura o seu aproveitamento térmico.

Em relação à potência térmica  $Q$ , a análise dos dados mostra uma diferença de temperaturas na água de entrada e de saída do PHTE, que se traduz num aproveitamento térmico da temperatura do painel FV. Esta diferença de temperaturas é mais evidente no primeiro minuto de funcionamento do sistema, devido às elevadas temperaturas em que o painel se encontra.

Em termos económicos, o PHTE é um projeto rentável a partir de um determinado período de tempo, para as condições médias do local de ensaio, conseguindo assegurar a totalidade do investimento realizado.

## Referências

- [1] T.T.Chow, "A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology," Applied Energy, Elsevier, vol. 87, n.º 2, pp. 365-379, fevereiro 2010.
- [2] Feature Reports: Solar, an Energy of the Future, "The Two Types of Solar Energy, Photovoltaic and Thermal," 24 dec 2014. [Online]. Available: <https://www.planete-energies.com/en/medias/close/two-types-solar-energy-photovoltaic-and-thermal>. [Acedido em 2018].
- [3] N. Enteria, H. Yoshino, A. Satake, A. Mochida, R. Takaki, R. Yoshie e S. Baba, "Corrigendum to Development and construction of the novel solar thermal desiccant cooling system incorporating hot water production," Applied Energy, Elsevier, vol. 87, n.º 2, pp. 478-486, february 2010.
- [4] N. Ribeiro, "Análise de Sistema Híbrido Solar: Fotovoltaico e Térmico," Brasil, 2016.
- [5] Solarterra – Soluções em Energia Alternativa, "Energia Solar Fotovoltaica, Guia Prático," SolarTerra, S. Paulo.
- [6] A. Chapman, Fundamentals of Heat Transfer, University of Michigan: Macmillan, 1987.
- [7] A. Cavaco, H. Silva, P. Canhoto, S. Neves, J. Neto e M. Pereira, "Radiação Solar Global em Portugal e a sua variabilidade mensal e anual," IPES - Instituto Português de Energia Solar, 2016.

## Divulgação:

