

ANÁLISE DO IMPACTO DA SUJIDADE E PROPOSTA DE PROTÓTIPO PARA LIMPEZA AUTOMATIZADA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Daniel de Jesus Furtado dos Santos¹; Paulo Ricardo Teodoro Mota¹; Guilherme Henrique Alves¹; Antônio Manoel Batista da Silva¹; Welington Mrad Joaquim¹; Lúcio Rogério Júnior¹; Marcelo Lucas¹

¹ Universidade de Uberaba – Uniube

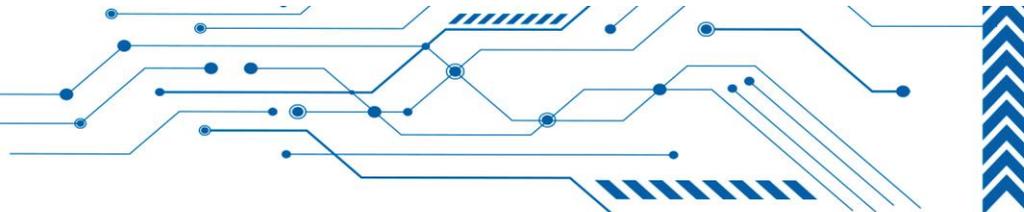
Autor correspondente: lucio.junior@uniube.br

RESUMO

A energia solar, proveniente do sol, é vista como uma solução viável, embora a sujeira nas placas solares possa afetar sua eficiência. O projeto apresentado propõe um protótipo automatizado para a limpeza eficiente dessas placas. O estudo analisa dois sistemas fotovoltaicos residenciais e propõe um protótipo de limpeza que utiliza movimentos rotativos de rolos, água e detergente neutro. Os resultados mostram que a sujeira pode reduzir a produção de energia em até 25%. O sistema de limpeza implementado é composto por uma estrutura mecânica, componentes elétricos, e lógica controlada por Arduino. A análise de dados revela que a sujeira impacta significativamente no desempenho dos sistemas fotovoltaicos. Um sistema na cidade de Uberaba MG, durante a reforma do telhado, teve uma produção inicial de 2.6 kWh, aumentando 121% após a limpeza. Um segundo sistema na cidade de Conceição das Alagoas MG, afetado pela seca e poeira, mostrou um aumento na geração de energia elétrica após a limpeza e chuvas. A conclusão destaca a importância da limpeza regular das placas solares, evidenciada pelos aumentos de produção após a remoção da sujeira. Esses resultados reforçam a necessidade de soluções eficazes para a manutenção de sistemas fotovoltaicos, contribuindo para a sustentabilidade da energia solar.

Palavras-chave: Energia Solar; Sujeira em painéis solares; Limpeza de sistemas PV; Células PV.





ABSTRACT

Solar energy, coming from the sun, is seen as a viable solution, although dirt on solar panels can affect their efficiency. The presented project proposes an automated prototype for the efficient cleaning of these plates. The study analyzes two residential photovoltaic systems and proposes a cleaning prototype that uses rotating roller movements, water and neutral detergent. The results show that dirt can reduce energy production by up to 25%. The implemented cleaning system consists of a mechanical structure, electrical components, and logic controlled by Arduino. Data analysis reveals that dirt significantly impacts the performance of photovoltaic systems. A system in the city of Uberaba MG, during roof renovation, had an initial production of 2.6 kWh, increasing 121% after cleaning. A second system in the city of Conceição das Alagoas MG, affected by drought and dust, showed an increase in electricity generation after cleaning and rain. The conclusion highlights the importance of regular cleaning of solar panels, evidenced by increases in production after removing dirt. These results reinforce the need for effective solutions for the maintenance of photovoltaic systems, contributing to the sustainability of solar energy.

Keywords: Solar energy; Dirt on solar panels; Cleaning of PV systems; PV cells.

1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, a humanidade tem crescido o consumir energia elétrica. Em 1980 o mundo todo consumia cerca de 7.000 TWh (Terrawatts-hora) de eletricidade. Segundo previsões da Energia e Eletricidade (2012), esse número vai subir para quase 30.000 TWh em 2030, é certo que o mundo precise de uma quantidade enorme de energia elétrica para sustentar o seu consumo atual e para atender a demanda crescente (Villalva, 2012).

O Sol é a nossa principal fonte de energia no planeta, sendo uma fonte praticamente inesgotável e acessível a todas as pessoas, enquanto as demais fontes energéticas são obtidas através da conversão dessa energia. (PINHO; Galdino, 2014). A energia solar, que hoje é apenas considerada alternativa e tendo baixa participação na matriz energética mundial, será uma das principais fontes de energias para o futuro da humanidade (Villalva, 2012).

As células solares são responsáveis pela conversão da radiação solar em energia elétrica, esse efeito é conhecido como efeito fotovoltaico. A célula fotovoltaica é composta basicamente por uma junção p-n, a qual quando submetida a exposição de luz solar gera uma corrente elétrica. A diferença de potencial é observada na junção p-n do semicondutor, e o efeito fotovoltaico é gerado através da absorção da luz solar. A célula fotovoltaica não armazena energia elétrica, ela apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre a sua superfície (Nascimento, 2014).



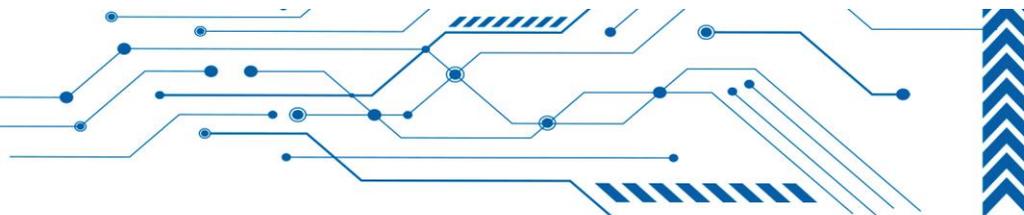
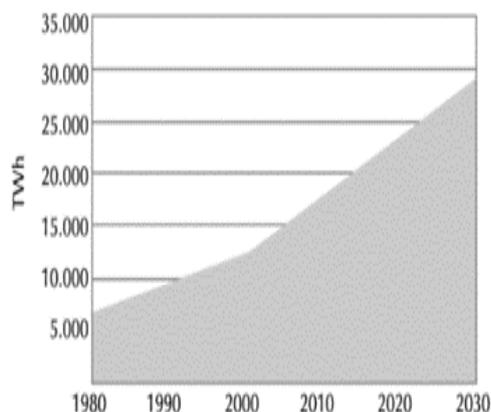


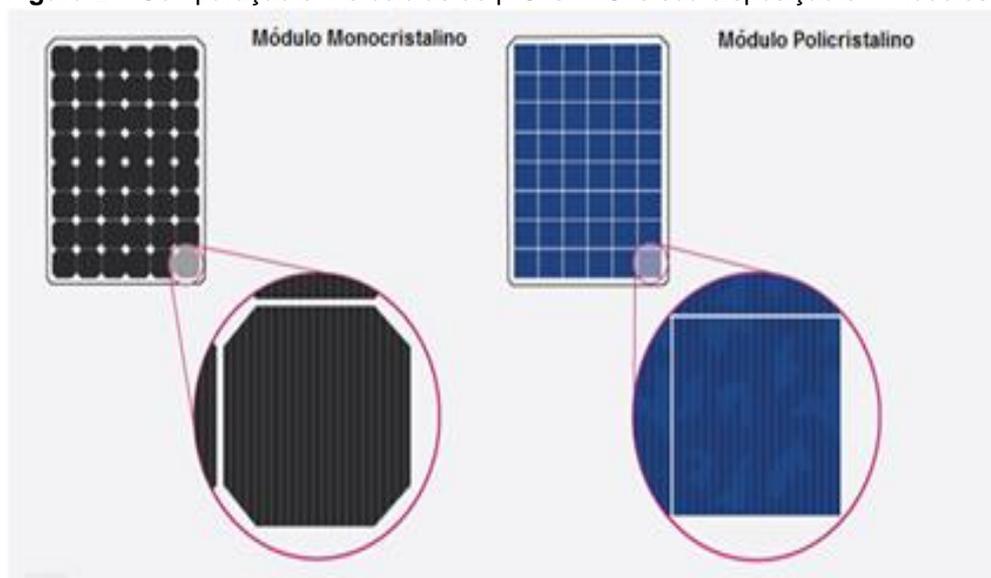
Figura 1 – Previsão de consumo de energia elétrica no mundo até 2030.



Fonte: ENERGIA E ELETRICIDADE (2012).

O silício lidera o ranking dos materiais mais utilizados em células fotovoltaicas e tem sido explorado sob diversas formas como nas formas de monocristalino, policristalino e amorfo. As suas formas mais utilizadas são as células de silício monocristalino e as células de silício policristalino. As células de silício monocristalino são mais eficientes, pois geram mais energia por uma área semelhante, porém geralmente são mais caras em relação as células de silício policristalino. As células monocristalino são melhores em situação de pouca luz e devem ser preferidas em aplicações com restrição de espaço, peso e luminosidade (Silva, 2016).

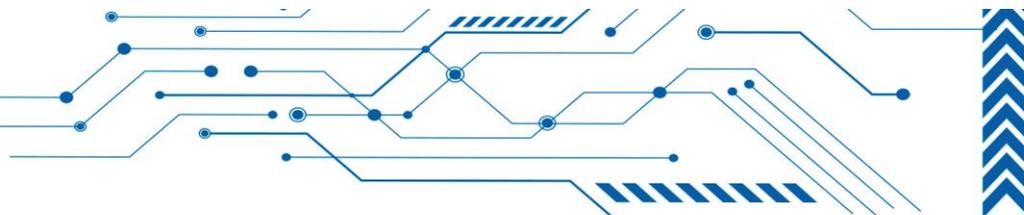
Figura 2 – Comparação entre células de p-Si e m-Si e sua disposição em módulos PV.



Fonte: Adaptado de CÉLULA FOTOVOLTAICA (2020).

Contudo, um dos principais problemas com as placas solares é a exposição a intempéries e os fatores ambientais como a poeira, as folhas, a seiva





de árvores, os excrementos de pássaros e, principalmente, a fuligem da poluição, influenciando na eficiência energética e sua vida útil do painel solar (Gaio; Campos, 2017).

A limpeza dos painéis pode resultar em uma melhora de cerca de 12% na produção de energia. A mesma pesquisa concluiu que na prática, o acúmulo de sujeira pode resultar em uma perda de até 25%. Isso significa, que está gerando até 25% menos eletricidade (Gaio; Campos, 2017).

Dessa forma, o propósito deste projeto é analisar o impacto energético causado pela sujeira nos módulos solares, além de desenvolver um protótipo automatizado destinado à limpeza eficiente dessas placas. O objetivo é minimizar ao máximo os potenciais efeitos adversos decorrentes dessa contaminação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

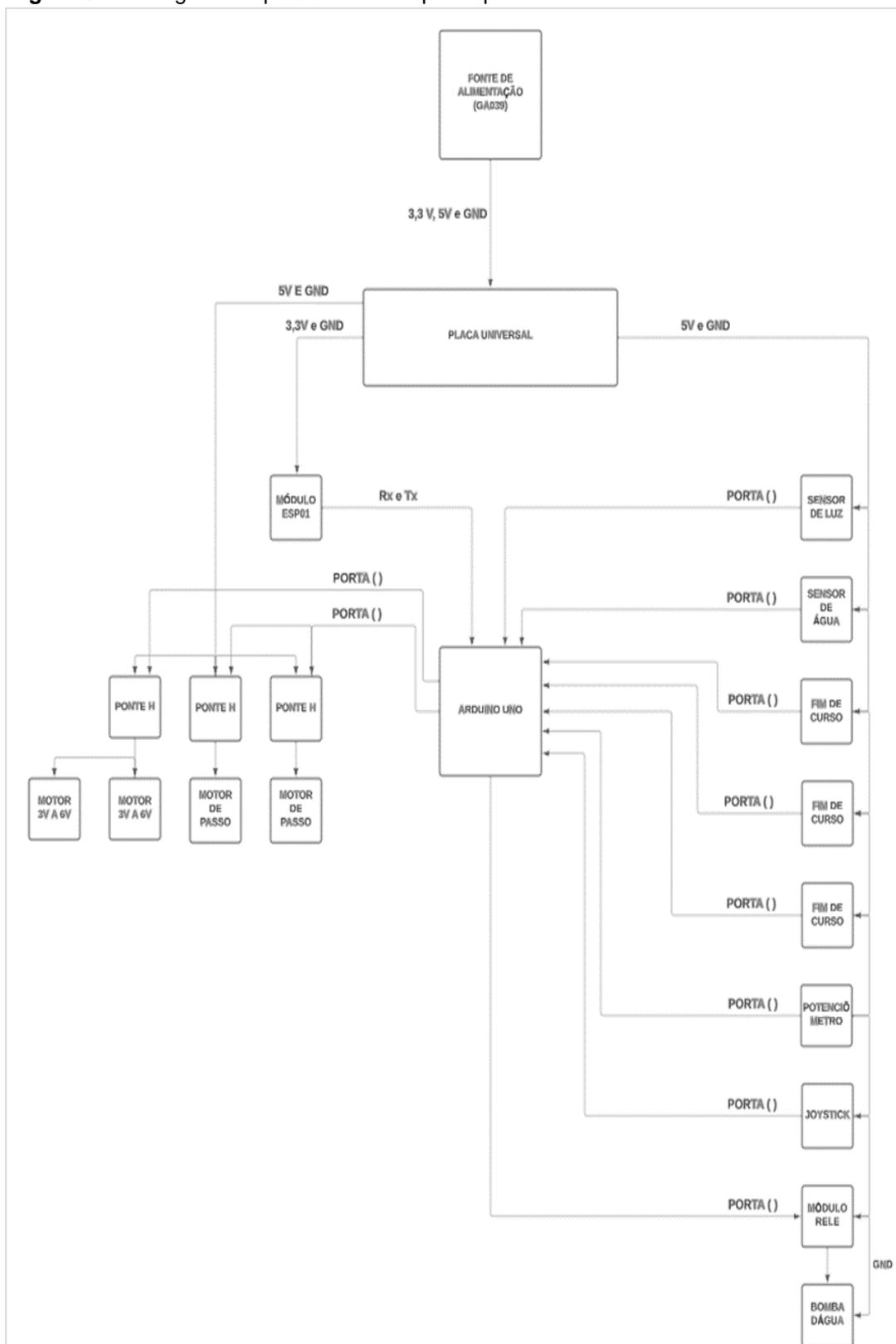
Para a análise do impacto da sujeira, foram observadas duas amostras. A primeira consiste em um sistema fotovoltaico residencial, composto por 9 placas solares, usando um inversor modelo GW3000-XS. Esse sistema está localizado em uma residência na cidade de Uberaba, estado de Minas Gerais. O segundo sistema fotovoltaico também é residencial e está localizado na área rural na cidade de Conceição das Alagoas, Minas Gerais, composto por 12 placas solares e um inversor modelo On Grid 1.6KWp EGT 1600 LITE INTELBRAS.

Em paralelo a isso, foi desenvolvido um protótipo para limpeza automatizada de sistemas fotovoltaicos. O projeto consiste em um mecanismo que percorre a superfície da placa solar, limpando-a por meio de movimentos rotativos de rolos com cerdas, água e detergente neutro.

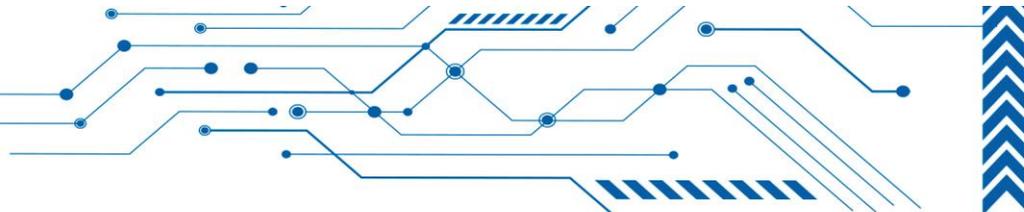
A alimentação do sistema é feita pela fonte GA039 da Multilaser, a qual fornece diversas tensões de saída, sendo utilizada no projeto somente 3,3V e 5V. Para o processamento do protótipo foi utilizado o Arduino Uno, sendo integrado com o chip do microcontrolador ATmega328P. A Figura 3 apresenta o diagrama completo de blocos do sistema eletrônico proposto.



Figura 3 – Fluxograma representativo do protótipo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).



A construção do protótipo foi dividida em 3 etapas, separadas por áreas, sendo: mecânica, elétrica e lógica. Além disso, foi desenvolvida uma estrutura (gabinete) para comportar todos os equipamentos (Figura 4).

Figura 4 – Estrutura do protótipo.



Fonte: Acervo dos autores (2024).

O suporte localizado na parte superior do gabinete simula um telhado com placas solares, sendo o protótipo mais próximo da realidade. A estrutura mecânica é composta por duas cremalheiras e duas engrenagens, as quais são responsáveis pelo deslocamento do sistema de limpeza. Por se tratar de um sistema móvel, foi utilizada uma cortina de cabos em paralelo ao movimento.

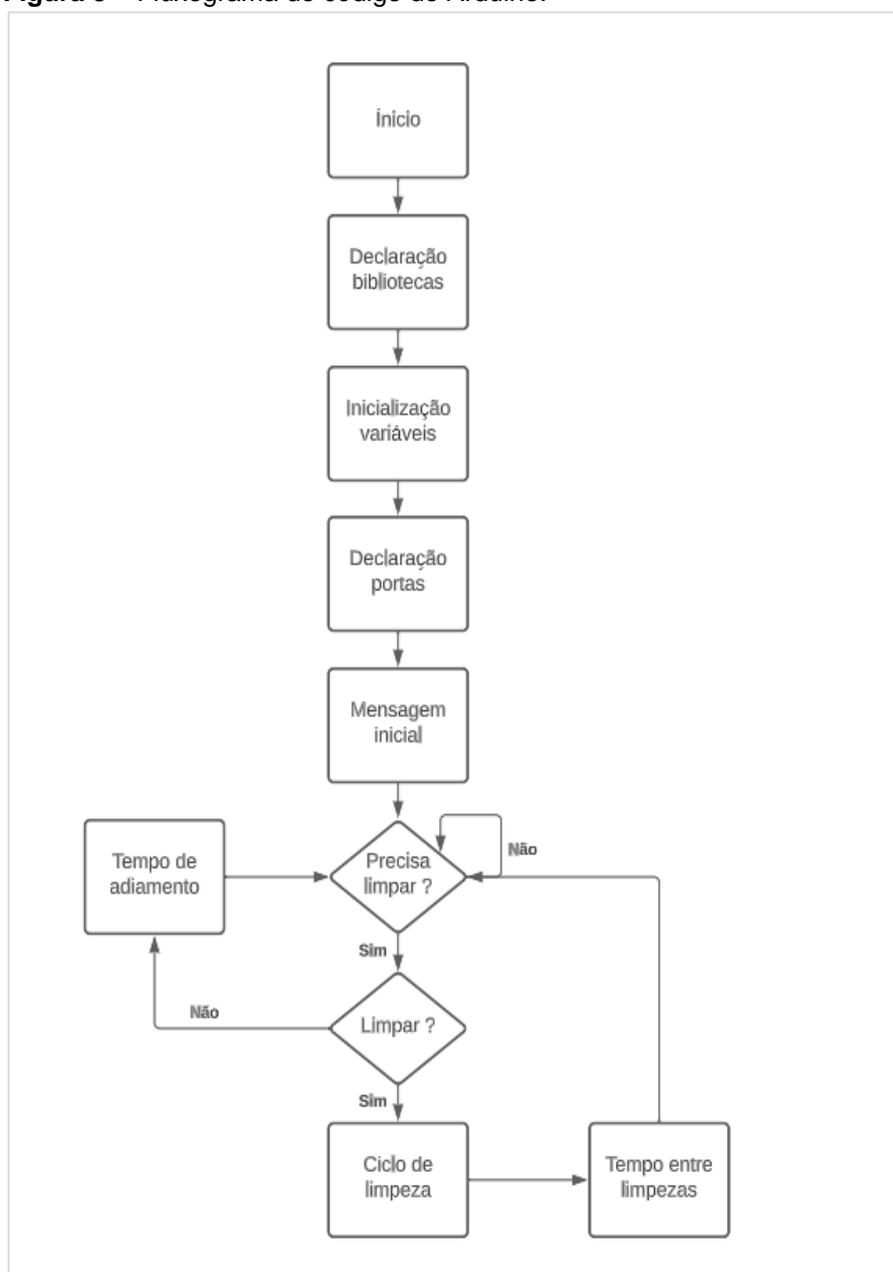
A parte elétrica foi alimentada por uma fonte de alimentação GA039, da Multilaser, e sua energia distribuída para uma placa universal. O deslocamento pela cremalheira foi realizado por dois motores de passo, modelo 28byj-48. Para rotacionar os rolos foram usados dois motores com redução.

Os parâmetros de decisão da limpeza vieram do sensor de luminosidade, associado a um potenciômetro, tendo a função de simular a produção de energia a partir da sua variação de resistência. Para controle de limites, foi utilizado o sensor de água para monitorar o nível do reservatório, além dos três fins de curso para gerenciar a posição atual do deslocamento, sendo elas, inicial, final e de repouso.



No intuito do protótipo ser uma maquete com ações repetitivas, foi empregado uma bomba d'água para recircular o líquido, sendo acionada por meio de um módulo relé eletromecânico. Na parte lógica, utilizamos o arduino uno, composto pelo microcontrolador ATMEGA328, sendo responsável por toda a parte de controle do sistema de limpeza. Foi utilizado também a placa de controle da Espressif, o Esp0, com objetivo de realizar o controle remoto do equipamento, sendo possível o acionamento da limpeza. Na Figura 5, apresentada a seguir, é mostrado o diagrama de blocos com o fluxograma básico do código implementado no Arduino.

Figura 5 – Fluxograma do código do Arduino.

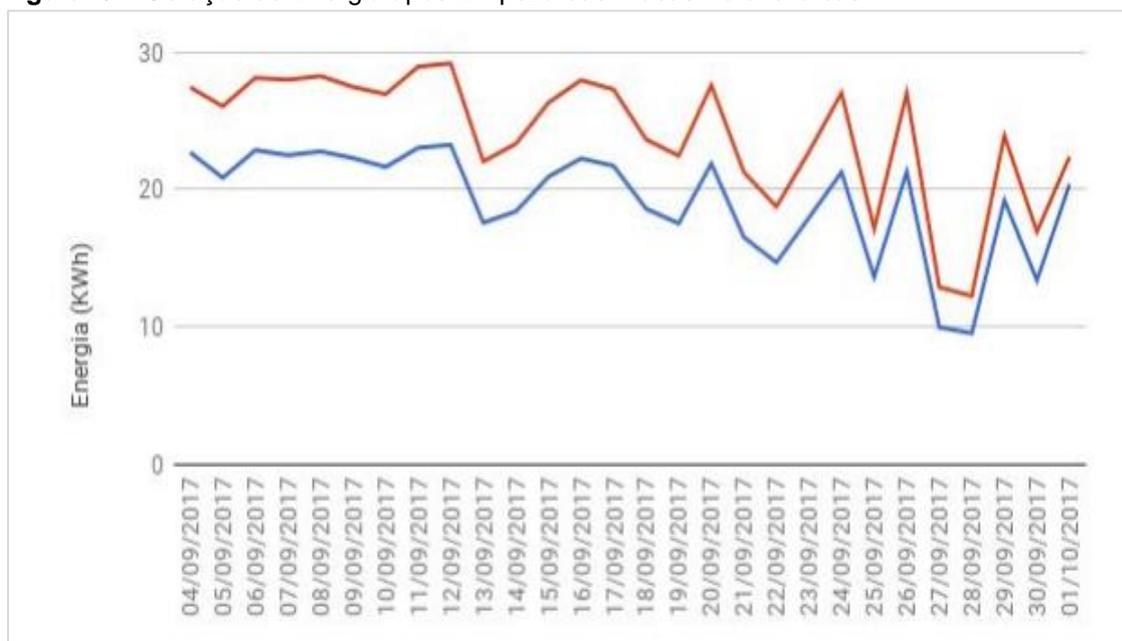


Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

3. RESULTADOS

De acordo com Soares Júnior (2018), a sujidade tem um impacto significativo na produção de sistemas fotovoltaicos, como apresentado na Figura 6 mostrada a seguir:

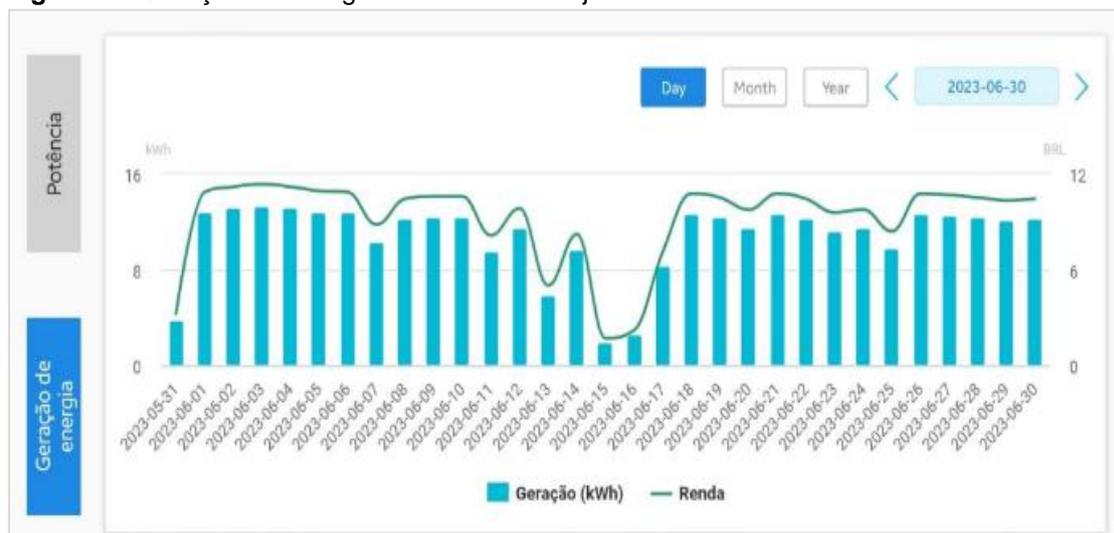
Figura 6 – Geração de Energia após Limpeza das Placas Fotovoltaicas.



Fonte: Soares Júnior *et al.*, 2018.

Para efeito de comparação, foi utilizado primeiro a amostra da residência localizada na cidade de Uberaba. O período analisado foi do dia quinze e dezesseis de junho, no qual a residência estava-se com reforma do telhado. Diante dessa situação, houve o acúmulo de poeira nas placas, ocasionado a diminuição na produção de energia solar, como podemos verificar através da Figura 7, mostrada a seguir.

Figura 7 – Geração de energia solar no mês de junho.

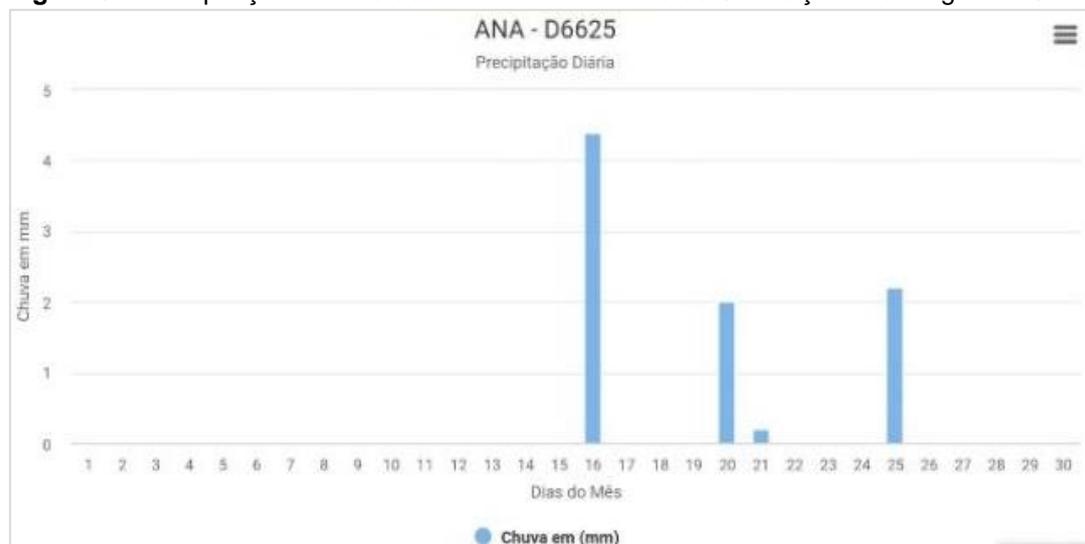


Fonte: Acervo dos autores (2024).

No período da reforma, a produção era de aproximadamente 2.6kWh, extremamente baixa em relação à média da capacidade. Após a limpeza realizada pelo proprietário, a produção teve um aumento 121% no primeiro dia, crescimento alto pelo nível de sujeira presente nas placas. Isso confirma que a sujeira impacta no rendimento do processo, gerando a necessidade de limpezas periódicas.

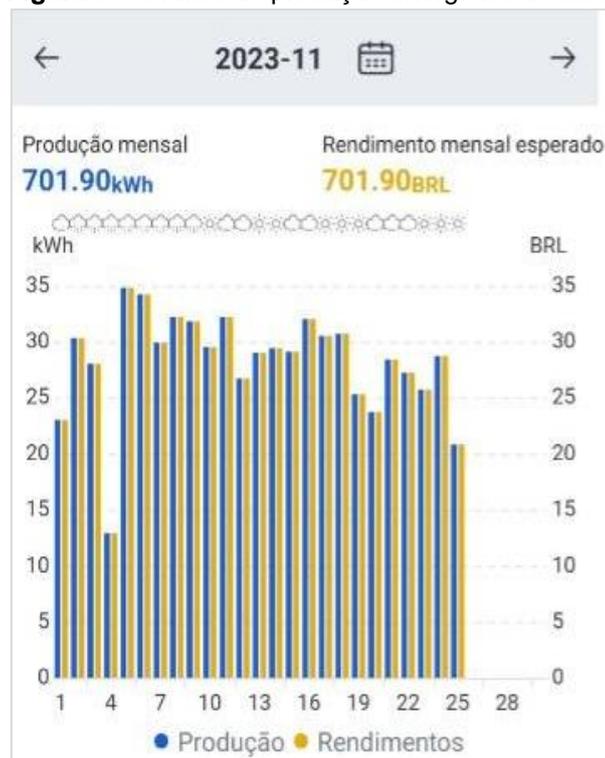
Como segunda amostra para análise, temos um sistema fotovoltaico localizado na região rural de Conceição das Alagoas. Vale ressaltar que os módulos estão instalados em uma área agrícola, onde transitam frequentemente caminhões carregados com cana-de-açúcar, resultando em acúmulo de sujeira nos painéis solares devido à poeira levantada na região.

Ao analisar a Figura 8, apresentada a seguir, a precipitação pluviométrica da região de Conceição das Alagoas é apresentada, e dessa forma, é evidenciado que até o dia 15 de novembro não houve chuva. Essa estiagem, conseqüentemente o acúmulo de sujeira gerou a necessidade de limpeza por parte do proprietário, sendo ela realizada no dia 4 de novembro.

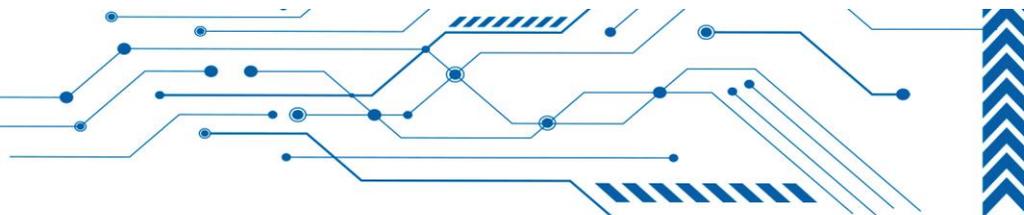
Figura 8 – Precipitação do mês de novembro na cidade de Conceição das Alagoas MG

Fonte: INMET (2024).

Diante disso, é constatado o aumento da geração fotovoltaica após a limpeza dos painéis (Figura 9). No período entre a limpeza e o primeiro dia de chuva do mês de novembro de 2023, a produção teve queda gradativamente. Mas com a chuva dos dias 16 e 20, é notado um crescimento da geração de energia elétrica.

Figura 9 – Gráfico de produção energética do mês de novembro.

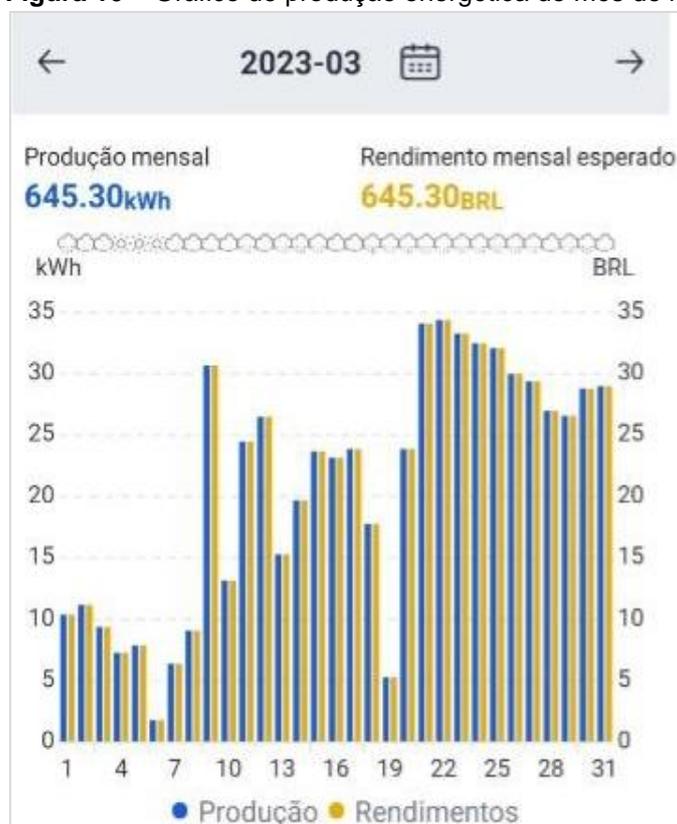
Fonte: Acervo dos autores (2024).



Dessa forma, é confirmado que a chuva limpa parcialmente as placas, tendo em vista o aumento de produção de energia gerada.

A geração de energia fotovoltaico é avaliada com destaque para os meses de março (Figura 10) e abril (Figura 11). Em março, um período caracterizado pela ausência de chuvas, a produção de energia foi de 645,30 kWh. Em contraste, abril, marcado por precipitações (Figura 12), registrou um aumento significativo na produção, totalizando 734,00 kWh. A variação percentual entre esses dois meses foi de 12,08%. Pode-se inferir que esse aumento está relacionado à limpeza proporcionada pela chuva nos módulos solares, impactando positivamente a eficiência do sistema.

Figura 10 – Gráfico de produção energética do mês de março.



Fonte: Acervo dos autores (2024).



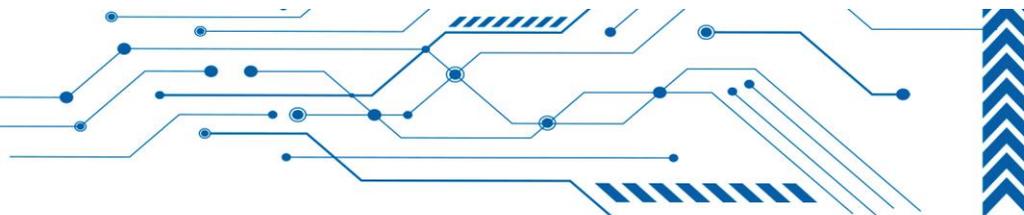
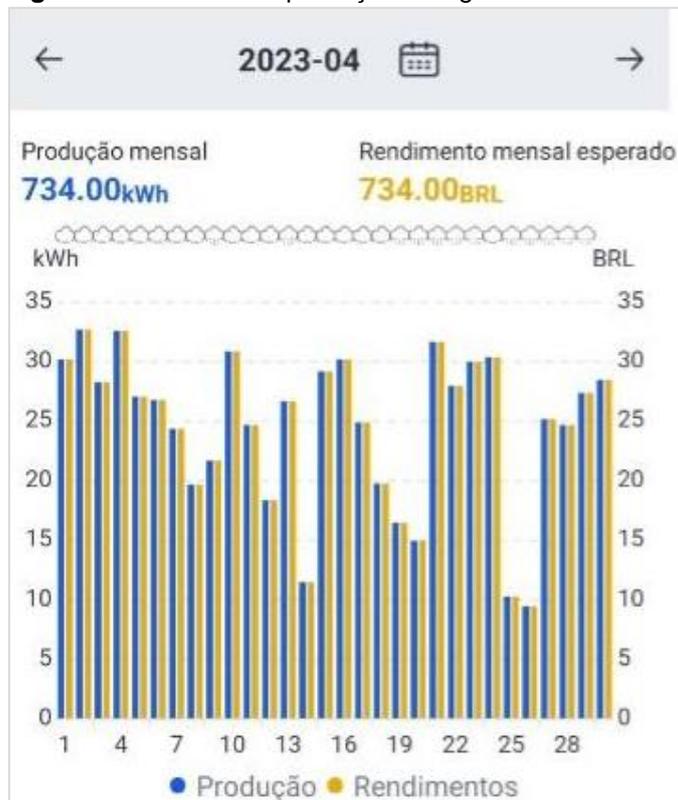
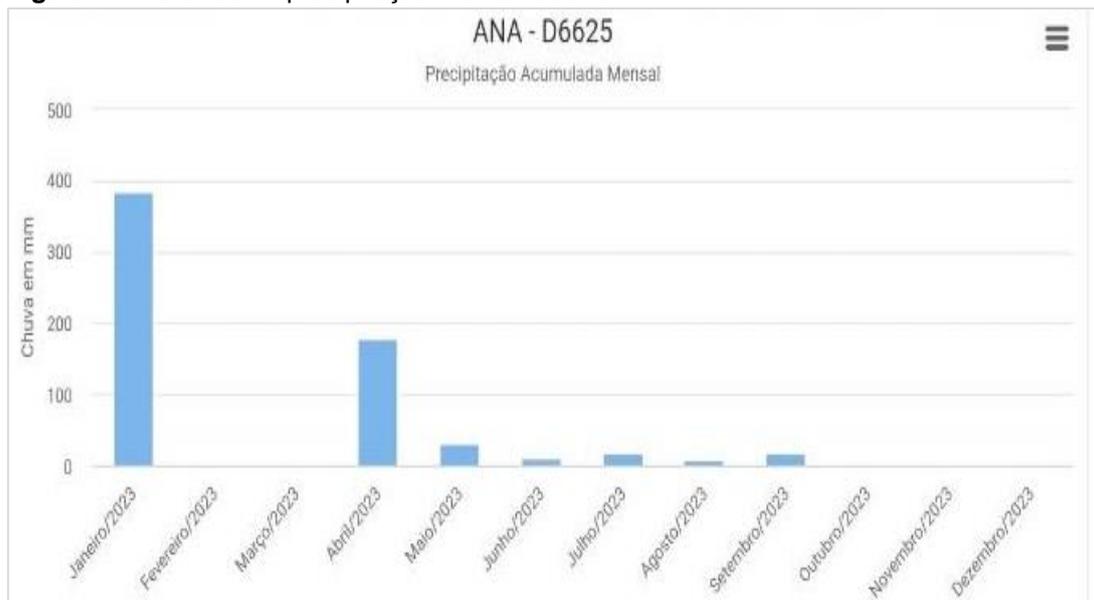


Figura 11 – Gráfico de produção energética do mês de abril.



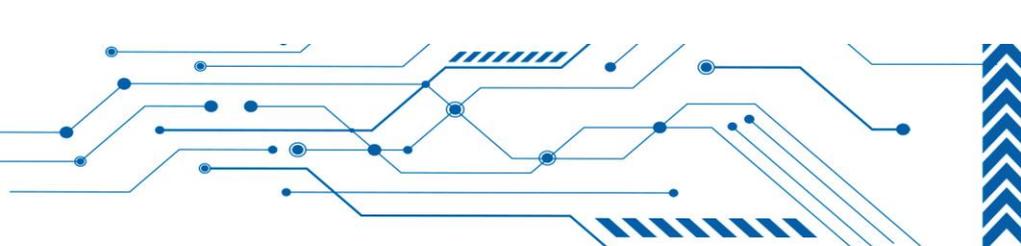
Fonte: Acervo dos autores (2024).

Figura 12 – Gráfico de precipitação mensal do ano



Fonte: INMET (2024).





4. DISCUSSÃO

Considerando os dados de eficiência energética obtidos a partir das placas solares em condições limpas e sujas, é evidente que a limpeza tem um impacto significativo na eficiência. Embora seja importante levar em consideração outros elementos, como a intensidade da radiação solar, a presença de sombras e os níveis de nebulosidade, que também influenciam na eficácia.

Conclui-se que a manutenção regular das placas é essencial. O protótipo oferece uma solução prática e segura para a limpeza, eliminando a necessidade de os proprietários subirem no local ou contratarem serviços externos para realizar essa tarefa.

Entretanto, esse modelo de protótipo é viável apenas para sistemas fotovoltaicos pequenos, pois seu funcionamento necessita de uma estrutura que abrange todas as placas. Além disso, a disposição dos painéis deve ser uniforme para garantir a eficiência.

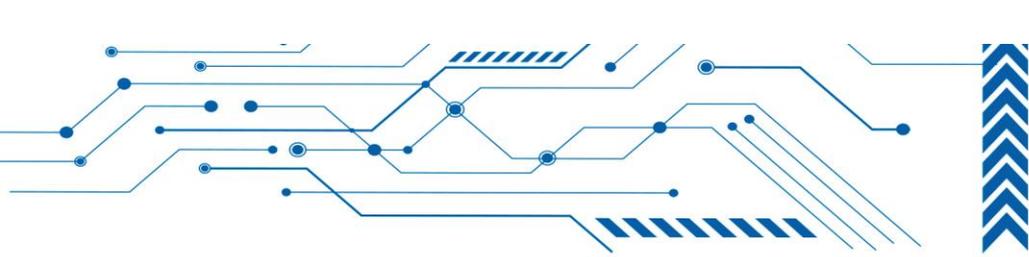
5. CONCLUSÃO

Com as análises das amostras, conclui-se que a sujeira impacta negativamente na produção de energia solar, tendo em vista a correlação da limpeza proveniente do proprietário e da chuva que proporcionou o aumento da produção amostrada.

O projeto, mesmo sendo um protótipo, destaca-se pela praticidade de uma limpeza automatizada das placas solares, mostrando-se funcional e eficiente, atendendo as expectativas estabelecidas. Diante disso, foi construído um equipamento prático que simulasse o processo de limpeza em todas suas etapas.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se aperfeiçoar a conexão remota, possibilitando ao sistema proposto estabelecer comunicação com o proprietário sobre a necessidade da limpeza. Portanto, a limpeza de placas solares é extremamente necessária para que se tenha um melhor aproveitamento na geração de energia e o protótipo vem como uma solução para uma limpeza mais prática e segura para o proprietário. A energia solar está uma constante crescente e novas tecnologias irão surgir para um maior facilidade e qualidade para o sistema.





REFERÊNCIAS

CÉLULA FOTOVOLTAICO: **Tudo o que você precisa saber**. Disponível em: <https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/> Acesso em: 23 jan. 2024.

ENERGIA e ELETRICIDADE: Fontes renováveis. In: **ENERGIA Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. 2. ed.v. 1, cap. 1, 2, 3, p. 15-16, 26-27, 46, 58, 65-69, 74- 76. ISBN 9788536509785. São Paulo: Érica, 2012.

GAIO, J. N; CAMPOS, K. M. A. **Determinação do tempo ótimo para limpeza de painéis fotovoltaicos para obtenção da melhor produtividade: estudo de caso de caso dos SFVCR's implantados na UTFPR**. Curitiba: Monografia de TCC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 27 jan. 2024.

NASCIMENTO, R.L. **Energia solar no Brasil: situação e perspectiva**. Estudo técnico. Brasília: Câmara dos Deputados do Brasil, 2014.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. (org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel - Cresesb, 2014.

SILVA, J. S. **Análise da influência da temperatura na geração de energia utilizando painéis fotovoltaico os monocristalinos e policristalinos**. Alegrete: Monografia de TCC, Universidade Federal do Pampa, 2016.

SOARES JÚNIOR, J. G.; CRUZ, S. R.; AMARAL, L. S. Impacto da sujeidade sobre o desempenho de sistemas fotovoltaicos. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar** – Gramado RS (2018).

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações, sistemas isolados e conectados à rede**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

