XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8378

Efeito da limpeza de placas solares de aquecimento de água no consumo de energia de edifício localizado na cidade de São Paulo

Effect of cleaning solar water heating panels on energy consumption of a building located at city of São Paulo

Paulo José Schiavon Ara
Instituto de Pesquisas Tecnológicas | São Paulo | Brasil | pauloara@ipt.br
Daniel Setrak Sowmy
Instituto de Pesquisas Tecnológicas | São Paulo | Brasil | dss@ipt.br
Douglas Messina
Instituto de Pesquisas Tecnológicas | São Paulo | Brasil | dmessina@ipt.br
Flavio da Silva Ladeira
Instituto de Pesquisas Tecnológicas | São Paulo | Brasil | fladeira@ipt.br

Resumo

O uso de aquecimento solar de água em edificações está em crescimento no Brasil. Torna-se, portanto, necessário proporcionar a manutenção adequada dos sistemas. Neste contexto, o presente trabalho procura avaliar as consequências, no consumo de energia de um edifício, da limpeza dos vidros de cobertura dos coletores solares. Para isso, um aquecedor solar convencional foi deixado exposto na cobertura de uma edificação na cidade de São Paulo, durante 1 ano, permitindo-se o acúmulo de sujidades. Depois foi ensaiado experimentalmente nas condições de vidro sujo e limpo. A eficiência obtida nos testes foi utilizada para simular o consumo energético de 3 sistemas de aquecimento solar: pequeno porte (1 m^3), médio porte (5 m^3) e grande porte (10 m^3). Os resultados mostram que o ganho de eficiência do coletor é de aproximadamente 9% e que a consequente redução do consumo de energia para aquecimento de água é da ordem de 17%. Assim, o presente trabalho contribui ao analisar o efeito da limpeza das placas no contexto de uma grande cidade e ao evidenciar a importância da manutenção periódica em sistemas de aquecimento solar de água.

Palavras-chave: Aquecedor solar de água. Limpeza do coletor solar. Eficiência térmica. Demanda de energia.

Abstract

The use of solar water heating in buildings is growing in Brazil. Therefore, it is necessary to provide adequate maintenance of the systems. In this context, this work seeks to evaluate the consequences, on the energy consumption of a building, of cleaning the glass coverings of solar collectors. To this end, a conventional solar water heater was left exposed on the roof of a building in the city of São Paulo for one year, allowing dirt to accumulate. It was then experimentally tested under conditions of dirty and clean glass. The efficiency obtained in the tests was used to simulate the energy consumption of three solar heating systems: small (1 m³), medium (5 m³), and large (10 m³). The results show that the efficiency gain of the collector is approximately 9% and that the consequent reduction in energy consumption for water heating is on the order of 17%. Thus, this work contributes by analyzing the effect of cleaning the solar collectors in the context of a large city and by confirming the importance of periodic maintenance in solar water heating systems.

Keywords: Solar water heater. Solar collector cleaning. Thermal Efficiency. Energy demand.

ARA, P. J. S.; SOWMY, D. S.; MESSINA, D.; LADEIRA, F. S. Efeito da limpeza de placas solares de aquecimento de água no consumo de energia do edifício: um estudo baseado em dados experimentais para a cidade de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8378

INTRODUÇÃO

Os esforços na direção da sustentabilidade no ambiente construído passam necessariamente pela atenção ao consumo energético dos edifícios. De fato, apenas o setor das edificações é responsável por 31% do consumo de energia final em nível global [1]. Neste contexto, uma alternativa para os edifícios é o uso de energia renovável, dentre as quais se destaca a energia solar térmica. No Brasil, nos últimos 25 anos, foram instalados mais de 26 milhões de metros quadrados de coletores solares e o setor tem registrado crescimento recentemente no país, com predominância de sistemas de aquecimento solar de água em edificações residenciais [2].

O bom funcionamento dos sistemas de aquecimento solar (SAS) requer a manutenção adequada que consiste, principalmente, na limpeza das placas solares, a fim de eliminar as sujidades que se depositam na superfície de sua cobertura de vidro. Com relação aos sistemas fotovoltaicos, pesquisas reportam que cerca de 20% na geração média de energia é perdida em decorrência do acúmulo de sujidades nos painéis [3].

Ainda sobre o impacto de sujidade e poeira sobre os painéis solares, uma redução de produção de energia da ordem de 5,2% foi observada nos sistemas submetidos a apenas uma limpeza mensal em comparação com sistemas com limpeza regular [4]. O que ocorre com o acúmulo de sujeira sobre as placas, de fato, é uma redução da irradiância solar admitida pelo módulo da ordem de 20 a 80%, dependendo das características e densidade da poeira depositada na superfície do módulo [5].

É importante ressaltar que essa perda de eficiência depende da tecnologia de aproveitamento solar em questão. Pesquisas mostram que, para painéis fotovoltaicos, a perda de eficiência pode variar de 9,5% a 53,5% dependendo da tecnologia utilizada, isto é, do tipo de módulo e sua construção [6]. Painéis fotovoltaico-térmicos (PVT), por exemplo, passaram a operar com eficiência reduzida de cerca de 47% quando comparado à condição com limpeza periódica na qual operavam com eficiência de 61% [7]. A condição de baixa inclinação da placa potencializa ainda mais o acúmulo de sujidade de tal maneira que a transmitância se reduz aproximadamente pela metade após um período longo sem limpeza [8].

Embora, como visto, existam pesquisas que avaliam o impacto do acúmulo de sujeira em placas solares em termos de eficiência e irradiância incidente, constata-se a necessidade de avaliar o efeito resultante no consumo de energia de um edifício com sistema de aquecimento solar de água (SAS). Sendo assim, o objetivo do deste trabalho é avaliar o efeito da limpeza das placas solares não apenas no desempenho térmico do Sistema de Aquecimento Solar, mas também, sua consequência no consumo de energia da edificação.

MÉTODO

Para a análise pretendida, o seguinte método foi adotado: primeiramente, obteve-se do mercado um aquecedor solar de água convencional. As principais características da amostra são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição do coletor solar em estudo

Característica	Descrição
Tipo	Coletor solar fechado plano
Aplicação	Banho
Material da caixa externa	Alumínio
Material da placa absorvedora	Alumínio
Material das tubulações	Cobre
Cobertura	Vidro liso comum
Área bruta	2,0 m^2

Fonte: os autores.

O coletor solar foi exposto ao ar livre durante o período de 1 ano na cobertura de uma edificação localizada na cidade de São Paulo. A instalação foi feita em um dos prédios do campus do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Não houve limpeza durante esse período de exposição, a fim de permitir o acúmulo natural de sujeira e poeira. A Figura 1 mostra o coletor em exposição.

Figura 1: Coletor solar exposto ao ar livre



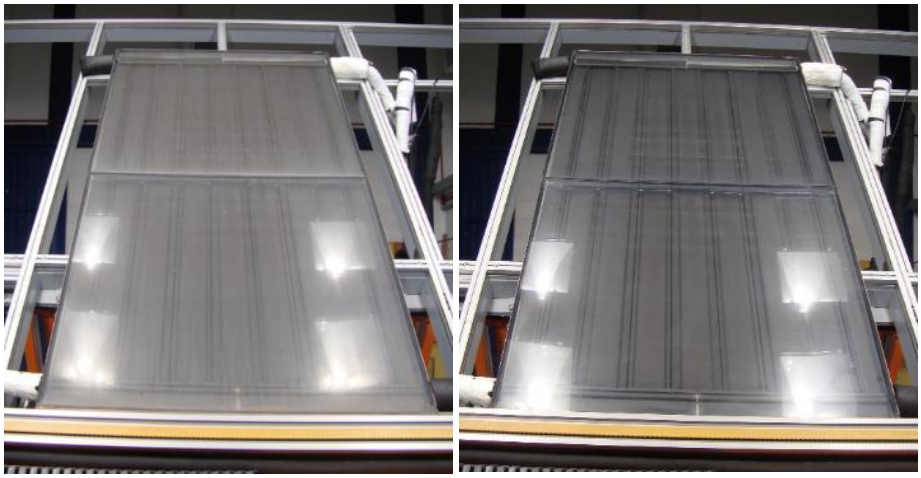
Nota: orientação norte e inclinação 20° em relação ao plano horizontal. Fonte: os autores.

Após o período de exposição, o coletor foi retirado da cobertura e foi submetido ao ensaio de desempenho térmico de acordo com a norma brasileira [9]. O ensaio determinou a curva de eficiência do coletor e, a partir dela, calculou-se a Produção Mensal de Energia Específica (PMEE) conforme o método apresentado em [10].

A primeira medição foi realizada com o coletor solar sem nenhuma limpeza do vidro, vindo diretamente do ambiente *outdoor*. Na sequência, o limpou-se o vidro do coletor solar e o ensaio juntamente com a determinação da PMEE foram repetidos.

A Figura 2 mostra a amostra antes e depois da limpeza, respectivamente.

Figura 2: Coletor solar ensaiado antes (à esquerda) e depois (à direita) da limpeza



Nota: coletor instalado na bancada de ensaio de desempenho térmico. Fonte: os autores.

De posse dos valores de PMEE obtidos antes e depois da limpeza, calculou-se o consumo de energia resultante em um edifício real em ambas as situações estudadas.

Para os cálculos, foi utilizada a referência [11]. Também foram adotados alguns parâmetros referentes à edificação e ao SAS, conforme apresentado pela Tabela 2. A fim de ampliar a abrangência do trabalho, foram estudados três tipos diferentes de instalações: de pequeno, médio e grande porte, caracterizadas por volumes armazenados de água quente de 1.000 L, 5.000 L e 10.000 L.

Tabela 2: Parâmetros adotados da edificação e do SAS

Característica	Descrição
Tipo de edifício	Residencial
Volume armazenado (água quente) (L)	1.000 / 5.000 / 10.000
Fração Solar	70%
Orientação das placas	Norte
Inclinação das placas (°)	33
Temperatura de armazenamento da água (°C)	50
Localidade	São Paulo / SP

Fonte: os autores.

O cálculo da energia solar útil em kWh/mês, disponível no sistema, foi realizado pela Equação 1.

$$E_{útil} = \frac{V \times \rho \times C_p \times (T_{arm} - T_{amb})}{3600} \times 30 \qquad (1)$$

Onde:

$E_{útil}$ – Energia térmica útil, kWh/mês

V – Volume de água quente armazenada, L/dia

ρ – Massa específica da água, kg/L

C_p – Calor específico da água, kJ/(kg.°C)

T_{arm} – Temperatura de armazenamento da água quente, °C

T_{amb} – Temperatura ambiente média, °C

As perdas de energia (calor) no sistema foram consideradas como sendo 15% da energia útil conforme a referência [11].

Para a determinação da área coletora A_c, utilizou-se a Equação 2.

$$A_c = \frac{(E_{útil}+E_{perdas})\times FC\times 4{,}89}{PMEE\times I_G} \quad (2)$$

A_c – Área de coletores solares, m^2

$E_{útil}$ – Energia térmica útil, kWh/mês

E_{perdas} – Perda de Energia térmica, kWh/mês

FC – Fator de correção para inclinação e orientação, adimensional

$PMEE$ – Produção Mensal de Energia Específica, kWh/(m^2.mês)

I_G – Irradiação solar diária média anual para a localidade, kWh/(m^2.dia)

A quantificação do consumo de energia da edificação resulta da Equação 3 que define a fração solar.

$$F = \frac{E_{solar}}{E_{total}} \quad (3)$$

F – Fração solar da instalação, adimensional

E_{solar} – Energia solar produzida por mês, kWh/mês

E_{total} – Demanda total de energia mensal, kWh/mês

Por fim, o consumo de energia C_e, convencional ou auxiliar, pode ser expresso pela Equação 4.

$$C_e = E_{solar}\left(\frac{1}{F} - 1\right) \quad (4)$$

Para mensurar o efeito da limpeza das placas no consumo de energia convencional ou auxiliar ΔC_e, basta considerar a relação entre as produções de energia PMEE obtidas

experimentalmente conforme [11] para as condições de vidro limpo e vidro sujo, conforme a Equação 5.

$$E_{solar}{}' = E_{solar}\frac{PMEE'}{PMEE} \qquad (5)$$

$E_{solar}{}'$ – Energia solar produzida com a placa suja, kWh/mês

E_{solar} – Energia solar produzida com a placa limpa, kWh/mês

$PMEE'$ – Produção Mensal de Energia Específica da placa suja, kWh/(m^2.mês)

$PMEE$ – Produção Mensal de Energia Específica da placa limpa, kWh/(m^2.mês)

Considerando a fração solar F, do sistema, sendo constante para ambas as situações de placa limpa e suja, pode-se determinar pela Equação 4, o consumo antes e depois da limpeza e consequentemente a variação de consumo ΔC_e. Os valores de E_{solar} e $E_{solar}{}'$ foram obtidos das Equações 1 a 3.

RESULTADOS

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos no ensaio experimental do coletor antes e após a limpeza do vidro de sua cobertura.

Tabela 3: Resultados do ensaio experimental

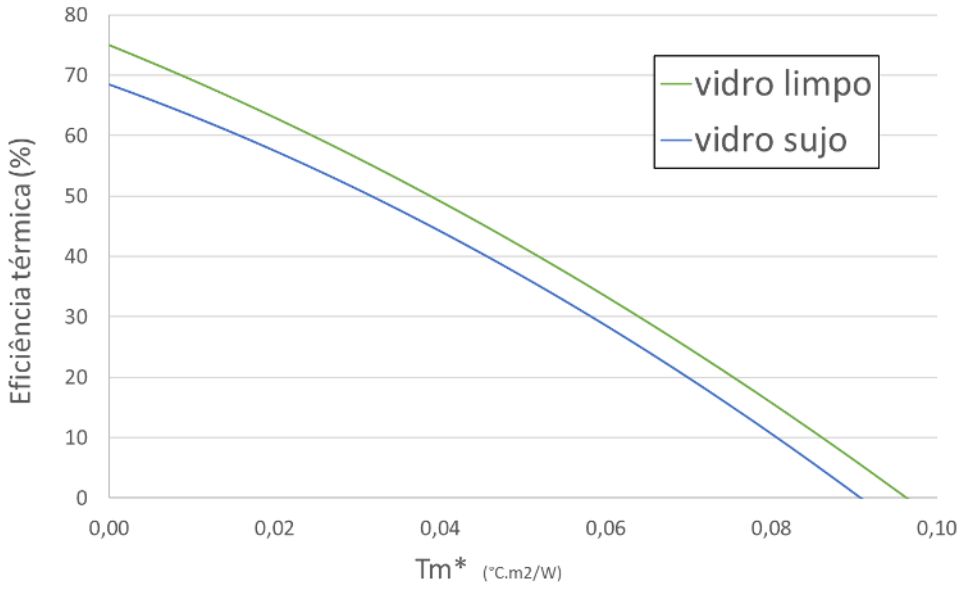
Parâmetro	Vidro sujo	Vidro limpo
Eficiência térmica média (%)	55,8	61,3
Produção de energia (kWh/mês)	154,1	169,3
PMEE (kWh/m^2.mês)	77,1	84,6

Fonte: os autores.

Com relação à curva de eficiência, o coletor com vidro sujo apresentou uma redução na eficiência térmica instantânea em comparação com a situação de vidro limpo. A Figura 3 ilustra as curvas de eficiência em função da temperatura reduzida média T_m^*, isto é, da razão entre a diferença da temperatura média da água no coletor e a temperatura ambiente pela irradiância solar incidente.

Em termos percentuais, a redução da eficiência média foi da ordem de 9%, assim como a redução da Produção Mensal de Energia Específica (PMEE).

Figura 3: Curvas de eficiência do coletor determinadas experimentalmente

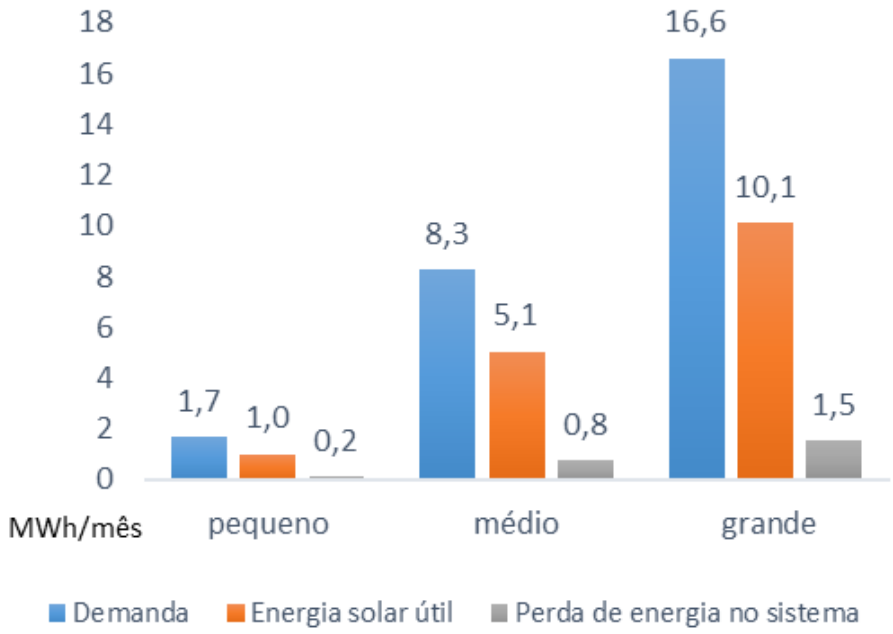


Nota: método de ensaio conforme referência [9]. Fonte: os autores.

Na sequência, seguindo o método de cálculo apresentado na seção anterior e a referência [11] foi possível obter, para cada uma das 3 instalações (pequeno, médio e grande porte), a demanda de energia para aquecimento de água, a energia solar útil produzida e as perdas de energia no sistema. Vale recordar que os três tipos diferentes de instalações (pequeno, médio e grande porte) possuem volume armazenado de água quente de 1.000 L, 5.000 L e 10.000 L.

Os resultados são mostrados na Figura 4 para os sistemas de aquecimento solar operando com placas após a limpeza de sua cobertura.

Figura 4: Energia demandada e energia solar produzida nos edifícios estudados

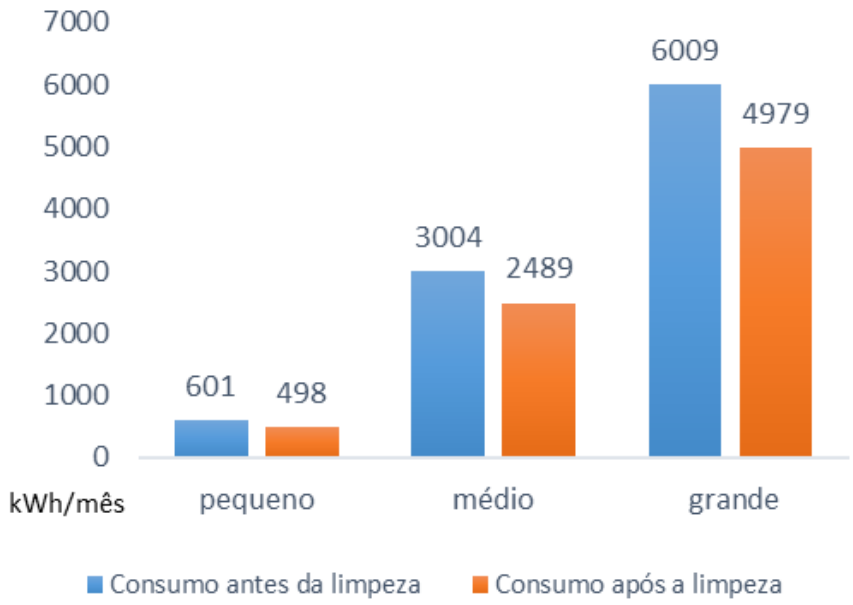


Nota: coletor com vidro limpo, fração solar 70%. Fonte: os autores.

Nesse ponto, é importante ressaltar que a demanda corresponde à energia total necessária para manter o sistema predial de suprimento de água quente operando com fração solar de 70%. Inclui a parcela de energia que pode ser suprida pelos coletores solares e a parcela de energia que pode resultar do aquecimento auxiliar da água por alguma fonte de energia complementar (por exemplo, elétrica ou gás).

Para avaliar o efeito das sujidades no desempenho energético do sistema de aquecimento solar foram utilizadas as Equações 4 e 5. Os resultados são mostrados na Figura 5.

Figura 5: Consumo de energia antes e após a limpeza das placas



Antes de analisar a Figura 5, vale lembrar que, diferentemente da demanda apresentada na Figura 4, o consumo (Figura 5) não inclui a fonte solar, de tal maneira que esteja estritamente representado o uso de fontes convencionais de energia, como por exemplo, a resistência elétrica nos reservatórios ou um apoio a gás com função de complementar a energia solar gerada.

Para todos os três cenários a redução no consumo de energia para aquecimento de água ficou em 17% por conta da limpeza das placas coletoras. Deve-se notar que o consumo de energia calculado se refere apenas ao aquecimento de água e não inclui outros consumos energéticos da edificação. Para 1 ano de operação, o sistema de pequeno porte (armazenamento de 1.000L) evitaria o consumo de 1,2 MWh de energia para suprimento de água quente, ao usar as placas limpas.

Já o sistema de médio porte (armazenamento de 5.000L) evitaria o consumo de 6,2 MWh (ao ano) que seria usado para compensar a perda de eficiência do SAS causado pelas sujidades. Por fim, para o sistema de grande porte (armazenamento de 10.000L), o montante de 12,4 MWh de energia convencional, destinada ao suprimento de água quente, seria evitado em 1 ano de operação com as placas limpas.

CONCLUSÕES

Permitindo o acúmulo de sujidade em uma placa solar instalada em uma cobertura de um edifício na cidade de São Paulo, no período de 1 ano, foi possível determinar experimentalmente sua eficiência térmica antes e depois da limpeza da cobertura frontal de vidro do aquecedor solar.

O aumento da eficiência foi de aproximadamente 9% após a limpeza da placa. Isso resulta em uma condição de maior fornecimento de energia solar, que impacta o consumo de energia total da edificação. Delimitando apenas a energia consumida para o suprimento de água quente no edifício, a limpeza da placa refletiu, nos cenários simulados, em uma redução do consumo de energia convencional da ordem de 17%. Tal situação decorre do fato de que a placa limpa operando com maior eficiência, evita o uso de energia auxiliar para atender a demanda de energia térmica. Para sistemas de pequeno, médio e grande porte, seria economizado, respectivamente, cerca de 1, 6 e 12 MWh anualmente em decorrência da limpeza regular das placas. Estes valores são significativos frente ao consumo médio de energia por habitação no Sudeste do Brasil de pouco mais de 0,5 MWh/mês [12].

Em resumo, embora este estudo não possa ser generalizado sem ajustes para outras localidades, confirma-se que a manutenção periódica (limpeza) dos coletores solares possui um efeito significativo na eficiência do aquecedor solar e consequentemente no consumo de energia da edificação como um todo, trazendo benefícios para a sustentabilidade do ambiente construído e tornando o sistema de aquecimento solar mais rentável e economicamente atrativo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por meio do Projeto CCD – Cidades Carbono Neutro, pelo apoio ao presente trabalho.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] REN21. **Renewables 2025 Global Status Report Collection**. 2025. Disponível em: https://www.ren21.net/gsr-2025/. Acesso em: 02 abril 2026.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA. **Produção e Vendas de Sistemas de Aquecimento Solar 2025** – Base 2024. São Paulo, 2025.

[3] JÚNIOR, J.; CRUZ, S.; AMARAL, L. Impacto da Sujidade sobre o Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais [...]** Gramado: ABENS, 2018.

[4] AL-ADDOUS, M.; DALALA, Z.; ALAWNEH, F.; CLASS, C. Modeling and quantifying dust accumulation impact on PV module performance. **Solar Energy**, v. 194, p. 86-102, out. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.09.086.

[5] MANI, M.; PILLAI, R. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 3124-3131, jul. 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.065.

[6] MARTZ-OBERLANDER, T. **The Dirt on Solar Energy: A study of Dutch solar panel efficiency losses from soiling**. 2017. 23 f. Monografia (Bachelor of Arts and Sciences) – Quest University Canada, Canada, 2017.

[7] KAZEM, H.; CHAICHAN, M.; AL-WAELI, A.; AL-BADI, R.; FAYAD, M.; GHOLAMI, A. Dust impact on photovoltaic/thermal system in harsh weather conditions. **Solar Energy**, v. 245, p. 308-321, set. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.09.012.

[8] ELMINIR, H.; GHITAS, A.; HAMID, R.; EL-HUSSAINY, F.; BEHEARY, M.; ABDEL-MONEIM, K. Effect of dust on the transparent cover of solar collectors. **Energy Conversion and Management**, v. 47, p. 3192-3203, abr. 2006. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.02.014.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 17003. **Sistemas solares térmicos e seus componentes – Coletores solares – Requisitos gerais e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2021.

[10] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade e os Requisitos de Avaliação da conformidade para Equipamentos de Aquecimento Solar de Água** – Consolidado. Aprovado pela Portaria N°420 de 4 de outubro de 2021. Ministério da Economia. Serviço Público Federal.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 15569. **Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Requisitos de projeto e instalação**. Rio de Janeiro, 2020.

[12] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. 2026. Disponível em: https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/livro/. Acesso em: 17 junho 2026.