



## Limpador automático para placas fotovoltaicas

Gabriel Ferreira Ribeiro, [ferreiraribeirogabriel@gmail.com](mailto:ferreiraribeirogabriel@gmail.com)

Giovanna Moreira Dourado, [gm.dourado@hotmail.com](mailto:gm.dourado@hotmail.com)

Samuel Pereira de Souza, [samuelsuv37@gmail.com](mailto:samuelsuv37@gmail.com)

Tiago de Melo, [tiago.melo@udf.edu.br](mailto:tiago.melo@udf.edu.br)

Centro universitário cruzeiro do Sul, Centro de Ensino unificado do Distrito Federal-UDF, SGAS 903 Conj, D Lote 79 Asa Sul-Brasília| CEP 70390-030

**Resumo.** A eficiência das placas solares fotovoltaicas é crucial para assegurar uma produção ótima de energia solar. A acumulação de sujeira em suas superfícies reduz a capacidade de absorção da luz solar, resultando em uma diminuição na eficiência da conversão de energia. Neste estudo, foi desenvolvido e avaliado um limpador automatizado de placas solares, com o propósito de facilitar a limpeza destas placas. O sistema desenvolvido é composto por uma escova de nylon especialmente projetada para a limpeza em painéis solares, um rodo de borracha para a remoção de detritos menores, um sistema de esguicho de água para uma limpeza eficaz e uma estrutura resistente que movimenta todo o sistema ao longo da superfície da placa. A eficácia deste sistema foi avaliada em condições simuladas de uso, demonstrando sua capacidade de manter a produção energética dos painéis em sua capacidade máxima ao longo do tempo de operação. Além disso, foi realizada uma análise econômica do sistema, considerando seus custos de implementação e operação. Os resultados indicaram que o sistema apresenta um baixo custo de instalação e manutenção, enquanto proporciona ganhos monetários contínuos através da maximização da produção de energia solar. Sua estrutura robusta também assegura que não haja custos adicionais de manutenção para os sistemas já existentes. Portanto, este estudo evidencia que o limpador automatizado de placas solares é uma solução eficaz e econômica para garantir a máxima produção de energia solar ao longo do tempo de uso, contribuindo para a sustentabilidade e rentabilidade das instalações solares.

**Palavras-chave:** Painel solar, Limpeza automatizada, Eficiência energética.

**Abstract** The efficiency of photovoltaic solar panels is crucial to ensure optimal solar energy production. The accumulation of dirt on their surfaces reduces their ability to absorb sunlight, resulting in a decrease in energy conversion efficiency. In this study, an automated solar panel cleaner was developed and evaluated with the purpose of facilitating the cleaning of these panels. The developed system consists of a nylon brush specially designed for cleaning solar panels, a rubber squeegee for removing smaller debris, a water spray system for effective cleaning, and a sturdy structure that moves the entire system along the surface of the panel. The effectiveness of this system was evaluated under simulated usage conditions, demonstrating its ability to maintain the energy production of the panels at their maximum capacity over the operating time. Additionally, an economic analysis of the system was conducted, considering its implementation and operation costs. The results indicated that the system has a low installation and maintenance cost while providing continuous monetary gains through the maximization of solar energy production. Its robust structure also ensures that there are no additional maintenance costs for existing systems. Therefore, this study highlights that the automated solar panel cleaner is an effective and economical solution to ensure maximum solar energy production over time, contributing to the sustainability and profitability of solar installations.

**Keywords:** Solar panel, Automated cleaning, Energy efficiency.

## 1. INTRODUÇÃO

As células fotovoltaicas são altamente eficientes na conversão da luz solar em eletricidade quando estão limpas e diretamente expostas à radiação solar. No entanto, a acumulação de sujeira, como poeira, detritos e poluição atmosférica, pode reduzir significativamente a eficiência das placas solares, impactando negativamente a produção de energia. A limpeza manual das placas solares em grandes fazendas solares é uma tarefa trabalhosa e dispendiosa. A NASA emprega tecnologia fotovoltaica para alimentar muitos de seus satélites, espaçonaves e rovers extraterrestres, porém ainda não desenvolveu um método de limpeza para suas naves espaciais. O rover de Marte, em particular, precisa operar em ambientes poeirentos e hostis. A NASA realizou pesquisas sobre a redução da eficiência devido à poeira e ao acúmulo ao longo do tempo em Marte. Para uma missão de 30 dias, estima-se uma perda de energia de 52,2%; ao longo de dois anos, essa perda chega a 89%. Recentemente, a NASA também divulgou que um vento marciano inesperado parcialmente limpou a poeira dos painéis solares do rover de Marte, aumentando significativamente a saída elétrica desses painéis.

(NASA's Photovoltaic Technology: Efficiency and Challenges. (n.d.))

Quanto mais luz solar os painéis solares recebem, mais energia podem gerar. Os painéis inclinados para cima estão especialmente suscetíveis à acumulação de sujeira, como fezes de pássaros e poeira atmosférica. Na nossa região, é comum que os painéis solares fiquem cobertos por poeira quando não são limpos regularmente, o que resulta em uma redução na quantidade de luz que chega aos painéis. Isso, por sua vez, diminui a produção de energia. Portanto, é fundamental realizar a limpeza regularmente para proteger e preservar nosso investimento em energia solar.

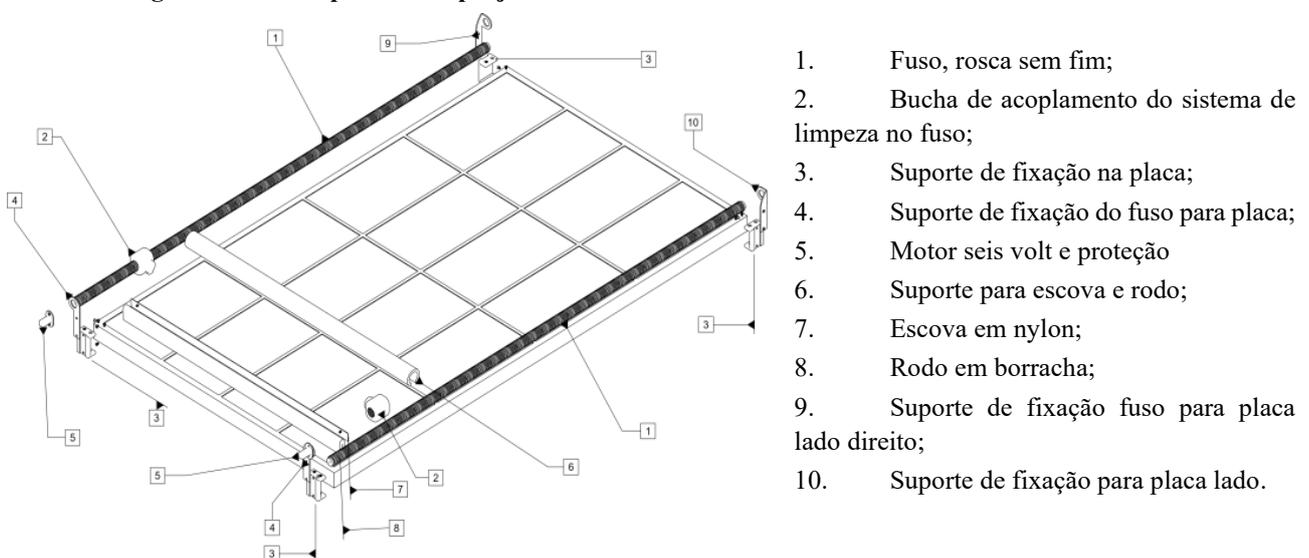
Em casos extremos, em regiões com baixa incidência de chuvas, empresas de energia solar relatam perdas de até 30% na produção de energia quando a limpeza dos painéis não é realizada regularmente. Para ajudar os proprietários na manutenção adequada e garantir a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, há diversas empresas no mercado brasileiro que oferecem produtos e serviços específicos para a limpeza dos módulos solares.

Desenvolver um sistema inovador para a limpeza de placas solares representa um passo significativo na busca pela eficiência e sustentabilidade energética. Este projeto visa não apenas garantir a segurança dos operadores, eliminando a necessidade de trabalho em altura conforme as normas da NR35, mas também reduzir custos operacionais e consumo de energia. Com uma estimativa de consumo energético equivalente a apenas 1% da produção de uma placa solar, o sistema proposto promete alcançar a autossuficiência financeira em um curto espaço de tempo após sua implementação, garantindo uma solução econômica e sustentável para a manutenção de instalações solares.

## 2. Metodologia

Desenvolve-se um sistema de limpeza composto por escovas de nylon especialmente projetadas para limpar as placas solares sem danificá-las. Além disso, constitui-se de jatos de água que são direcionados sobre a placa com precisão, proporcionando pressão adequada para a remoção de resíduos mais sólidos. Complementando o processo, um rodo de PVC remove os detritos menores e seca a placa de forma eficaz.

**Figura 1: Vista explodida do projeto**



**Fonte:** Dados da pesquisa, autor

Este sistema é montado em um mecanismo robusto de metal, garantindo durabilidade e estabilidade. Utiliza um perfil de rosca sem fim em aço inoxidável para movimento suave ao longo da superfície da placa solar. Um motor de 6V de alimentação, corrente nominal de 1,76 A, torque de 6,8 Kgf.cm e velocidade de 800 RPM, é protegido por uma capa de metal para garantir sua segurança e funcionamento confiável. Sua energia será fornecida pelo sistema fotovoltaico. Além disso, estamos preparados para futuras atualizações, como a integração com assistentes virtuais disponíveis no mercado, como Alexa, Google Assistente e Siri. Para garantir sua eficácia e identificar possíveis falhas, o sistema será programado e testado usando o Solidworks. Essa simulação fornecerá dados como resistência, eficiência de limpeza e gasto energético, bem como informações sobre qualquer problema estrutural ou de construção que possa surgir. Essa abordagem nos permitirá entregar resultados relevantes e garantir a viabilidade do produto no mercado.

De acordo com os guias das principais fabricantes de painéis solares, é recomendado limpar os painéis uma vez por ano em locais com pouca sujeira, enquanto em regiões muito poluídas ou empoeiradas, a limpeza deve ser realizada a cada seis meses. No entanto, para manter os painéis em suas melhores condições, é aconselhável fazer limpezas de forma regular. Além disso, é sugerido que a limpeza seja feita em momentos específicos do dia, como no início da manhã ou no final da tarde, quando os módulos estão mais frios. Isso ajuda a evitar danos ao vidro causados pela diferença de temperatura ao aplicar água para limpeza.

Antes de iniciar a limpeza, é importante realizar uma inspeção nos módulos para identificar possíveis rachaduras, danos ou conexões soltas, garantindo assim um funcionamento adequado do sistema. A limpeza dos painéis solares é fundamental entre os procedimentos de manutenção dos sistemas fotovoltaicos. Isso se deve ao fato de que o acúmulo de sujeira pode diminuir a eficiência energética dos painéis em até 25%, de acordo com o NREL (Laboratório Nacional de Energia Renovável, 2021). Em casos extremos, em regiões com baixa incidência de chuvas, empresas de energia solar relatam perdas de até 30% na produção de energia quando a limpeza dos painéis não é realizada regularmente.

Para ajudar os proprietários na manutenção adequada e garantir a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, há diversas empresas no mercado brasileiro que oferecem produtos e serviços específicos para a limpeza dos módulos solares. Considerando a importância da limpeza dos painéis solares, foram selecionadas oito mesas para conduzir uma análise sobre as perdas de produtividade em geradores fotovoltaicos devido à sujeira. As duas mesas restantes foram reservadas para um estudo sobre a degradação em módulos FV. A organização das mesas foi feita de forma a aproveitar a proximidade com a fonte de água utilizada na limpeza, visando otimizar as atividades relacionadas à manutenção dos sistemas fotovoltaicos. (Lepidus, +VIICBENS\_artigo\_0344. 20 de abril 2018).

**Figura 2: Esquemática da rotina de limpeza nas mesas fotovoltaicas**

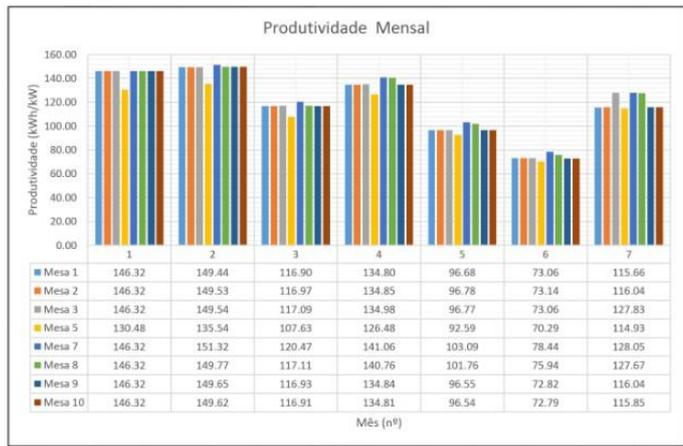


**Fonte:** (Lepidus, +VIICBENS\_artigo\_0344. 20 de abril 2018).

**Figura 3: Dados de potência por fileira e por mesa**

Mesa	Fileira	Potência Medida Fileira (W)	Potência Medida Mesa (kW)	Potência Nominal Mesa (kW)
10	1	4394,01	13,28	15,60
	2	4507,75		
	3	4378,90		
9	1	4306,05	13,34	15,60
	2	4526,79		
	3	4504,61		
8	1	4254,82	12,89	15,60
	2	4299,95		
	3	4330,28		
7	1	4412,93	13,36	15,60
	2	4467,15		
	3	4483,99		
3	1	4358,17	13,07	15,60
	2	4365,36		
	3	4350,31		
2	1	4296,61	13,03	15,60
	2	4413,04		
	3	4322,12		
1	1	4527,67	13,70	15,60
	2	4536,21		
	3	4634,55		

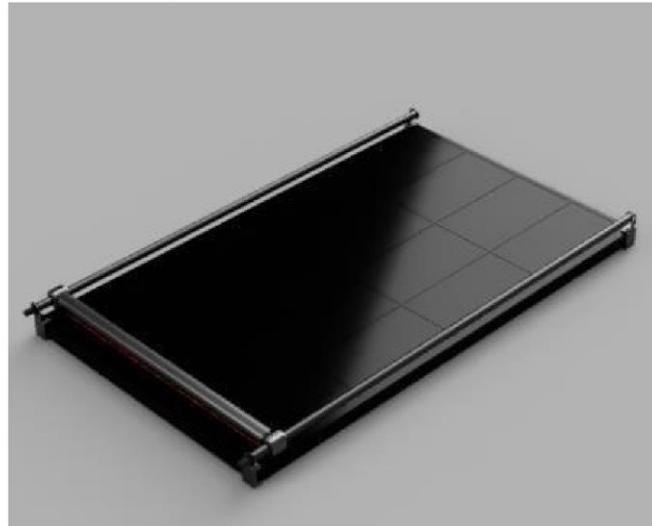
**Figura 4: - Produtividade dos primeiros 7 meses.**



Fonte:(Lepidus, +VIICBENS\_artigo\_0344,Abril de 2018)

Fonte:(Lepidus, +VIICBENS\_artigo\_0344. 20 de abril 2018)

**Figura 5: Modelo em 3D**



Fonte: Dados da pesquisa, autor.

Para este estudo, foi feito um levantamento detalhado do consumo de energia de um motor com as seguintes especificações: rotação de saída de 800 RPM, operando a uma tensão de 6 VDC, corrente máxima de 1,76 A, torque nominal de 1,2 Kgf.cm, torque stall de 6,8 Kgf.cm, potência nominal de 16,5 watts e uma redução de 4:1 em um único estágio. Esses dados foram comparados com a capacidade de geração de energia solar de uma placa fotovoltaica ao longo de um período de 12 meses.

O motor será utilizado por aproximadamente 3 minutos uma vez por semana para efetuar a limpeza das placas solares, garantindo seu funcionamento em 100%. Este tempo de operação semanal é essencial para remover qualquer acúmulo de sujeira que possa afetar a eficiência das placas. Ao realizar essa limpeza regularmente, mantemos as placas em condições ideais para maximizar a geração de energia solar.

$$3 \text{ minutos/uso} \times 4 \text{ usos/mês} = 12 \text{ minutos/mês}$$

$$3 \text{ minutos/uso} \times 4 \text{ usos/mês} = 12 \text{ minutos/mês}$$

$$12 \text{ minutos/mês} \times 60 \text{ minutos/hora} = 0,2 \text{ horas/mês}$$

$$12 \text{ minutos/mês} \times 60 \text{ minutos/hora} = 0,2 \text{ horas/mês}$$

$$16,5 \text{ W} \times 0,2 \text{ horas/mês} = 3,3 \text{ watt-hora/mês}$$

$$16,5 \text{ W} \times 0,2 \text{ horas/mês} = 3,3 \text{ watt-hora/mês}$$

Portanto, o motor de 16,5 W, usado por 3 minutos uma vez por semana durante 1 mês, consumirá aproximadamente 3,3 watts ao longo do mês.

O consumo mensal do motor, a capacidade de geração da placa solar por hora de pico e a utilização da capacidade de geração da placa pelo motor são apresentados a seguir. O motor consome 3,3 watt-hora por mês, enquanto a placa solar é capaz de gerar 550 watt-hora por hora de pico. A utilização da capacidade de geração da placa pelo motor é de apenas 0,6%, indicando que uma pequena fração da energia gerada é consumida pelo motor.

Com base nos cálculos realizados, o sistema utilizará apenas 0,6% da geração mensal de uma placa solar de 550 watts, sem qualquer perda significativa de energia durante o uso semanal. Ao longo de um mês, estimamos que nosso sistema promoverá uma geração de energia de aproximadamente 840 kWh. Considerando o preço do kWh no Distrito Federal, que é de R\$ 0,656 (Neoenergia, 2024), e a produção mensal esperada de cerca de 840 kWh de uma placa perfeitamente limpa, nosso sistema terá uma produção em reais de aproximadamente R\$ 551,04 por placa mensalmente. Um sistema com 10 placas irá render aproximadamente R\$ 5.510,40 mensais.

Esses resultados ressaltam a eficiência e a rentabilidade do nosso sistema de geração de energia solar, demonstrando seu potencial para economia de custos e sustentabilidade energética.

### 3. CONCLUSÃO

Em conclusão, nosso sistema de limpeza desenvolvido para placas solares representa uma solução abrangente e eficaz para garantir a manutenção da eficiência energética desses dispositivos ao longo do tempo. Ao integrar uma combinação de escovas de nylon, jatos de água precisos e um mecanismo robusto de metal, proporcionamos uma limpeza completa e segura, preservando a integridade das placas. Além disso, a preocupação com a acessibilidade, facilidade de instalação e operação foi prioritária durante o desenvolvimento do sistema, garantindo sua viabilidade e usabilidade em diferentes contextos.

A importância da limpeza regular dos painéis solares foi enfatizada, destacando seu impacto significativo na eficiência energética e na maximização da produção de energia solar. Estudos demonstraram que a sujeira pode reduzir a eficiência dos painéis em até 25%, ressaltando a necessidade de manutenção adequada para garantir o desempenho ideal. Além disso, a análise detalhada do consumo energético do sistema revelou sua eficiência excepcional, consumindo apenas uma pequena fração da energia gerada pelas placas solares.

Com base nos cálculos realizados, podemos inferir que nosso sistema tem o potencial de gerar uma quantidade significativa de energia ao longo do tempo, resultando em economia de custos e contribuindo para a sustentabilidade energética. Esses resultados reforçam a eficácia e a rentabilidade de nosso sistema de geração de energia solar, evidenciando seu papel crucial na promoção da adoção de energias renováveis e na redução da dependência de fontes não sustentáveis. Esperamos que nosso trabalho contribua para avanços significativos no campo da energia solar e inspire futuras inovações neste setor em constante evolução.

### 4. AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus, aos familiares e amigos, ao coordenador do curso Tiago de Melo, ao Daniel Carrijo por ter tido essa ideia conosco e por nos ajudar na elaboração do projeto, e ao Creem pela oportunidade de apresentar nosso trabalho aos melhores engenheiros do Brasil.

### 5. REFERÊNCIAS

1. Jain, A., Mittal, R., & Srivastava, P. (2017). A review of solar panel cleaning techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 131-141.
2. [https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/issue\\_5\\_may\\_2022/24523/final/fin\\_irjmets1653790308.pdf](https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/issue_5_may_2022/24523/final/fin_irjmets1653790308.pdf)
3. <http://aete.ubm.br:8081/repositorio/bitstream/handle/123456789/247/TCC%20-%20DISPOSITIVO%20DE%20LIMPEZA%20PARA%20PLACA%20SOLAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/sistema-de-producao>
5. <https://globalsolaratlas.info/support/release-notes>
6. <https://nstrdb.nrel.gov/data-sets/international-data>
7. [https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf\\_potencial\\_solar\\_para\\_internet.pdf](https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf_potencial_solar_para_internet.pdf)

8. <https://www.portalinsights.com.br/perguntas-frequentes/quanto-custa-800-kwhdeenergia#:~:text=As%20tarifas%20de%20energia%20el%C3%A9trica,de%20R%24%20%2C649%20por%20kWh.>

9. <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/181/181>

10. NASA's Photovoltaic Technology: Efficiency and Challenges. (n.d.). Retrieved from [NASA official website or document related to photovoltaic research and Mars rovers].

XXX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica  
19 a 23 de agosto de 2024, Uberaba, Minas Gerais, Brasil

## **RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES**

Daniel Ademar de Lima Carrijo

Giovanna Moreira Dourado