

DIMENSIONAMENTO DE UM TROCADOR DE CALOR PARA UM PAINEL FOTOVOLTAICO

Matheus Oliveira Momolli¹

Jose Wagner Maciel Kaehler²

Adriano Roberto Carotenuto³

Resumo:

Painéis fotovoltaicos são elementos empregados em escala mundial, como forma de suprir a demanda de energia elétrica. O seu uso contribui também com o meio ambiente, pois trata-se de uma fonte renovável de energia. Geralmente, sua instalação é realizada em telhados de residências, como forma de melhor aproveitar a área útil. No entanto, um efeito colateral da exposição à radiação solar, é o excesso de aquecimento, o que implica em redução do rendimento do painel. Uma forma de transpor tal problema consiste no arrefecimento do painel usando ar ambiente. De forma avançada, o ar do arrefecimento, ao remover o calor do painel, pode ser levado à uma outra aplicação, como secagem de grãos ou aquecimento residencial. Para investigar isso, este trabalho traz como objetivo principal, o dimensionamento de um trocador de calor para um painel fotovoltaico, sendo a inspeção de variáveis envolvidas no fenômeno de transferência de calor, um dos objetivos específicos; além da elaboração de um desenho conceitual do trocador de calor, simulação numérica e melhora do trocador de calor através de averiguação mais profunda das variáveis. Como métodos, na respectiva ordem de apresentação dos objetivos, apropriou-se do equacionamento disposto na literatura da área e dados levantados pelo Grupo de Pesquisa de Exploração Integrada de Recursos Energéticos (Unipampa), modelando o trocador tal como um dissipador de calor para processadores de computador, através de cálculos em planilhas; já o desenho foi realizado em software CAD, permitindo tanto a observação dos acoplamentos necessários para casamento do trocador ao painel, quanto melhor adequando os cálculos à geometria, acedendo ainda à simulação numérica para verificação dos cálculos; para a melhora do trocador, gráficos conferem a influência da geometria e das condições do ambiente para a temperatura do painel. No que se refere aos resultados, as planilhas esclareceram, em teoria, a influência das variáveis sobre o trocador de calor e, portanto, sobre a temperatura do painel, indicando parâmetros geométricos relevantes para sua construção; para tornar melhor apreciável o conceito estabelecido, o desenho em software CAD foi realizado, confirmando também a viabilidade técnica de construção, enquanto a simulação convergiu com os cálculos realizados; como última etapa, o comprimento da aleta (componente do trocador de calor) e o coeficiente de convecção (atrelado ao ambiente) foram averiguados quanto à sua interferência na temperatura do painel.

Palavras-chave: energia, solar, fotovoltaico, transferência de calor.

Modalidade de Participação: Iniciação Científica

DIMENSIONAMENTO DE UM TROCADOR DE CALOR PARA UM PAINEL FOTOVOLTAICO

¹ Aluno de graduação. mm.oliveira1993@gmail.com. Autor principal

² Docente. josekaehler@unipampa.edu.br. Orientador

³ Docente. adrianocarotenuto@unipampa.edu.br. Co-orientador

DIMENSIONAMENTO DE UM TROCADOR DE CALOR PARA UM PAINEL FOTOVOLTAICO

1 INTRODUÇÃO

A indispensabilidade da incidência solar sobre painéis fotovoltaicos (PVs), induz sua instalação em telhados de residências. No entanto, a saturação destes espaços em zona urbana já é prevista (RUHANG, 2016), voltando à utilização da área rural para tal fim. Assim, telhados em construções de área rural, tais como silos de secagem e armazenamento de arroz, por exemplo, são locais viáveis à produção fotovoltaica. Esses silos servem para armazenamento de grãos após a colheita. Secadores de grãos comumente se encontram junto à essas estruturas, incumbidos em eliminar parte da umidade das sementes através de ar aquecido, por meio da combustão de casca de arroz, lenha ou gás liquefeito de petróleo (GOMES; MAGALHÃES, 2004). Inerente à combustão, é elementar a emissão de particulados poluentes na atmosfera. Inferindo que, reduzindo a massa de combustível utilizada, menor será o custo de produção, proporcionalmente à emissão de poluentes (EL-SEBAII; SHALABYB, 2012).

Transcorre em paralelo o problema do superaquecimento dos PVs, como efeito colateral da radiação solar (DU, 2013), deteriorando o rendimento destes. Fabricantes de PVs, como Kyocera e Canadian, indicam que a temperatura operacional recomendada é de 25°C, enquanto dados do Grupo de Pesquisa de Exploração Integrada de Recursos Energéticos (GP-EIRE) em medições de campo (realizadas em 2016) verificaram temperaturas de 65°C em PVs em operação. Soluções já são exploradas em outros países (HAMID, 2014; PIERRICK, 2015), diferente do Brasil, logo, ações de pesquisa tecnológica, através de sistemas para integração da energia solar estão devidamente justificadas. Nesta direção, a aplicação em grande escala, como armazenagem de grãos poderia aportar energia complementar à manutenção do teor de umidade em silos armazenadores de grãos. Ou seja, arrefecendo os PVs com o ar ambiente, a soma dessa massa de ar à outra já aquecida por um combustível, sendo então direcionadas aos grãos.

Unido o contexto à proposta de solução, tem-se como objetivo geral o dimensionamento de um trocador de calor (TC) para arrefecimento de um PV. Para isso, foram definidos três objetivos específicos: 1) Inspeccionar variáveis envolvidas no fenômeno de transferência de calor em um PV; 2) Dimensionar uma geometria (TC), que propicie a redução da temperatura do PV; 3) Melhorar parâmetros do TC, através da averiguação das variáveis.

2 METODOLOGIA

A pesquisa usou dados do GP-EIRE, com respeito à uma instalação de PVs que, juntamente com a bibliografia, permitiram relacionar as variáveis dos fenômenos envolvidos, bem como direcionar o desenvolvimento da geometria do TC, a partir da assimilação com um dissipador de calor para processador, assumindo fluxo de calor unidirecional (normal à área coletora solar do painel – visto que a espessura é desprezível ante tal área) e convecção natural (sem uso de ventiladores). O TC foi dimensionado com interesse de que o fluido que cruza possa ser destinado a um processo secundário, por isso, o fluido ar foi usado.

Para as condições iniciais de dimensionamento, foi considerada a geometria do PV marca Kyocera, modelo KC40T, determinado pelo uso de uma trena, conferindo a área coletora (que recebe a radiação solar) e a área da base (parte inferior - que comporta o TC). Além disso, para o processo de inspeção de variáveis envolvidas, condições do ambiente foram determinadas pelos dados do GP-EIRE, permitindo que a potência térmica a ser dissipada pelo TC fosse estimada. Para melhor apresentar as condições iniciais, a Tabela 1 foi gerada.

Tabela 1 – Condições iniciais para análise.

Temperatura operacional desejada ao painel [°C]	<50
Temperatura do ar ambiente [°C]	20
Velocidade do vento [m/s]	1,2
Radiação solar [W/m²]	586,35

Fonte: do autor, 2018.

Neste mesmo processo, a implementação de planilhas comparou a temperatura do PV nos casos de: “arrefecimento sem TC”, “arrefecimento com uso de uma chapa de aço” e “arrefecimento com uso do TC (também confeccionado em aço)”, relacionando variáveis e demonstrando a influência do TC. As equações que permitiram este processo, por razões práticas, foram condensadas no quadro à direita da figura 1, com nomenclatura das variáveis no quadro à esquerda da mesma figura.

No que se refere propriamente ao processo de dimensionamento do TC, a condutividade térmica do aço foi definida em 55 W/m.°C, conforme Dias (2011), que é um material pouco favorável à transferência de calor (ÇENGEL; GHAJAR, 2009); porém, encontrado no mercado com um custo bastante viável. A resistência térmica de contato também foi contabilizada nas junções mecânicas, aproximado por 2,75e-4 m².°C/W (INCROPERA, 2008).

Componentes do PV limitaram a área de contato com o TC. Mesmo assim, no processo de dimensionamento, o espaçamento entre aletas foi pressuposto em 40mm e comprimento de 80mm. Para finalizar a etapa, a geometria do TC foi desenhada em software, para melhor apreciação do conjunto e, aproveitando o desenho, foi realizada uma simulação (também em software) da temperatura do conjunto com uso do TC.

Figura 1- Nomenclatura das variáveis (à esquerda) e equacionamento utilizado (à direita).

ΔT	Diferença de temperatura [°C]	$A_{aleta} = 2 w L_c$	(1)
$\dot{Q}$	Taxa de transferência de calor [W]	$h = 5.7 + 3.8 V$	(2)
η_{aleta}	Eficiência da aleta [%]	$L_c = L + t/2$	(3)
η_{global}	Eficiência do aletado [%]	$m = \sqrt{2 h/k t}$	(4)
A	Área em análise [m²]	$\dot{Q} = \frac{k A \Delta T}{t}$	(5)
A_c	Área das aletas em contato com a base do TC [m²]	$\dot{Q} = h A \Delta T$	(6)
A_t	Área total de troca de calor do aletado [m²]	$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{total}}$	(7)
A_{aleta}	Área da aleta molhada pelo fluido [m²]	$R_{cond} = \frac{t}{k A}$	(8)
h	Coefficiente de convecção combinada [W/m² °C]	$R_{conv} = \frac{1}{h A}$	(9)
k	Condutividade térmica [W/m °C]	$\eta_{aleta} = \frac{\tanh(m L_c)}{m L_c} \times 100$	(10)
L_c	Comprimento corrigido da aleta [m]	$\eta_{global} = 1 - \frac{N A_{aleta}}{A_t} \left(1 - \frac{\eta_{aleta}}{1 + \eta_{aleta} h A_{aleta} (R_{t,c}/A_c)} \right) \times 100$	(11)
m	Parâmetro físico-geométrico [m⁻¹]		
N	Número de aletas		
R_{cond}	Resistência térmica de condução [°C/W]		
R_{conv}	Resistência térmica de convecção [°C/W]		
$R_{t,c}$	Resistência térmica de contato [m² °C/W]		
R_{total}	Resistência térmica total [°C/W]		
t	Espessura [m]		
V	Velocidade do ar [m/s]		
w	Largura da aleta [m]		

Fonte: do autor, 2018.

No processo de melhoria do TC, foi determinado o comprimento adequado para as aletas, buscando um conjunto compacto, com eficiência razoável. A influência do coeficiente de convecção também foi investigada. Para isso, gráficos foram construídos a partir do processo iterativo com as planilhas, indicando os parâmetros construtivos mais apropriados.

3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

Com referência à inspeção de variáveis, os dados da Tabela 2 apresentam a configuração analisada, trazendo a medição da geometria, estimativa da potência térmica a ser dissipada pelo

TC e o coeficiente de convecção. Por conseguinte, a temperatura do painel nas condições da Tabela 1, sem o TC, foi verificada, sendo apresentada junto à resistência térmica total na Tabela 3. Verificando, portanto, que o painel está operando com temperatura elevada.

Tabela 2 - Configuração da situação analisada.

Potência térmica [W]	202
Área coletora solar PV [m ²]	0,3445
Área da base PV [m ²]	0,2414
Coeficiente de convecção [W/m ² .°C]	10,26

Fonte: do autor, 2018.

Tabela 3 – Condições do PV sem uso de TC.

Resistência térmica total [°C/W]	0,166
Temperatura PV [°C]	53,60

Fonte: do autor, 2018.

Com menção ao uso da chapa de aço, com área igual à base do PV, simplesmente apoiada sobre tal base, sob as mesmas configurações de situação (Tabela 2), a Tabela 4 foi construída.

Tabela 4 - Condições do PV com uso de chapa de aço.

Espessura da chapa [m]	6e-4
Resistência térmica total [°C/W]	0,1665
Temperatura PV [°C]	53,64

Fonte: do autor, 2018.

Pelo leve acréscimo da temperatura do PV, percebe-se que a chapa dificulta o arrefecimento. Devido a isso, foi averiguado o uso do aletado (mesma configuração da Tabela 2), composto pela chapa já relatada; porém, com aletas fixadas perpendicularmente em uma área de 15mm por largura de cada aleta. A existência de componentes na base do PV implicou em aletas de geometria de seção retangular, uniforme, sendo dez com largura de 480mm e outras cinco com largura de 260mm. Dados da averiguação foram compiladas na Tabela 5.

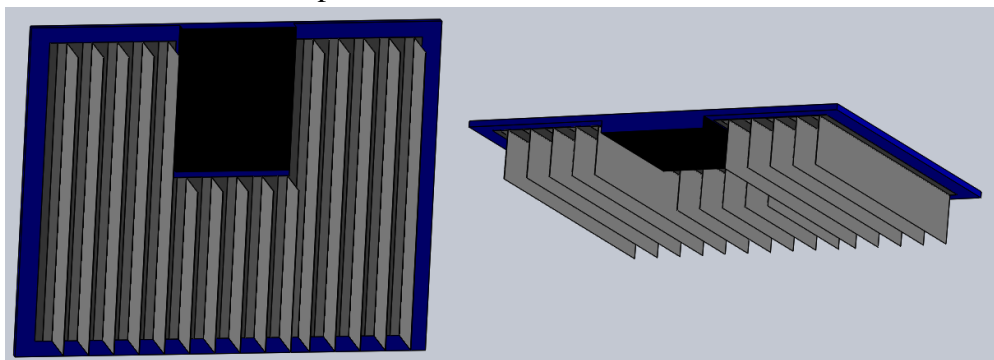
Tabela 5 - Condições PV com uso do TC.

Comprimento da aleta [m]	0,08
Área de contato chapa-aleta [m ²]	0,092
Área de aleta exposta ao ar [m ²]	0,976
Parâmetro m [m ⁻¹]	24,93
Área total do aletado [m ²]	1,126
Eficiência global [%]	54,4
Resistência térmica total [°C/W]	0,102
Temperatura PV[°C]	40,67

Fonte: do autor, 2018.

Verifica-se, que o TC incorre em um arrefecimento bastante apreciável do PV, chegando a cerca de 12 °C menor, quando comparado com o caso sem TC. Além disso, convém salientar que o arrefecimento se deu inteiramente por convecção natural. Na continuidade dos objetivos, a figura 2 apresenta o desenho feito em software para o TC, em duas perspectivas diferentes e fiéis à geometria caracterizada na Tabela 5. Nesta figura, é possível observar o PV (em azul), a caixa de diodos (componente do mesmo - em preto), a chapa e as quinze aletas com sua respectiva geometria. Aproveitando a simetria do conjunto, o resultado da simulação é apresentado na figura 3.

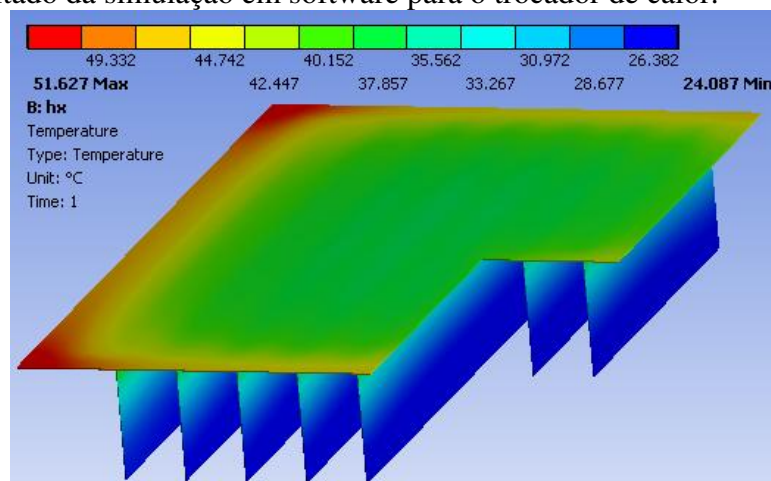
Figura 2 - Desenho em software para o trocador de calor.



Fonte: do autor, 2018.

Da figura 3, observa-se que a maior parte da região do PV está a 40°C, condizendo com os cálculos. A partir da metade do comprimento das aletas até suas extremidades, a temperatura se apresenta muito próxima à ambiente (20°C), denotando, portanto, pouca influência da transferência de calor nesta região.

Figura 3 – Resultado da simulação em software para o trocador de calor.

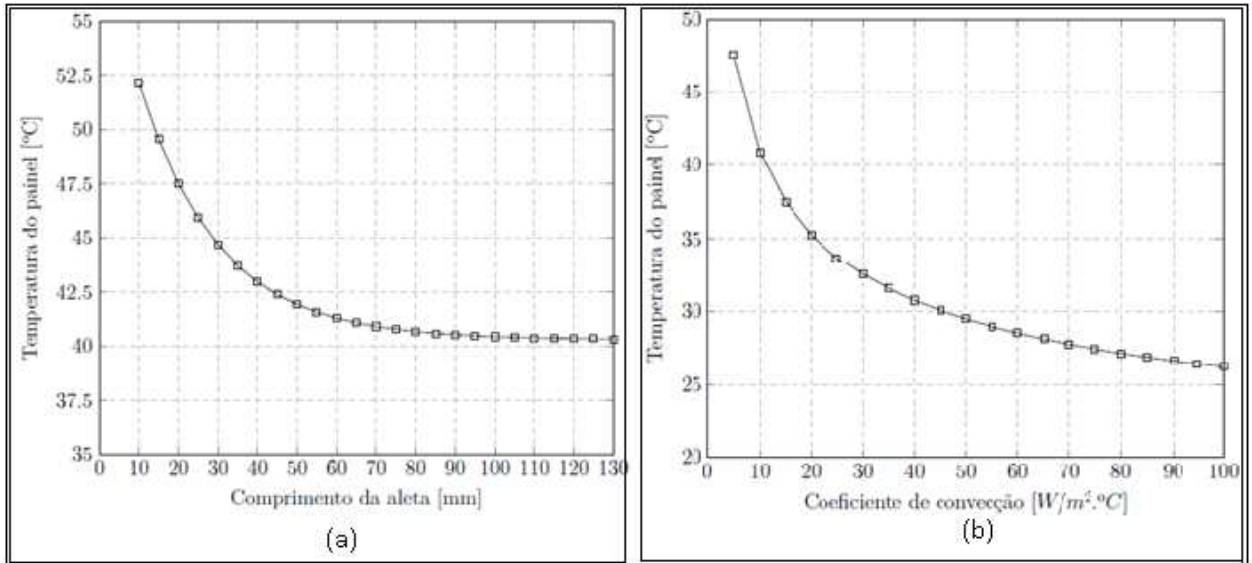


Fonte: do autor, 2018.

Quanto à melhora de parâmetros do TC, iniciando pela variação do comprimento da aleta, através do gráfico na figura 4-a, mostra-se a influência sobre a temperatura do PV. Notoriamente, comprimentos de aleta superiores a 60 mm colaboram pouco com o fenômeno. A razão é que, mesmo com aumento da área de contato com o ar, a diferença de temperatura em cada seção transversal ao longo das aletas é menor ao longo de sua extensão e por isso, o processo de transferência de calor se debilita na mesma proporção, chegando ao patamar de estabilidade que se apresenta na porção final da curva da figura 4-a.

O coeficiente de convecção também é um parâmetro que influencia o TC. Por isso, o gráfico na figura 4-b traz a temperatura do PV ante tal variação. Considerando que o processo de convecção natural se apresenta até aproximadamente 20W/m².C; nesse caso, é possível reduzir a temperatura do painel para 35°C, satisfazendo notavelmente. Valores maiores deste coeficiente implicam temperaturas do PV muito próximas das recomendadas pelos fabricantes. No entanto, o uso de ventiladores incide em um provável consumo insustentável de energia.

Figura 4 – Temperatura do painel versus comprimento da aleta (a) e versus coeficiente de convecção (b).



Fonte: do autor, 2018.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste trabalho, foram relacionadas variáveis do fenômeno de transferência de calor para o arrefecimento de um PV. No entanto, o viés ilustrativo foi realizado, apresentando a geometria e simulação do TC, validando os cálculos. Além disso, a investigação da influência do comprimento da aleta e do coeficiente de convecção certamente contribuem no dimensionamento do TC. No mais, ante os dados aqui expostos, é evidente que o TC cumpre sua função.

REFERÊNCIAS

- CENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. Porto Alegre, AMGH Editora, 2009.
- DIAS, A. da S. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas metálicas utilizadas em edificações estruturadas em aço**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.
- EL-SEBAIL, A. A.; SHALABY, S. M. Solar drying of agricultural products: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 37–43, 2012.
- GOMES, A. S.; MAGALHAES, A. M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004.
- HAMID, S. A. e. a. An overview of photovoltaic thermal combination (pv/t combi) technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 38, p. 212–222, 2014.
- INCROPERA, F. P. e. a. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- RUHANG, X. The restriction research for urban area building integrated grid-connected pv power generation potential. **Energy**, v. 113, p. 124–143, 2016.