

AVALIAÇÃO ELÉTRICA, TÉRMICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE PAINÉIS PV/T PARA ABASTECIMENTO RURAL NA REGIÃO DE PINHEIROS-ES

Amabile Valani Pessoti - avpessoti@gmail.com

Arthur Eduardo Alves Amorim

Arthur Monteiro Filho

Gustavo Alves Lima

Sara Stefanello Fischborn

Instituto Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus

4.7. PVT - Coletores e sistemas híbridos térmico-voltaicos: tecnologias e aplicações.

Resumo. Há uma necessidade crescente da exploração eficiente de fontes de energia mais limpas, sustentáveis e baratas. Uma fonte de grande potencial é a solar, cujo potencial de exploração ainda é pouco utilizado dadas as restrições tecnológicas. Dentre as técnicas de aproveitamento da energia solar, o uso de placas fotovoltaicas vem ganhando destaque tanto a nível industrial quanto comercial e residencial. Uma técnica que vem sendo pesquisada e que permite o melhor aproveitamento energético dos painéis fotovoltaicos é a associação com um fluido de arrefecimento, gerando painéis fotovoltaicos/térmicos. O fluido refrigera a célula fotovoltaica, permitindo que a placa opere com maior eficiência, enquanto o fluido de arrefecimento - normalmente água - pode ser usado como fonte de calor de baixa temperatura, aplicável ao consumo doméstico em banhos e piscinas, por exemplo. Nesse contexto, este trabalho visa analisar a implementação de painéis fotovoltaicos/térmicos em uma propriedade rural de Pinheiros-ES, avaliando o desempenho da placa solar nas condições do ambiente do ponto de vista térmico, elétrico e econômico. A modelagem da placa solar mostrou que em temperaturas mais altas, a placa opera com menor quantidade de refrigerante e menor eficiência térmica e elétrica. Analisou-se também como a eficiência da placa varia com a irradiância solar, sendo maior a eficiência quanto maior a incidência solar. Estimou-se para o estudo de caso o uso 190 painéis solares que geram água aquecida a 50°C com eficiências térmica e elétrica de 21,92% e 17,43%, respectivamente. A análise econômica mostrou que a aquisição de painéis para a propriedade é viável economicamente apenas caso a implementação custe abaixo de 192 mil reais, apresentando retorno financeiro de até 8 anos pelo payback simples ou 30 anos pelo payback descontado.

Palavras-chave: Painéis híbridos PV/T, Energia solar, Viabilidade econômica.

1. INTRODUÇÃO

Conforme o relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (2018), estima-se que as atividades humanas tenham causado cerca de 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais, com uma variação provável de 0,8°C a 1,2°C. Entende-se por atividades humanas aquelas básicas da vida diária, que estão diretamente relacionadas ao consumo de energia. Neste viés, a sustentabilidade vem recebendo atenção das grandes nações, entretanto, a queima de combustíveis fósseis como o carvão mineral, os derivados de petróleo e o gás natural ainda persistem na Matriz Elétrica Mundial, como evidente na Fig. 1(a). Ademais, no contexto nacional, a energia hidráulica é amplamente empregada, ilustrada pela Fig. 1(b). No entanto, sabe-se dos prejuízos inerentes das hidrelétricas, como o impacto ambiental e o deslocamento de comunidades das regiões.

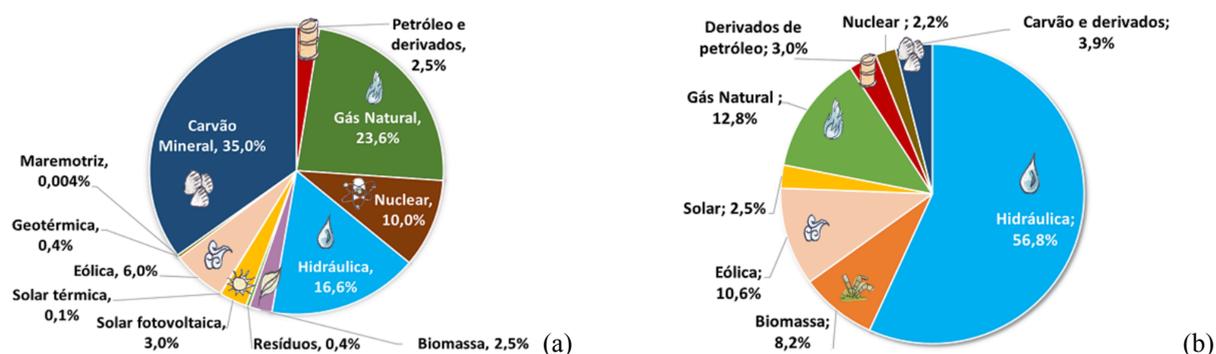


Figura 1 - Matriz elétrica mundial (a) e brasileira (b) de 2020.

Fonte: EPE (2023), adaptado.

Constata-se então que seria viável e preferível a disseminação de outra alternativa de geração de energia. Nesse contexto, a fonte solar entra em destaque, já que o Brasil é um país tropical, localizado próximo à Linha do Equador. A energia solar é considerada renovável, limpa e sustentável, sendo distribuída de maneira relativamente homogênea por todo o território nacional, e sua disponibilidade é virtualmente infinita.

Não obstante, surge uma problemática quanto à sua utilização: somente cerca de 14 a 22% da radiação solar dos painéis comercialmente disponíveis é transformada em energia elétrica e o restante da energia é refletida e convertida em calor, conforme Brakesley (2020). Além disso, seu aquecimento excessivo pode afetar negativamente seu desempenho, vida útil e eficiência.

Para contornar esse impasse, foi criado um sistema híbrido fotovoltaico/térmico (PV/T). Esse dispositivo desempenha a dupla função de produzir energia elétrica e térmica de forma simultânea, aproveitando uma única superfície do seu módulo. Essa concepção central se baseia na captura da energia solar, aproveitando o calor excedente gerado pelos módulos fotovoltaicos. Além disso, o calor removido é empregado para resfriar os próprios módulos, uma vez que o aumento da temperatura prejudica a eficiência das células fotovoltaicas.

É extensa a gama de aplicações dos recentes sistemas PV/Ts. O estudo de Lima (2021) aborda a integração de um PV/T em um sistema de poligeração composto por um grupo motor-gerador de combustão a gás natural e um *chiller* de absorção, atendendo à demanda térmica (vapor, água quente e água gelada) e provendo energia elétrica na agropecuária, polo de confecções, lavanderia e hotéis. Nesse sentido, influências como inclinação, orientação e vazão da água do coletor na potência elétrica e térmica do sistema foram avaliadas, sendo que os formatos inclinados elevaram o desempenho do sistema. Além disso, o PV/T acoplado à planta de poligeração forneceu um aumento de 2,5% na produção de energia elétrica e 4,41% na geração de vapor.

Diante dos fatos apresentados, o objetivo deste trabalho é avaliar como os parâmetros da região de Pinheiros-ES afetam o desempenho de um sistema fotovoltaico/térmico capaz de realizar o abastecimento elétrico de bombas de irrigação em uma propriedade rural em Pinheiros-ES, com aproveitamento de calor para consumo doméstico. Além disso, será analisada a viabilidade econômica da implantação dos painéis considerando um intervalo de valor investido, tendo como referência os indicadores de Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e *payback*, similar ao empregado em Camioto e Gomes (2018), Silva *et al.* (2021), Corteleti e Santos (2021) e Marini e Rossi (2005) na análise de viabilidade econômica de painéis fotovoltaicos.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização da região de análise e demanda

A planta de geração de energia elétrica avaliada neste trabalho visa suprir o consumo energético do sistema de bombeamento de uma propriedade rural situada em São João do Sobrado, distrito de Pinheiros-ES. A água bombeada é utilizada principalmente para irrigação de lavouras. O terreno analisado está representado pela Fig. 2, que apresenta cerca de 100.000 m² de área irrigada para cultivo de café.



Figura 2 - Propriedade analisada.

Conforme pode ser observado na Fig. 3, tem-se que na região de Pinheiros-ES a velocidade média do vento é de 4m/s, e a temperatura média no inverno é de 21 °C. Foi analisada a temperatura média no inverno, pois é nesse período em que o consumo térmico da residência torna-se significativo. A quantidade de energia solar que incide na região foi feita com base em dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023), tomando como referência o valor da radiação disponível para a cidade mais próxima (São Mateus-ES). Pelos dados obtidos, considerou-se a irradiação máxima do período de análise igual a 983,17 W/m². Tais dados são fundamentais para o dimensionamento dos painéis solares.

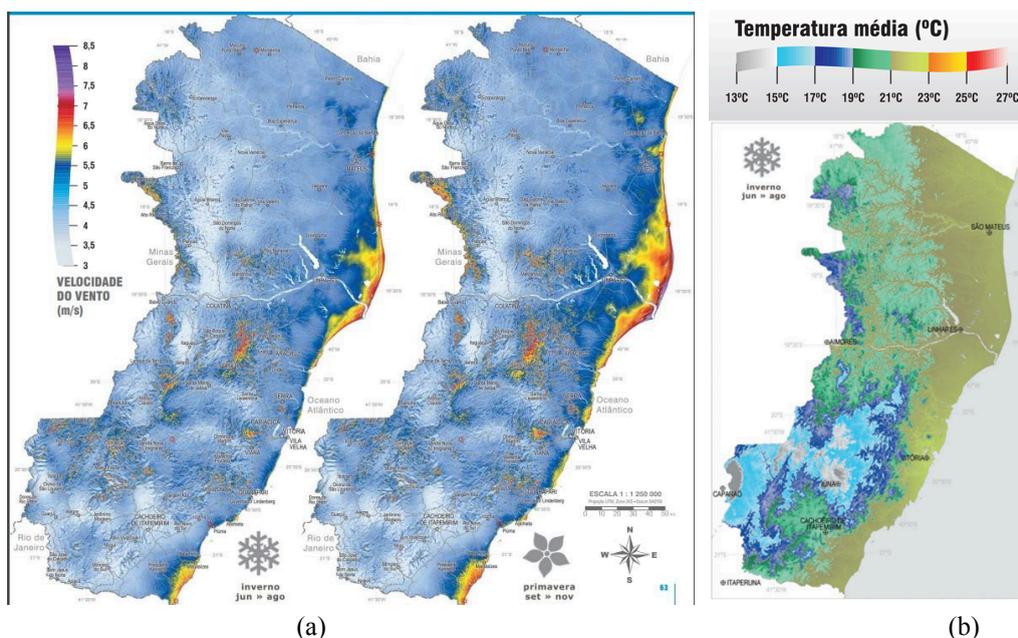


Figura 3 - Velocidade do vento (a) e temperatura média (b) no estado do Espírito Santo
 Fonte: Amarante (2009), adaptado.

Os dados de consumo elétrico do sistema de bombeamento foram coletados com os proprietários do imóvel e encontram-se na Fig. 4, correspondente ao período de fevereiro de 2021 a agosto de 2023. Houve um consumo mensal médio de 2777 kWh de energia elétrica, o que representou um gasto médio mensal de 2180 reais. Ignorando os gastos com tributos, as bombas de irrigação custam uma média de 1575 reais de consumo ativo de energia elétrica.

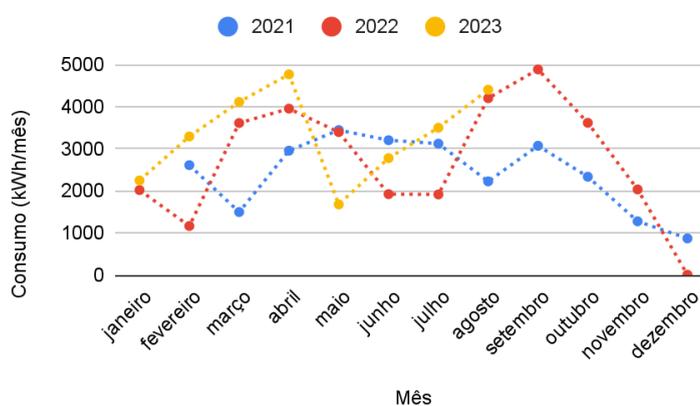


Figura 4 - Consumo mensal elétrico do sistema de bombeamento.

Analisando o consumo térmico, os moradores utilizam água aquecida, principalmente para banho. Na residência, há quatro moradores que tomam em média dois banhos ao dia de aproximadamente cinco minutos cada. Considerando a vazão média da água do chuveiro de 4 litros por minuto, estima-se que os residentes consumam 160 litros de água aquecida por dia. Com base na potência de 5500 W de um chuveiro elétrico comum, estima-se um consumo diário de 3,8 kWh que, pela tarifa vigente de 0,69813 reais/kWh, representa um gasto de cerca de 76,19 reais por mês.

2.2 Modelagem térmica do PV/T

O modelo do PV/T é desenvolvido pelo método de resistências térmicas na versão estudantil do *software* MATLAB 2023a. Os materiais que compõem o sistema deste artigo estão ilustrados na Fig. 5 e suas respectivas resistências térmicas na Fig. 6, referentes ao sistema proposto por Filho *et al.* (2021), autor do novo modelo de trocador de calor constituído de polipropileno corrugado.

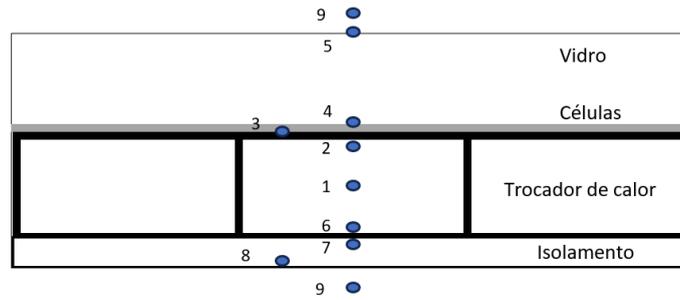


Figura 5 - Materiais do sistema PV/T dimensionado.

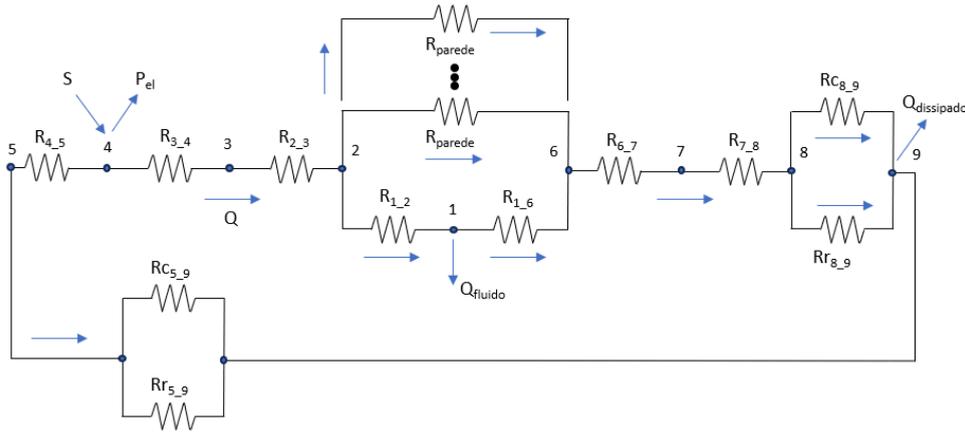


Figura 6 - Identificação das resistências térmicas do PV/T.

Considerando que o sistema dimensionado opera em regime permanente e possui condutividade térmica constante, com condições unidimensionais e sem fontes de energia distribuídos em seu interior, adotou-se a expressão de calor representada pela Eq. (1), fundamentada por Çengel e Ghajar (2012), em que k é a condutividade térmica do sistema e dT/dx é a temperatura distribuída em função de uma única coordenada.

$$\frac{d}{dx} \left(k \frac{dT}{dx} \right) = 0 \quad (1)$$

Conforme a Lei de Fourier, Lei de Resfriamento de Newton e Transferência de Calor por Radiação, Çengel e Ghajar (2012) formulam os meios de obtenção das resistências térmicas de condução, convecção e radiação de um material genérico pela Eq. (2), Eq. (3) e Eq. (4), em que E_g é a espessura de um material genérico, K_g a condutividade térmica, A_g a área e h_g e h_r os coeficientes de transferência de calor por convecção e radiação, respectivamente. Em posse das resistências, é possível encontrar o calor transferido em cada material do PV/T pela Eq. (5).

$$R_{cond} = \frac{E_g}{K_g A_g} \quad (2)$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h_g A_g} \quad (3)$$

$$R_{rad} = \frac{1}{h_r A_g} \quad (4)$$

$$Q = \frac{\delta T}{R} \quad (5)$$

Kalogirou (2016) formula uma correção da irradiação solar total pelo produto do coeficiente de transmissibilidade-absortividade e da área do vidro. Sob condições permanentes, realiza-se um balanço energético no

sistema em que fração do calor na célula é convertida em energia elétrica, ao passo que uma parte é perdida para a camada de vidro, enquanto o restante é transferido ao processo.

A temperatura do céu é estabelecida como uma relação empírica associada a variáveis meteorológicas medidas, representada pela Eq. (6) (Kalogirou, 2016). Sendo assim, o coeficiente de radiação é estimado conforme Eq. (7), bem como o coeficiente de convecção formulado conforme a velocidade do vento e o comprimento do módulo fotovoltaico na direção do vento na Eq. (8), admitindo que o coeficiente de convecção do sistema seja maior que 5 W/m²K. T₅ e T₁₁ representam a temperatura da superfície do vidro e do ambiente, respectivamente.

$$T_{c\acute{e}u} = 0,0552 (T_{11})^{1,5} \quad (6)$$

$$h_r = e_{cell} \alpha (T_5 + T_{11})(T_5^2 + T_{11}^2) \frac{T_5 - T_{c\acute{e}u}}{T_5 - T_{11}} \quad (7)$$

$$h_w = \frac{8,6 V^{0,6}}{1,8^{0,4}} \quad (8)$$

Conforme Nascimento (2022), partindo da potência elétrica do módulo, da taxa de calor do fluido de trabalho transportado, da radiação solar total que chega ao vidro e da área do coletor, obtém-se o aproveitamento global do sistema pela soma das eficiências elétrica e térmica, representadas pela Eq. (9) e Eq. (10).

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{G_t A_c} \quad (9)$$

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{G_t A_c} \quad (10)$$

2.3 Estimativa da quantidade de painéis solares

Conforme Rigueti (2022), o número de módulos fotovoltaicos pode ser calculada de acordo com a Eq. (11), em que P_{ref} é a potência máxima de operação do modelo do módulo utilizado e P_{pv} é a potência necessária para suprir o consumo elétrico diário da aplicação, dado pela Eq. (12).

$$N_{m\acute{o}dulos} = \frac{P_{pv}}{P_{ref}} \quad (11)$$

$$P_{pv} = \frac{E_{di\acute{a}ria}}{HSP \cdot TD} \quad (12)$$

Na Eq. (12), E_{diária} é a energia elétrica necessária diariamente, TD é a taxa de desempenho (adotada como 0,75, assim como em Rigueti (2022)) e HSP é o valor de horas de Sol produtivas (ou Horas de Sol a Pino). A TD é um parâmetro que incorpora no modelo a presença de fatores externos que diminuem a potência elétrica dos painéis solares estimada nos testes laboratoriais, como perdas de energia nos cabamentos, no inversor, sujidade, entre outros. O HSP representa a quantidade equivalente de horas nas condições de sol pleno (irradiação de 1 kW/m²) que produz a mesma insolação que a condição real na localidade especificada (Via *et al.*, 2021).

2.4 Análise econômica

A fim de analisar a viabilidade econômica da implantação dos painéis PV/T, avaliou-se a variação de indicadores econômicos conforme o valor a ser investido para identificar intervalos viáveis de investimento. Como indicadores econômicos, utilizou-se o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *payback* (simples e descontado), utilizados como indicadores em Camioto e Gomes (2018), Silva *et al.* (2021), Corteleti e Santos (2021) e Marini e Rossi (2005) na avaliação de sistemas fotovoltaicos.

O VPL pode ser definido como o valor equivalente no instante inicial de um fluxo de caixa de um projeto de investimento, calculado com base em uma taxa de expectativa (Roberto, 2017). Assim, em um investimento viável, o

VPL é positivo, o que significa que os recebimentos futuros, quando adaptados para o tempo presente, são superiores ao valor investido. A taxa de expectativa (ou taxa mínima de atratividade - TMA) é um ganho mínimo pretendido como rendimento pelo investidor, sendo comum o uso da taxa Selic (como apresentada em Camioto e Gomes (2018) e Corteleti e Santos (2021)), que se encontra a 13,15 %a.a. (Banco Central do Brasil, 2023). Assim, pode-se calcular o VPL como

$$VPL = Inv + \sum_{j=0}^n F_j / (1 + i)^j \quad (13)$$

em que Inv é o investimento inicial, F_j é o fluxo de caixa referente ao período j , i é a taxa de expectativa e n é o número de períodos observados (adotado como 30 anos neste trabalho, como utilizado em Camioto e Gomes (2018)).

A TIR associa-se diretamente ao VPL, e refere-se ao percentual efetivo de ganho do investimento. É calculada de forma iterativa como a taxa de juros que anularia o VPL (Roberto, 2017). Um investimento torna-se viável quando a TIR é maior do que a taxa de expectativa.

O *payback* mostra o menor período de tempo necessário para obter o retorno do capital investido. O cálculo do *payback* simples não considera a remuneração do capital, e pode ser realizado conforme Eq. (14), em que VG é o valor mensal ganho no período analisado. O *payback* descontado, por sua vez, considera a capitalização do investimento, e pode ser identificado como o período de tempo limite em que o VPL passaria de negativo a positivo (Roberto, 2017).

$$Ps = Inv/VG \quad (14)$$

No caso tratado neste artigo, será avaliado como os indicadores acima mencionados variam com o investimento inicial, definindo intervalos viáveis de investimento. Foi considerado como fluxo de caixa o ganho ao economizar com o consumo elétrico da planta de irrigação (2180,00 reais), subtraído da taxa mínima cobrada pela distribuidora (79,61 reais, referente à classe B-B2, e à tarifa vermelha - pior caso possível); acrescido da economia com o chuveiro elétrico de 76,19 reais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação térmica e elétrica

Tendo em vista a metodologia e os parâmetros de entrada propostos, os resultados simulados foram interpretados por gráficos conforme a variação de dados, como temperatura da célula e radiação solar incidente. O Fig. 7 indica o aumento progressivo das temperaturas dos materiais, uma vez que a temperatura da célula também aumenta.

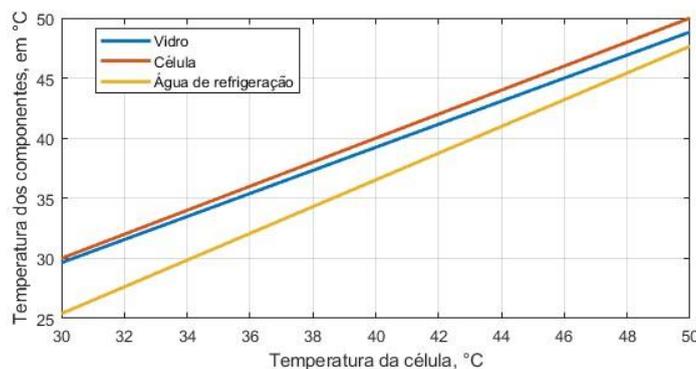


Figura 7 - Curvas de temperatura dos componentes em função da temperatura da célula.

A vazão mássica da água de arrefecimento e o volume de água quente acumulado por dia em cada PV/T são parâmetros que decaem com o aumento da temperatura do painel solar, como demonstram Fig. 8 e 9. A modelagem da placa solar mostrou que em temperaturas mais altas, a placa opera com menor quantidade de refrigerante.

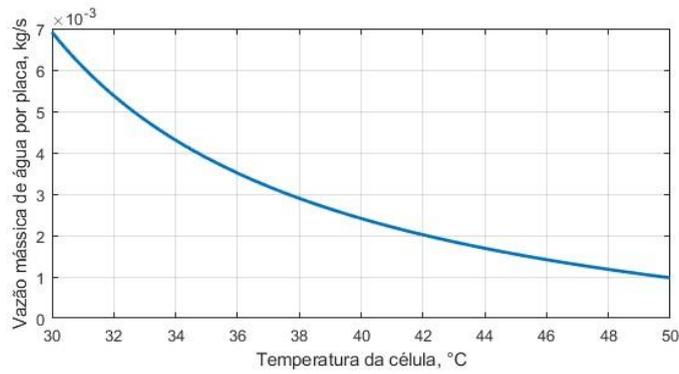


Figura 8 - Variação da vazão mássica de água por placa em relação à temperatura da célula.

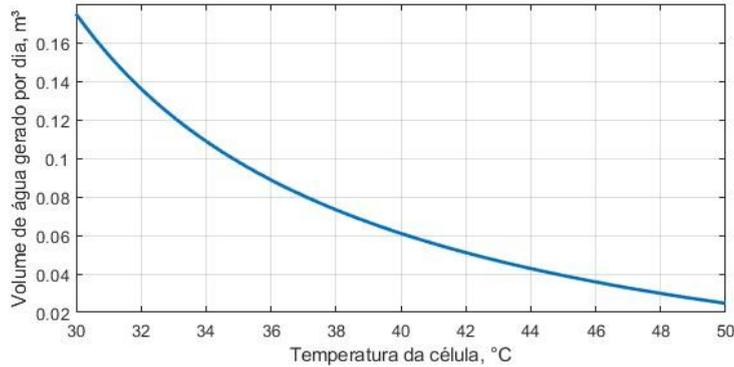


Figura 9 - Variação do volume de água gerado por dia em relação à temperatura da célula.

Comprovando o que se afirma na literatura sobre a redução da eficiência de painéis convencionais em função do aumento de sua temperatura, a Fig. 10 retrata a perda da potência elétrica gerada pela placa com seu aquecimento. Verifica-se também pela Fig. 11 que as curvas de eficiência elétrica e térmica decaem com a mesma análise, intensificando a necessidade da implementação dos sistemas híbridos PV/T.

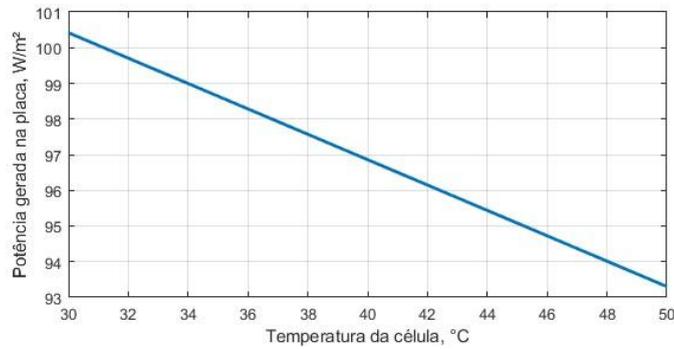


Figura 10 - Potência elétrica fornecida pelo painel solar em função da temperatura da célula.

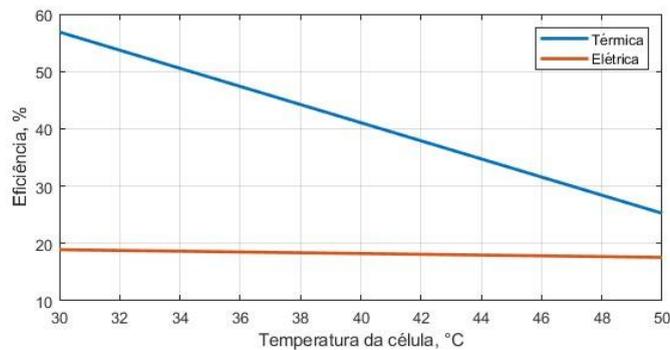


Figura 11 - Eficiência do sistema com a variação da temperatura da célula.

Além disso, a modelagem proposta revela graficamente que o aumento da radiação solar total incidente provoca um aumento em ambas as eficiências do sistema, conforme Fig. 12.

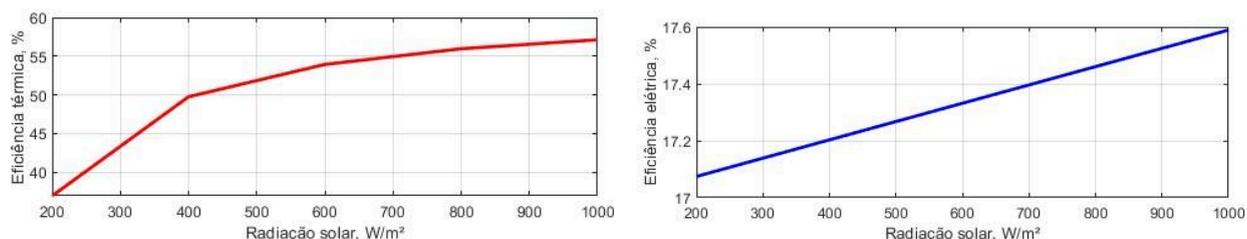


Figura 12 - Eficiência do PV/T em função da radiação solar total.

3.2 Estimativa da quantidade de painéis solares

Conforme Araújo (2018), observa-se que a coleta de água a 50°C é um procedimento comum em coletores solares residenciais. Além disso, conforme se nota dos gráficos da seção anterior, o consumo de água para arrefecimento das placas diminui com o aumento da temperatura do sistema. Uma vez que a aplicação tem pequena demanda de energia térmica, essa temperatura de coleta da água de arrefecimento das placas foi utilizada para o estudo de caso. Nessas condições, a placa solar tomada como referência neste trabalho operará na temperatura de 52,11°C com potência de $P_{ref} = 92,55 W$. Com base na demanda de energia elétrica de 2777 kWh por mês, encontra-se a demanda média diária de 92,57 kWh. Conforme dados do INMET, pôde-se estimar o HSP como 7,03 horas/dia.

Assim, aplicando as Eq. (11) e (12), encontra-se que são necessários 190 painéis solares para atender à demanda. Uma vez que a placa solar de referência possui 0,54 m² de área superficial, os painéis ocuparão uma área de cerca de 102,60 m². Quanto à demanda térmica, serão produzidos 0,15 kg/s de água aquecida, o equivalente a 3,80 m³ de água por dia. Essa quantidade é suficiente para atender à demanda e abre espaço para outras aplicações. No estudo de caso, os painéis PV/T operam com eficiência térmica de 21,92% e elétrica de 17,43%.

3.3 Análise econômica

Para os cálculos realizados, considerou-se um horizonte de 30 anos, com a TMA de 13,15% a.a., equivalente a cerca de 3,5% a.m.. Todos os cálculos realizados consideraram intervalos de tempo e taxas de juros mensais. A Fig. 13 mostra a variação do VPL com o investimento do capital, enquanto a Fig. 14 mostra a variação da TIR. Em ambos os gráficos, o investimento é viável caso o investimento seja menor do que aproximadamente 192 mil reais.

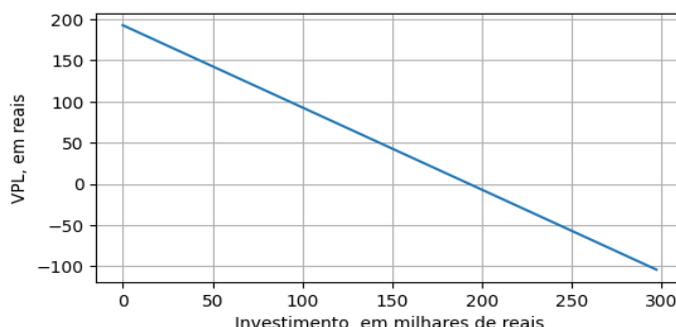


Figura 13 - Variação do VPL com o valor do investimento, considerando como TMA a taxa Selic no horizonte de 30 anos.

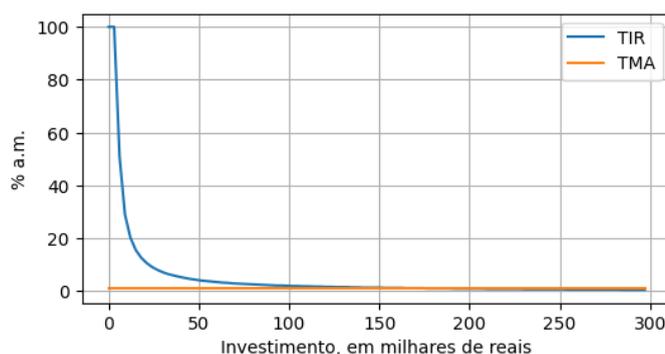


Figura 14 - Variação da TIR com o valor do investimento, considerando como TMA a taxa Selic no horizonte de 30 anos.

Note que, para investimentos excessivamente baixos, a TIR é muito alta. Esse comportamento se justifica, pois haveria um grande retorno dado um pequeno capital.

Por fim, o tempo de retorno pode ser estimado pela Fig. 15. Conforme o gráfico, vê-se que o retorno do valor investido situa-se no período entre 0 e 30 anos considerando o *payback* descontado, e em até cerca de 8 anos para o *payback* simples. Observe que, para valores próximos a 192 mil, o *payback* descontado tende a 30 anos, limite utilizado no VPL. Essa associação é coerente, pois próximo de 192 mil o investimento torna-se indiferente do ponto de vista econômico, e para maiores valores gastos se torna inviável pela análise do VPL e TIR realizada.

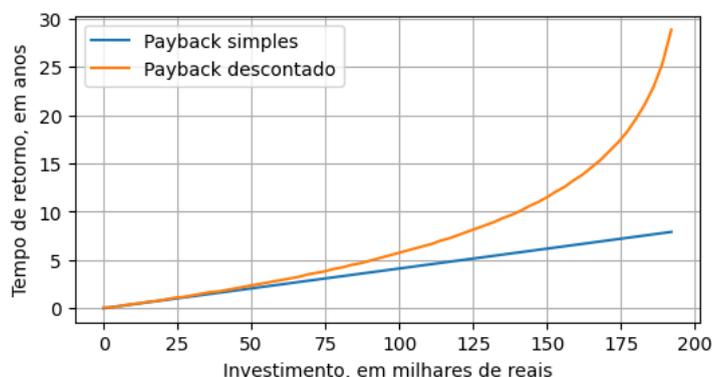


Figura 15 - Variação da *payback* com o valor do investimento, considerando como TMA a taxa Selic.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou o desempenho de um painel híbrido fotovoltaico/térmico considerando as características locais de uma propriedade rural em Pinheiros-ES. A análise realizada mostrou que, considerando que a placa atue entre 30 e 50°C, necessita-se de uma vazão mássica entre 1 e 7 g/s de água de arrefecimento, o que permite que a placa opere entre 93 e 100 W de potência, aproximadamente. O modelo implementado reproduz que a redução da temperatura da placa aumenta a potência gerada e a eficiência térmica e elétrica do painel, conceito observado na literatura. Estimou-se para o estudo de caso o uso 190 painéis solares que geram água aquecida a 50°C com eficiências térmica e elétrica de 21,92% e 17,43%, respectivamente. Além disso, a análise econômica revela que a implementação de um sistema PV/T é viável caso o valor investido para suprir a demanda esteja abaixo de 192 mil reais, o que geraria um *payback* de até 8 anos (*payback* simples) ou 30 anos (*payback* descontado).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro e institucional do IFES, CNPq e da Fundação de Apoio à Pesquisa do Espírito Santo – FAPES (projeto FAPES-2021-5N0G8).

REFERÊNCIAS

- Amarante, O. A. C. 2009. Atlas eólico: Espírito Santo. Vitória, ES: ASPE. 100p.
- Aquecimento Global de 1,5°C. impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e respectivas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça da mudança do clima, do desenvolvimento sustentável e dos esforços para erradicar a pobreza. Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas. Suíça, out. de 2018, p. 28.
- Araújo, L. O. Dimensionamento de um sistema de aquecimento solar para edifícios residenciais na cidade do Rio de Janeiro. 2018. Monografia (Bacharel em Engenharia mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2018.
- Banco Central do Brasil, 2023. Taxa de juros básicas - Histórico.
- Brakesley, J. C. et al., 2020. Accuracy, cost and sensitivity analysis of PV energy rating, vol. 203. Solar Energy.
- Camoto, F. C. C. Gomes, V. P. R. G., 2018. Análise de viabilidade econômica da implantação de um sistema de energia fotovoltaico nas residências uberabenses. Revista Produção Online.
- Cengel, Y. A., Ghajar, A. J. 2012. Heat and mass transfer: a practical approach. Porto Alegre: McGraw-Hill.
- Corteletti, G. M., Santos, A. C. 2021. Análise de viabilidade econômica para implantação de sistema fotovoltaico residencial na região de Vila Velha – ES. Em: Revista Produção Online (2021).
- EPE, 2023. Balanço energético nacional 2022, relatório final. Empresa de Pesquisa Energética EPE, Rio de Janeiro, <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 07 mai. 2023.

- Filho, V. C. P., Busson, B. O., Leyton, A. 2021. A new concept of hybrid solar collectors: Polymeric heat exchanger for photovoltaic panels. Em: International Solar Energy Society 437, p. 128371.
- Kalogirou, S. A. 2016. Solar energy engineering: processes and systems. Oxford: Elsevier.
- Lima, A. A. S., 2021. Análise energética de um sistema fotovoltaico/térmico e sua integração a uma unidade de poligeração. 171p. Tese de Doutorado - Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFPB, João Pessoa.
- Marini, J. A., Rossi, L. A. 2005. Sistematização do dimensionamento técnico e econômico de sistemas fotovoltaicos isolados por meio de programa computacional. Revista Engenharia Agrícola.
- Nascimento, V. F., Yahyaoui, U., Fiorotti, R., Amorim, A. E. A., Belisário, I. C. Abreu, C. E. S., Rocha, H. R. O., Tadeo, F. 2022. Dimensioning and efficiency evaluation of a hybrid photovoltaic thermal system in a tropical climate region. Sustainable Energy, Grids and Networks 32, p. 100954.
- Riguetti, R. S., 2022. Desenvolvimento de um método para dimensionamento de PV/T conforme perfil de consumo energético de uma edificação residencial, Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Mecânica, IFES, São Mateus.
- Roberto, V. L. 2017. Matemática Financeira e engenharia econômica. Blucher,
- Silva, I., Santos Neto, B. L. F., Fernandes, R. S., 2021. Dimensionamento e viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico: um estudo de caso na UFRA/Parauapebas. Revista Produção Online.
- Vian, A., Tahan, C. M. V., Aguiar, G. J. R., Gouvea, M. R., Gemignani, M. M. F., 2021. Energia Solar: Fundamentos Tecnologia e Aplicações, Editora Blucher.

ELECTRICAL, THERMAL, AND ECONOMIC ASSESSMENT OF THE IMPLEMENTATION OF PV/T PANELS FOR RURAL SUPPLY IN THE PINHEIROS-ES REGION

Abstract. *There is a growing need for the efficient exploration of cleaner, sustainable, and more affordable energy sources. One source with significant potential is solar energy, whose exploitation potential is still underutilized due to technological constraints. Among the solar energy harnessing techniques, the use of photovoltaic panels has gained prominence in both industrial and commercial as well as residential applications. A technique that is currently under research and allows for better energy utilization of photovoltaic panels is the combination with a cooling fluid, creating photovoltaic/thermal panels. The fluid cools the photovoltaic cell, enabling the panel to operate with higher efficiency, while the cooling fluid - typically water - can be used as a low-temperature heat source for domestic purposes, such as heating water for baths and swimming pools, for example. In this context, this study aims to analyze the implementation of photovoltaic/thermal panels on a rural property in Pinheiros, ES, evaluating the performance of the solar panel in the environmental conditions from thermal, electrical, and economic perspectives. The modeling of the solar panel showed that at higher temperatures, the panel operates with a lower amount of coolant and lower thermal and electrical efficiency. It was also analyzed how the panel's efficiency varies with solar irradiance, with greater efficiency occurring with higher solar incidence. For the case study, the use of 190 solar panels was estimated, generating water heated to 50°C with thermal and electrical efficiencies of 21.92% and 17.43%, respectively. The economic analysis revealed that the acquisition of panels for the property is economically viable only if the implementation costs are below 192,000 Brazilian reais, offering a financial return within 8 years through simple payback or 30 years through discounted payback.*

Keywords: Hybrid PV/T Panels, Solar Energy, Economic Feasibility.