

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MATEUS OLIVEIRA COSTA**

**PROPOSTA DE ROBÔ PARA LIMPEZA DE PAINÉIS SOLARES**

**UBERLÂNDIA**  
**2024**

**MATEUS OLIVEIRA COSTA**

**PROPOSTA DE ROBÔ PARA LIMPEZA DE PAINÉIS SOLARES**

Trabalho de Conclusão de Curso da Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Uberlândia - UFU - Campus Santa Mônica, como requisito para a obtenção do título de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

Universidade Federal de Uberlândia – UFU  
Faculdade de Engenharia Elétrica – FEELT

Orientador Prof. Dr. Marcelo Barros de Almeida

**UBERLÂNDIA**  
**2024**

## **PROPOSTA DE ROBÔ PARA LIMPEZA DE PAINÉIS SOLARES**

Trabalho de Conclusão de Curso da Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Uberlândia - UFU - Campus Santa Mônica, como requisito para a obtenção do título de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

Uberlândia (MG), 26 de Abril de 2024.

### COMISSÃO EXAMINADORA

---

**Prof. Dr. Marcelo Barros de Almeida**  
Orientador

---

**Prof. Dr. Josué Silva de Moraes**  
Membro Avaliador

---

**Mestre Luís Ricardo Cândido Côrtes**  
Membro Avaliador

**UBERLÂNDIA**  
**2024**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha gratidão a Deus, cuja sabedoria infinita me guiou com cuidado e zelo ao longo desta jornada como estudante. Sua orientação constante foi a luz que iluminou meu caminho, conduzindo-me com segurança através dos desafios e das adversidades. Em momentos de dificuldade, sua presença trouxe-me forças e esperanças, jamais deixando-me sentir sozinho.

Expresso minha profunda gratidão a todos os membros da minha família, cujo apoio e sacrifício foram fundamentais para que eu pudesse concluir esta graduação. Em especial, gostaria de reconhecer o incansável esforço e dedicação da minha mãe, Luciene Barbosa Costa, e da minha avó, Maria Barbosa da Costa, que trabalharam arduamente para garantir que eu tivesse as condições necessárias para permanecer na cidade e me dedicar aos estudos.

Além disso, agradeço o amor e o apoio incondicional da minha namorada, Brenda Prudencio da Costa Silva. Sua presença ao meu lado foi a inspiração que impulsionou minhas conquistas. Cada gesto de carinho e encorajamento foi um combustível para minha formação. Sua dedicação e compreensão tornaram essa caminhada mais significativa e especial.

Às amigas sinceras, aos professores dedicados e aos colegas de jornada, meu sincero agradecimento por cada palavra de incentivo, por cada noite de estudo compartilhada e por cada desafio superado em conjunto. Cada momento vivido ao lado de todos vocês foram verdadeiramente valiosos e inspiradores.

É com profunda gratidão que reconheço a importância de cada um que cruzou meu caminho durante esta trajetória. Que possamos continuar a ser agentes de mudança e a colher bons frutos em todas as nossas empreitadas futuras.

Por fim, um agradecimento à equipe de eletrônica digital do Laboratório de Mecânica de Estruturas (LMEst), cujo apoio e colaboração foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

*“Posso todas as coisas naquele  
que me fortalece.”  
(Filipenses 4:13)*

## RESUMO

Este estudo aborda a aplicação da robótica na otimização da eficiência e sustentabilidade em sistemas de energia solar, concentrando-se na limpeza e manutenção de placas solares. Exploramos como a automação pode aprimorar a performance energética, reduzir custos operacionais e superar desafios em ambientes desafiadores. A implementação de robôs especializados não apenas assegura a eficiência imediata ao prevenir a acumulação de sujeira nas células fotovoltaicas, mas também promove a longevidade do sistema. Além disso, destacamos a contribuição para a sustentabilidade, minimizando a dependência de fontes não renováveis.

O Brasil destaca-se como líder na geração de energia solar fotovoltaica, contribuindo para a redução das emissões de dióxido de carbono. No entanto, desafios como a manutenção e limpeza dos sistemas solares persistem. Neste contexto, a aplicação da robótica surge como uma solução promissora para otimizar a eficiência operacional e prolongar a vida útil dos painéis solares, reduzindo a necessidade de intervenção humana direta. Essa abordagem não só visa maximizar a produção de energia solar, mas também promove a sustentabilidade ambiental e a segurança energética global, representando um passo significativo em direção a uma matriz energética mais limpa e renovável.

**Palavras-chave:** Robótica. Limpeza. Energia solar. Eficiência energética.

## ABSTRACT

*This study addresses the application of robotics in optimizing efficiency and sustainability in solar energy systems, focusing on cleaning and maintenance of solar panels. We explore how automation can improve energy performance, reduce operating costs and overcome challenges in challenging environments. The implementation of specialized robots not only ensures immediate efficiency by preventing dirt from accumulating in photovoltaic cells, but also promotes system longevity. Furthermore, we highlight the contribution to sustainability, minimizing dependence on non-renewable sources.*

*Brazil stands out as a leader in the generation of photovoltaic solar energy, contributing to the reduction of carbon dioxide emissions. However, challenges such as maintaining and cleaning solar systems persist. In this context, the application of robotics appears as a promising solution to optimize operational efficiency and extend the useful life of solar panels, reducing the need for direct human intervention. This approach not only aims to maximize solar energy production, but also promotes environmental sustainability and global energy security, representing a significant step towards a cleaner, more renewable energy matrix.*

**Keywords:** *Robotics. Cleaning. Solar energy. Energy efficiency.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Painéis solares analisadas com sujidade fixada após chuvas fortes.....	17
Figura 2 – Limpeza Manual de Painéis Solares .....	18
Figura 3 – Limpeza Mecanizada de Painéis Solares .....	19
Figura 4 – Relação de desempenho entre o robô de limpeza e a limpeza manual .....	20
Figura 5 – Infográfico da Matriz Elétrica Brasileira .....	21
Figura 6 – Robótica na limpeza .....	22
Figura 7 – Robô de limpeza linear .....	23
Figura 8 – Robô de limpeza autônoma.....	23
Figura 9 – Drones de limpeza.....	24
Figura 10 – Metodologia V .....	26
Figura 11 – Esquemático elétrico do robô.....	27
Figura 12 – Bateria LiFePO4 .....	28
Figura 13 – Motor CC .....	29
Figura 14 – Esteira.....	29
Figura 15 – Módulo Relé.....	30
Figura 16 – Bomba d’agua .....	30
Figura 17 – Módulo Bluetooth JDY-33.....	31
Figura 18 – Módulo Sensor IR .....	32
Figura 19 – Sensor de nível .....	32
Figura 20 – Bico pulverizador ajustável.....	33
Figura 21 – Escovas circulares de nylon .....	34
Figura 22 – Módulo Regulador de Tensão DC/DC ajustável.....	34
Figura 23 – NÚCLEO-F303RE4.....	35
Figura 24 – Chassi .....	36
Figura 25 – Reservatório .....	36
Figura 26 – Caixa plástica .....	37
Figura 27 – Trajetória do Robô .....	38
Figura 28 – Fluxograma do Firmware.....	38

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Análise dos métodos de limpeza.....	25
Tabela 2 – Custos dos Componentes e Mão de Obra para o Protótipo .....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

[A]	<i>Ampère</i>
[GW]	<i>Gigawatt</i>
[RPM]	<i>Rotações por minuto</i>
[V]	<i>Volts</i>
[VDC]	<i>Volts em Corrente Contínua</i>
[W]	<i>Watt</i>
[CM]	<i>Centímetro</i>
ABSOLAR	<i>Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica</i>
ANEEL	<i>Agência Nacional de Energia Elétrica</i>
CC/DC	<i>Corrente Contínua/Direct Current</i>
EUA	<i>United States of America</i>
IR	<i>Infra-red</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
LiFePO4	<i>Fosfato de ferro e lítio</i>
NREL	<i>Energy's National Renewable Energy Laboratory</i>
PV	<i>Célula Fotovoltaica</i>
SIN	<i>Sistema Interligado Nacional</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>
VDI	<i>Verein Deutscher Ingenieure</i>

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	Justificativa .....	14
1.2	Objetivo .....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
2.1	Painéis Solares Fotovoltaicos .....	16
2.2	Técnicas de limpeza .....	16
2.3	Tendências do mercado .....	20
2.4	Soluções comerciais .....	22
2.4.1	Robô de limpeza linear .....	22
2.4.2	Robô de limpeza autônoma .....	23
2.4.3	Limpeza por drones .....	24
2.4.4	Comparativo .....	24
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>26</b>
3.1	Projeto e Integração do Sistema .....	26
3.2	Componentes Elétricos e Mecânicos .....	28
3.2.1	Fonte de Alimentação .....	28
3.2.2	Motor CC .....	28
3.2.3	Esteiras .....	29
3.2.4	Módulo Relé Mecânico .....	29
3.2.5	Bomba D' Água .....	30
3.2.6	Módulo Bluetooth .....	31
3.2.7	Sensor Infravermelho .....	31
3.2.8	Sensor de Nível .....	32
3.2.9	Bico Regulável .....	33

<b>3.2.10</b>	<b>Escovas Nylon.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.11</b>	<b>Módulo Regulador de Tensão DC/DC .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.12</b>	<b>Microcontrolador .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.13</b>	<b>Chassi .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.14</b>	<b>Reservatório .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.15</b>	<b>Caixa plástica .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3</b>	<b>Firmware .....</b>	<b>37</b>
<b>3.4</b>	<b>Inclinação das placas .....</b>	<b>39</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>40</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>42</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>44</b>
	<b>APÊNDICE A – TABELA DE CUSTOS .....</b>	<b>50</b>
	<b>APÊNDICE B – PLANO DE NEGÓCIOS .....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento exponencial da energia renovável, impulsionado por avanços tecnológicos e preocupações ambientais, reflete uma transformação significativa no cenário energético global. Diante das incertezas relacionadas às mudanças climáticas e à instabilidade geopolítica, as energias renováveis emergem como alternativas mais seguras e confiáveis, incentivadas por políticas públicas favoráveis e investimentos em infraestrutura. Essa transição não só reduz as emissões de gases do efeito estufa, mas também impulsiona o desenvolvimento econômico e a criação de empregos. Assim, a expansão da energia renovável não apenas consolida a queda na produção de combustíveis fósseis, mas também promove a sustentabilidade ambiental e a segurança energética global.

O Brasil tem se destacado como um dos líderes no aumento da capacidade de geração de energia fotovoltaica. Em 2022, o país alcançou a oitava posição no ranking global de produção de energia solar e ingressou pela primeira vez no grupo das dez nações com maior potência instalada de fontes renováveis, subindo da 13ª para a 8ª posição. A energia solar fotovoltaica já atraiu aproximadamente R\$ 144 bilhões em investimentos adicionais para o país, contribuindo significativamente para a redução das emissões de dióxido de carbono (ABSOLAR, 2023).

A crescente importância das energias renováveis no cenário global enfatiza a necessidade de eficiência e sustentabilidade desses sistemas, direcionando o foco para a otimização da produção de energia solar. A geração de energia solar em diferentes regiões é influenciada por fatores como a incidência solar, clima, temperatura, efeitos de sombreamento nos painéis, tipos de tecnologia e níveis de poluição. As tecnologias solares estão em constante evolução para aprimorar os projetos existentes de diversos sistemas de conversão de energia solar (PANDEY, PANDEY, TUMULURU, 2022). Neste contexto, uma proposta utilizando a robótica emerge como uma solução potencial para aprimorar a eficiência operacional e prolongar a vida útil das instalações fotovoltaicas.

Ao discutir os benefícios econômicos e ambientais deste tema, é essencial compreender os desafios técnicos associados à implementação bem-sucedida dessas tecnologias. Os módulos fotovoltaicos frequentemente são impactados por diversos elementos, como poeira, folhas, excrementos de aves, entre outros. Esses objetos obstruem os componentes fotossensíveis, dificultando a efetiva utilização da luz solar e resultando em uma significativa redução na eficiência da geração de energia, consequentemente ocasionando perdas econômicas.

Além disso, o acúmulo de detritos nos módulos fotovoltaicos pode provocar superaquecimento local e danos aos próprios módulos. Para contornar essa questão, é fundamental realizar limpezas e manutenções regulares, garantindo assim sua eficiência na geração de energia. Os métodos de limpeza incluem a limpeza natural, manual e mecânica.

A limpeza natural depende da chuva para remover a sujeira, mas é limitada por fatores climáticos. Já a limpeza não automatizada envolve o uso de ferramentas como esfregões e pistolas de água de alta pressão, demandando trabalho manual e uma grande quantidade de recursos hídricos. Contudo, esse método apresenta baixa eficiência de limpeza e altos custos de mão de obra, além de expor a equipe de conservação à forte radiação ultravioleta e a poeira, representando uma séria ameaça à saúde humana (SUN, GUO, LIU, 2023).

Considerando a urgência em atender às crescentes demandas por fontes de energia limpa e sustentável, e diante dos desafios ambientais e da busca por soluções inovadoras, a aplicação de robôs na limpeza e manutenção de placas solares não apenas visa maximizar a eficiência imediata desses sistemas, mas também contribui para a sustentabilidade a longo prazo, reduzindo a dependência de fontes não renováveis. Além disso, tal iniciativa promove a saúde dos trabalhadores envolvidos, ao diminuir sua exposição à radiação e o desgaste físico decorrente da natureza repetitiva do trabalho manual.

## **1.1 Justificativa**

A investigação sobre a aplicação da robótica na limpeza e manutenção de placas solares se mostra essencial diante do contexto atual, caracterizado pela busca incessante por soluções sustentáveis na geração de energia. A crescente dependência de fontes renováveis, especialmente a energia solar, ressalta a necessidade premente de aprimorar a eficiência desses sistemas para enfrentar os desafios ambientais e suprir as demandas energéticas globais.

A relevância deste tema se torna evidente ao considerar que as placas solares, frequentemente sofrem com a perda de eficiência devido à acumulação de sujeira ao longo do tempo. A introdução da robótica nesse contexto não apenas representa uma abordagem inovadora, mas também promete maximizar a produção de energia solar, contribuindo assim para a transição para uma matriz energética mais sustentável.

Ao analisar os benefícios econômicos, ambientais e tecnológicos da utilização de robôs na manutenção e limpeza de placas solares, esta pesquisa terá um impacto significativo

no avanço do conhecimento e no desenvolvimento de práticas mais eficientes e sustentáveis na geração de energia solar. Além disso, a investigação nesse campo é justificada pela urgência em superar desafios práticos, como o acesso a áreas remotas ou de difícil alcance, onde muitas instalações solares estão localizadas. A automação dessas tarefas de manutenção não só reduz os custos operacionais a longo prazo, mas também minimiza os riscos associados às intervenções humanas em ambientes desafiadores.

## 1.2 Objetivo

Este estudo tem como objetivo principal uma análise abrangente sobre a aplicabilidade da robótica na manutenção e limpeza de placas solares, com uma atenção especial voltada para as demandas e desafios enfrentados por esta área. Nosso propósito é analisar como os robôs impactam na eficiência operacional e na sustentabilidade desses sistemas de geração de energia. Também buscamos propor soluções por meio da robótica para reduzir os custos operacionais a longo prazo e mitigar os riscos relacionados à intervenção humana em ambientes desafiadores.

Além disso, buscamos compreender os desafios técnicos envolvidos na concepção e implementação de robôs capazes de operar eficientemente em diversos contextos. O objetivo é fornecer *insights* relevantes para o avanço tecnológico nesse campo, contribuindo para o desenvolvimento de práticas mais eficazes e sustentáveis na manutenção e limpeza de sistemas de energia solar.

Por fim, almejamos proporcionar uma visão abrangente sobre como a robótica pode desempenhar um papel significativo na otimização da eficiência e longevidade dos sistemas fotovoltaicos, destacando sua importância na transição global para fontes de energia mais limpas e renováveis.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico, serão expostas algumas teorias fundamentais, cujo entendimento é crucial para uma compreensão aprofundada do trabalho realizado, e para apresentar os avanços e desenvolvimentos atuais nesta área de pesquisa.

### 2.1 Painéis Solares Fotovoltaicos

A eficiência dos painéis fotovoltaicos é influenciada diretamente pela quantidade de radiação solar que incide sobre eles, determinada pelo ângulo de azimute dos painéis. Adicionalmente, a deposição de poeira na superfície do painel fotovoltaico pode reduzir sua eficiência na geração de energia. Portanto, a limpeza periódica dos painéis é crucial para maximizar sua eficiência e, conseqüentemente, a quantidade de energia elétrica produzida (SANTOSH KUMAR; SHANKAR; MURTHY, 2020).

A capacidade de geração de energia das células solares representa o objetivo primordial na aplicação de sistemas de energia solar. Entre os principais fatores que concorrem para a diminuição da eficiência energética desses sistemas, destaca-se a acumulação de uma variedade de resíduos, incluindo poeira, areia, detritos de animais, pólen e fuligem proveniente de queimadas agrícolas e da poluição humana (MAKMEE; PENGWANG, 2021). Esses desafios exercem um impacto substancial sobre a capacidade de produção energética das células solares, comprometendo sua performance e requerendo intervenções para mitigar os efeitos adversos.

### 2.2 Técnicas de limpeza

Dentre os procedimentos de limpeza destinados aos módulos fotovoltaicos, destacam-se predominantemente métodos de limpeza natural, manual e mecânica. A limpeza natural se apoia na ocorrência de precipitação pluviométrica para a eliminação de resíduos. No entanto, sua eficácia é afetada por condições climáticas adversas, particularmente evidenciadas em regiões áridas e semiáridas, onde a quantidade de precipitação é reduzida, dificultando a realização de uma limpeza adequada (SUN; GUO; LIU, 2023).

Devido ao resfriamento dos painéis fotovoltaicos durante a noite e à sua propensão para atrair o orvalho da manhã, a poeira pode passar por um processo conhecido como cimentação, resultando na fixação da sujeira literalmente sobre a superfície do painel (HICKS, 2021).

Liderados por uma equipe, pesquisadores do *Energy's National Renewable Energy Laboratory* (NREL) do Departamento de Energia dos EUA descobriram que mesmo chuvas constantes podem não ser suficientes para remover o pólen dos painéis solares, o que pode impactar significativamente o desempenho da tecnologia em todos os locais. Contrariando a suposição comum de que chuvas frequentes resultariam em impactos de sujeira negligenciáveis, conforme a Figura 1, constatou-se que o desempenho dos painéis solares diminuiu em até 15% durante o pico da estação polínica, sendo a maioria dos pólenes provenientes de ciprestes, zimbros, pinheiros e carvalhos. Mesmo após o final da época polínica, o desempenho dos painéis solares não regressou aos níveis anteriores de limpeza, apesar das chuvas frequentes (BESSA et al., 2023).

**Figura 1** – Painéis solares analisadas com sujeira fixada após chuvas fortes



Fonte: BESSA et al. (2023)

As usinas solares que foram analisadas pela NREL estavam em operação há mais de sete anos, sem qualquer limpeza manual realizada. A empresa Solar Unsoiled, em colaboração com o proprietário do sistema, observou aumentos de desempenho de 5% a 11% após a implementação de limpeza manual com escova umedecida. Os pesquisadores enfatizaram a importância de uma limpeza planejada para evitar grandes perdas financeiras e baixo desempenho do sistema, especialmente em regiões com chuvas frequentes. Essas descobertas

evidenciam a necessidade de examinar cuidadosamente o potencial de sujeira em ambientes com altos índices pluviométricos e ressaltam a importância da manutenção regular para garantir o máximo rendimento dos sistemas solares fotovoltaicos (BESSA et al., 2023).

A limpeza manual geralmente envolve o uso de ferramentas específicas, como esfregões, escovas e pistolas de água de alta pressão, exigindo a intervenção direta de trabalhadores para realizar o procedimento. Esse método consome uma quantidade significativa de recursos hídricos e resulta em uma eficácia de limpeza reduzida, além de estar associado a custos trabalhistas elevados. Além disso, os trabalhadores enfrentam exposição a intensas radiações ultravioleta e à poeira durante o processo de limpeza, representando uma séria ameaça à saúde humana (SUN; GUO; LIU, 2023), conforme ilustrado na Figura 2.

**Figura 2 – Limpeza Manual de Painéis Solares**



Fonte: Prado (2023)

A limpeza mecânica, por outro lado, emprega dispositivos automatizados, como implementos acoplados a veículos robustos, tratores e caminhões, ou robôs de limpeza projetados especificamente para essa finalidade. Esses sistemas, conforme representado na Figura 3, utilizam escovas, sistemas de pulverização ou outras tecnologias para remover sujeira e resíduos dos painéis solares de maneira automática ou semiautomática. Embora envolvam custos elevados de aquisição e manutenção, esses métodos oferecem eficiência na limpeza e minimizam a necessidade de intervenção humana direta, contribuindo para a

preservação do desempenho dos painéis solares a longo prazo.

**Figura 3** – Limpeza Mecanizada de Painéis Solares

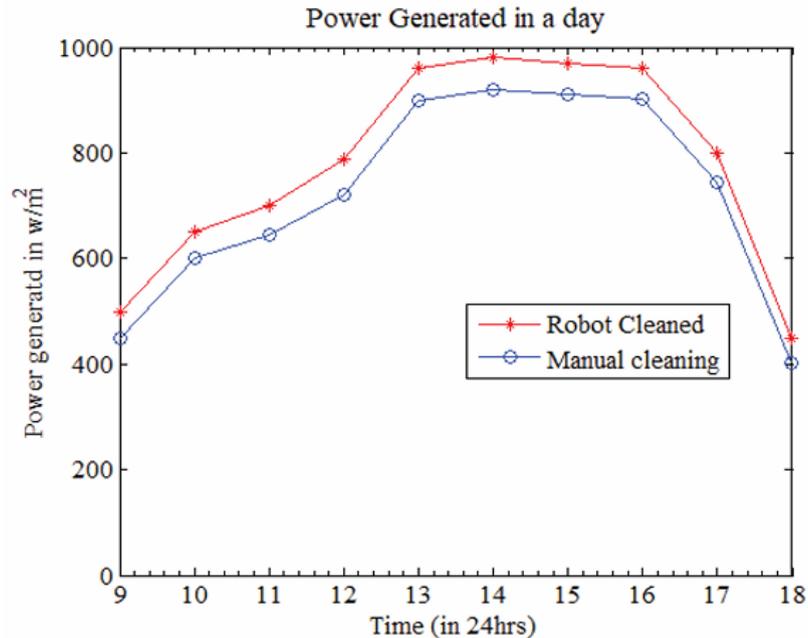


Fonte: Sunbrush (2024)

Apesar de os processos mecanizados apresentarem resultados positivos, a limpeza robótica automatizada tem como objetivo preservar a eficiência global dos painéis solares e pode ser aplicada tanto em usinas de energia solar de grande escala quanto em instalações menores. Esse método oferece vantagens significativas em comparação com a limpeza manual, devido os robôs serem capazes de realizar a limpeza de forma mais consistente e eficiente, garantindo uma remoção completa da sujeira e resíduos dos painéis solares (SANTOSH KUMAR; SHANKAR; MURTHY, 2020). Além disso, a automação reduz a necessidade de intervenção humana direta, minimizando os riscos associados à exposição a ambientes desafiadores e aumentando a segurança no local de trabalho.

Ao eliminar a acumulação de poeira e outros detritos nos painéis solares, os sistemas de limpeza robótica contribuem diretamente para a maximização da produção de energia elétrica e prolongam a vida útil dos equipamentos. A comparação de desempenho entre a limpeza manual e a realizada pelo robô de limpeza de painéis solares fotovoltaicos é demonstrado na Figura 4. Verificou-se que a produção de energia após a limpeza manual resultou em uma geração menor em comparação com os painéis limpos pelo robô.

**Figura 4** – Relação de desempenho entre o robô de limpeza e a limpeza manual



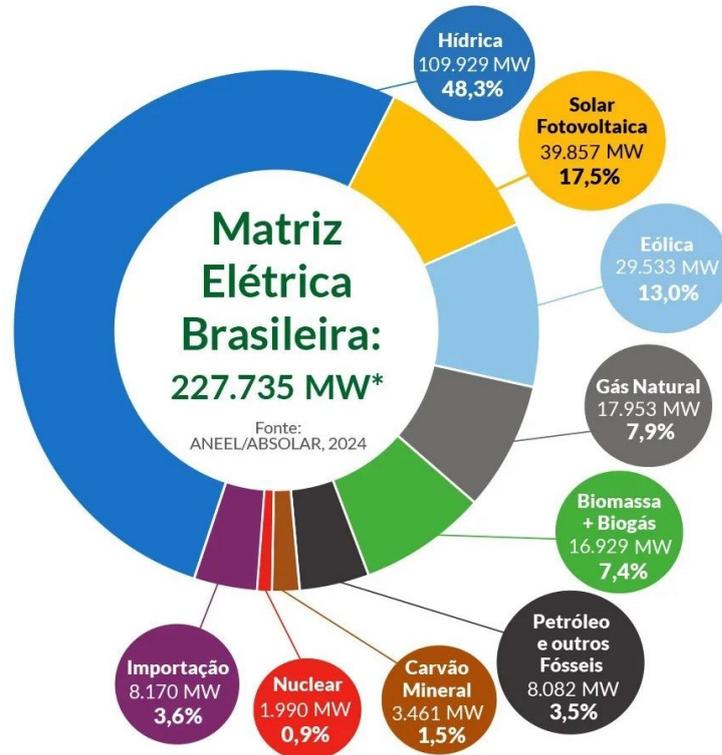
Fonte: Santosh Kumar; Shankar; Murthy (2020)

### 2.3 Tendências do mercado

No contexto do segmento energético brasileiro, a energia solar fotovoltaica está ganhando destaque como uma alternativa promissora para suprir as crescentes demandas de energia elétrica no país (HAIKAL-LEITE, 2021). O Brasil, favorecido por condições climáticas propícias, tem testemunhado um aumento gradual em sua capacidade de produção de energia solar ao longo dos últimos anos, consolidando-se como um dos principais produtores desse tipo de energia na América Latina. Além disso, é relevante destacar que o país está entre os dez maiores produtores de energia solar do mundo (ABSOLAR, 2023).

Atualmente, a capacidade instalada operacional da fonte solar ultrapassa 40 gigawatts [GW], englobando tanto as grandes usinas solares quanto os sistemas de geração distribuída de energia. Essa tecnologia representa 17,5% da matriz elétrica do Brasil, conforme mostrado na Figura 5, e desempenha um papel significativo na transição energética e na garantia da estabilidade do sistema elétrico nacional, adquirindo crescente importância no suporte ao Sistema Interligado Nacional (SIN) (ABSOLAR, 2024).

**Figura 5 – Infográfico da Matriz Elétrica Brasileira**



\*A potência total da matriz não inclui a importação e segue critério aplicado pelo MME, que adiciona, nos valores de capacidade instalada, as quantidades de mini e microgeração distribuída associadas a cada tipo de fonte.

Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2024)

As previsões indicam um aumento significativo na adoção de tecnologias solares, impulsionado por políticas governamentais de incentivo, avanços tecnológicos e o crescente interesse em fontes de energia mais limpas e sustentáveis. Com o aumento da utilização de equipamentos para geração de energia solar, surge uma demanda crescente por manutenção e limpeza desses dispositivos, que desempenham um papel crucial na captura de energia através da luz solar.

Nesse contexto, torna-se essencial examinar as contribuições que a robótica pode oferecer, com o objetivo de aprimorar a eficiência e a sustentabilidade na operação desses sistemas. A aplicação da robótica na limpeza (Figura 6) de sistemas de energia solar surge como uma resposta inovadora e eficaz para enfrentar os desafios associados à manutenção desses sistemas. A necessidade de otimizar a eficiência desses dispositivos, juntamente com a crescente demanda por fontes de energia sustentáveis, impulsiona a busca por soluções avançadas.

**Figura 6 – Robótica na limpeza**

Fonte: SolarCleano (2022)

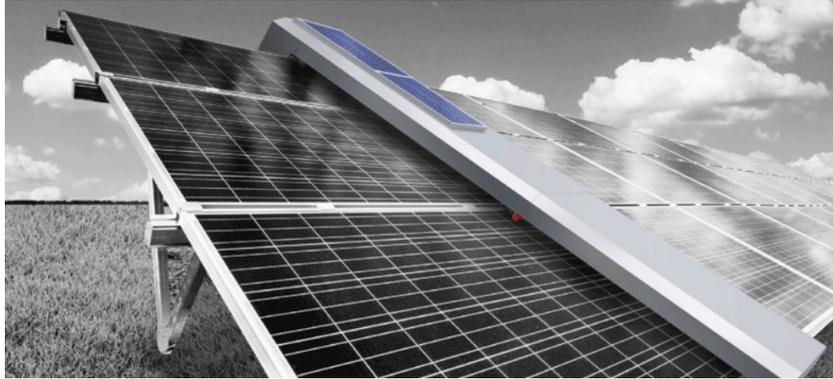
## 2.4 Soluções comerciais

Com o aumento das instalações de painéis fotovoltaicos, surgiram no mercado diversos modelos de robôs de limpeza para atender essa demanda. A seguir, será apresentada uma comparação entre diferentes robôs que realizam a limpeza de painéis solares, destacando suas estratégias, bem como suas vantagens e desvantagens.

### 2.4.1 Robô de limpeza linear

A empresa Morken Group introduziu um robô inovador de inspeção e limpeza de painéis solares, representando um avanço significativo na manutenção e eficiência de sistemas de energia solar. Este protótipo, desenvolvido pela empresa, destina-se a oferecer uma solução abrangente para a limpeza e inspeção das células solares, sendo fixado nas extremidades dos painéis para uma limpeza linear, conforme a Figura 7. Equipado com tecnologia de ponta, o robô realiza suas tarefas de forma autônoma, garantindo a remoção de sujeira e detritos que possam prejudicar o desempenho dos painéis. No entanto, a posição do robô nos painéis solares pode gerar sombras, reduzindo a produção de energia. Além disso, essa limitação pode exigir a instalação de múltiplos robôs para cobrir todo o conjunto de painéis solares, o que pode impactar a eficiência do sistema.

**Figura 7 – Robô de limpeza linear**



Fonte: Morken Group (2024)

#### **2.4.2 Robô de limpeza autônoma**

A Sinfonia Technology lançou um robô equipado com câmera e sensores, capaz de realizar a limpeza autônoma de painéis solares em usinas de energia solar de grande escala. Diferenciando-se pela sua autonomia, este robô é capaz de movimentar-se de painel em painel sem a necessidade de trilhos, garantindo uma cobertura eficiente de toda a área dos painéis, apresentado na Figura 8. Com escova e sistema de borrifamento de água, o robô realiza a limpeza mesmo em condições de baixa luminosidade, por conta dos LEDs infravermelhos integrados. Além disso, a versatilidade do robô é evidenciada pela sua capacidade de lidar com diferentes tipos de painéis, incluindo os inclinados em diferentes ângulos e aqueles com espaçamento entre eles. Com alimentação por bateria e capacidade de transmissão de dados sem fio, o robô pode ser monitorado remotamente através de um tablet, oferecendo informações vitais como nível de água e carga da bateria (OWANO; PHYS.ORG, 2013).

**Figura 8 – Robô de limpeza autônoma**



Fonte: Owano; phys.org (2013)

### 2.4.3 Limpeza por drones

Uma das técnicas propostas para a limpeza de painéis fotovoltaicos envolve o uso de drones (Figura 9), os quais utilizam sua força de empuxo gerada pelas hélices para realizar a limpeza da superfície dos painéis. Essa abordagem é vantajosa, uma vez que não requer contato físico direto com os painéis e dispensa a necessidade de intervenção humana. Além disso, os drones podem ser programados para executar a limpeza de forma periódica, garantindo a manutenção constante dos painéis sem a necessidade de supervisão humana. No entanto, essa técnica pode apresentar algumas limitações em relação à eficiência do processo, especialmente em áreas onde a pressão exercida pelo drone não é suficiente para remover toda a sujeira (MOHANDÉS, M., et al., 2021).

Ademais, certos tipos de resíduos podem aderir mais fortemente à superfície dos painéis, o que pode reduzir a eficácia da limpeza, como ilustrado na Figura 1. Apesar dessas limitações, estima-se que a utilização de drones para a limpeza de painéis solares seja até 25% mais econômica do que os métodos de limpeza convencionais, uma vez que esses dispositivos também podem ser empregados para o monitoramento contínuo dos painéis e podem operar de forma teleoperada ou autônoma (PORTA; NARVAEZ, 2023).

**Figura 9** – Drones de limpeza



Fonte: Ekko Green (2022)

### 2.4.4 Comparativo

De acordo com a apresentação dos três modelos de cada empresa, foram obtidas as seguintes análises apresentadas na Tabela 1:

**Tabela 1** – Análise dos métodos de limpeza

<b>Método de Limpeza</b>	<b>Adaptabilidade</b>	<b>Limpeza</b>	<b>Autonomia</b>	<b>Vantagem</b>	<b>Desvantagem</b>
<b>Linear</b>	Média	Sem água	Média	Limpeza rápida	Sombreamento nos painéis e sistema fixo
<b>Autônoma</b>	Alta	Com água	Alta	Autônomo	Alto custo e consumo de energia
<b>Drones</b>	Alta	Sem água	Baixa	Rápido e programável	Alto Consumo de bateria

Fonte: Autor (2024)

O método linear apresenta uma adaptabilidade média, sendo geralmente fixo em trilhos que percorrem nos painéis solares. A limpeza sem o uso de água pode ser vantajosa em algumas situações, especialmente em regiões onde a água é escassa. Além da agilidade na limpeza sua autonomia é considerada média. No entanto, o sombreamento causado nos painéis atrapalha o desempenho do painel solar devido à sua estrutura fixa.

A limpeza autônoma destaca-se pela sua notável adaptabilidade, capaz de se ajustar a uma variedade de superfícies e inclinações dos painéis solares. Ao utilizar água no processo de limpeza, ela pode oferecer uma eficácia superior, especialmente em casos de sujeira persistente. Sua alta autonomia permite que opere de forma independente, reduzindo a necessidade de intervenção humana constante. Entretanto, seu alto custo inicial e o consumo de energia representam desafios que a colocam em desvantagem em comparação com outras abordagens.

Os drones oferecem uma alta adaptabilidade, podendo acessar áreas de difícil alcance e ajustar-se a diferentes configurações de painéis solares. Realizam a limpeza sem o uso de água, sendo vantajoso em locais onde a água não está facilmente disponível. No entanto, sua autonomia é considerada baixa, pois o alto consumo de bateria limita o tempo de operação. Sua principal vantagem está na rapidez e na capacidade de programação, porém o alto consumo de bateria é uma desvantagem significativa.

Através do algoritmo TOPSIS, uma técnica de avaliação que compara o desempenho das alternativas com uma solução ideal, fundamentada em sua similaridade (PORTA; NARVAEZ, 2023), e considerando a análise realizada destacou-se que o método mais

eficiente é a utilização de robôs autônomos que empregam a água na limpeza dos painéis solares.

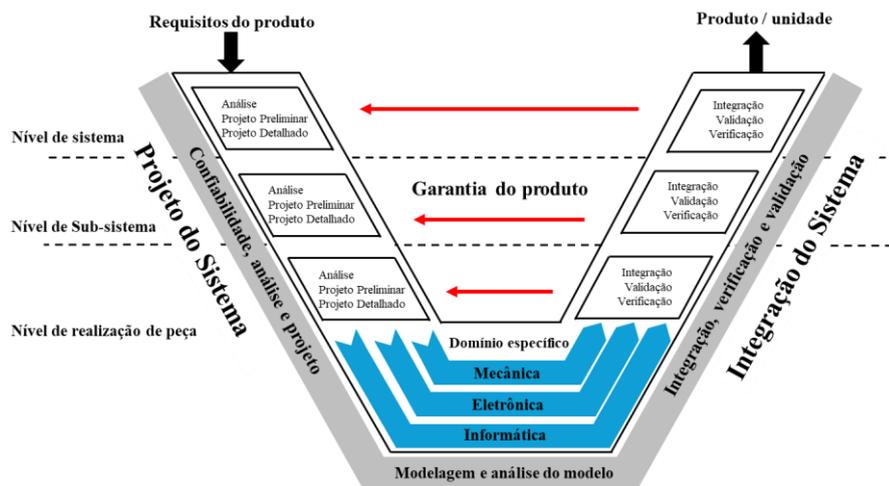
### 3 METODOLOGIA

Esta seção detalha os métodos adotados para alcançar os objetivos deste projeto, fornecendo uma visão abrangente do processo de desenvolvimento e implementação, a partir dos modelos presentes no mercado, escolhendo a melhor opção de limpeza para as placas solares.

#### 3.1 Projeto e Integração do Sistema

A construção, montagem, manutenção e operação autônoma de robôs englobam uma série de procedimentos e tecnologias que envolvem os campos da mecânica, eletrônica e engenharia da computação. É crucial estabelecer um design e funcionalidades alinhadas aos objetivos do robô, cuidadosamente selecionando materiais, sensores, motores e outros componentes. Para isso, seguimos as diretrizes da *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI) 2206, utilizando a metodologia V (VASIĆ; LAZAREVIĆ, 2008), conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Metodologia V



Fonte: Adaptado de (VASIĆ; LAZAREVIĆ, 2008)

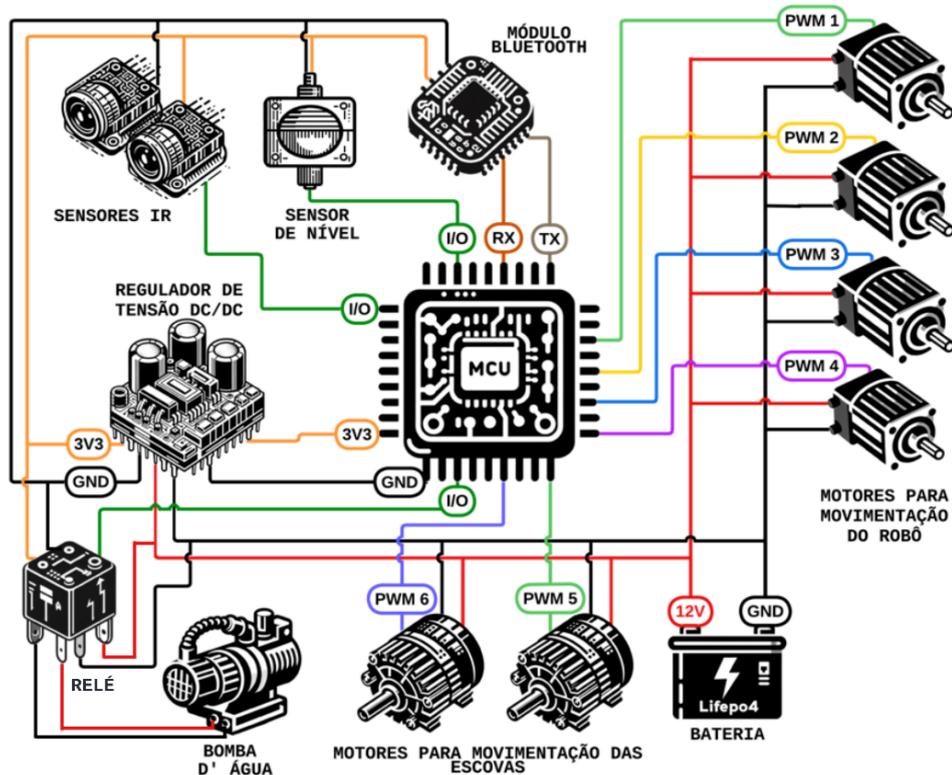
Derivada das diretrizes da VDI 2206, a metodologia V é um modelo amplamente utilizado no desenvolvimento de sistemas de automação e robótica. Organizando o processo de desenvolvimento em forma de um "V" invertido, cada etapa descendente na parte esquerda do "V" corresponde a uma fase de análise e projeto, enquanto as etapas ascendentes na parte

direita do "V" correspondem à implementação e teste. Na fase inicial do processo, identificamos e definimos os requisitos do sistema, incluindo especificações funcionais, de desempenho e de segurança. Esses requisitos servem como base para o projeto detalhado do sistema, abrangendo aspectos mecânicos, elétricos e de firmware.

De acordo com essa abordagem, é essencial considerar os requisitos abrangentes do sistema. Focando no objetivo do robô de otimizar a eficiência energética das instalações fotovoltaicas por meio da limpeza, priorizamos a capacidade de adaptação, estratégia de limpeza, coleta de dados e operacionalidade. Os requisitos mecânicos, como robustez, durabilidade, agilidade, adaptabilidade, dimensões e massa do equipamento, são igualmente importantes, assim como a análise dos aspectos elétricos e de firmware. Destacam-se o consumo de energia, segurança elétrica, integridade e confiabilidade do sistema, eficiência do canal de comunicação, capacidade de processamento de dados, armazenamento, gerenciamento de informações, controle digital e elaboração de algoritmos. Um exemplo notável é o modo de controle híbrido, que combina operação remota e autonomia (PORTA; NARVAEZ, 2023).

A Figura 11 apresenta o esquema elétrico detalhado do sistema, proporcionando uma visão abrangente das conexões e circuitos essenciais para o funcionamento do robô.

**Figura 11** – Esquemático elétrico do robô



Fonte: Autor (2024)

## 3.2 Componentes Elétricos e Mecânicos

A partir dos requisitos levantados, apresenta-se a seguir os componentes e materiais que compõem parte mecânica e elétrica do veículo proposto.

### 3.2.1 Fonte de Alimentação

A alimentação será provida por uma bateria de fosfato de ferro e lítio, conhecida como bateria LiFePO4 (Figura 12). Essas baterias são uma classe de baterias recarregáveis de íon de lítio que utilizam o composto LiFePO4 como material de cátodo. Oferecem várias vantagens sobre outras tecnologias de íon de lítio, incluindo maior estabilidade térmica, menor risco de incêndio e maior durabilidade.

**Figura 12** – Bateria LiFePO4



Fonte: Must (2024)

### 3.2.2 Motor CC

Os motores de corrente contínua (CC), ilustrado na Figura 13, com características de 12 [V], 110 [W] e 1620 [rpm], serão utilizados tanto para a locomoção do robô quanto para acionar as escovas rotativas. Um motor CC é um dispositivo eletromecânico que converte energia elétrica em energia mecânica por meio da interação de campos magnéticos (CHAKABORTY, S., et al., 2021). Seu funcionamento é baseado nos princípios da lei da indução eletromagnética de Faraday e da lei da força de Lorentz.

**Figura 13 – Motor CC**



Fonte: Servocity (2024)

### **3.2.3 Esteiras**

As esteiras, apresentado na Figura 14, têm sido amplamente adotadas em robôs como uma solução eficaz para a locomoção em superfícies variadas e desafiadoras. Elas oferecem diversos benefícios, como maior aderência e estabilidade em terrenos irregulares. Além disso, as esteiras distribuem uniformemente o peso do robô, reduzindo o impacto sobre a superfície dos painéis solares e minimizando o risco de danos ao equipamento. Sua capacidade de superar obstáculos, como buracos e degraus, aumenta a versatilidade e a robustez do robô, melhorando sua mobilidade e desempenho em uma variedade de cenários.

**Figura 14 – Esteira**



Fonte: Direct Industry (2024)

### **3.2.4 Módulo Relé Mecânico**

O módulo relé, ilustrado na Figura 15, desempenha um papel fundamental neste projeto, sendo responsável pelo controle da minibomba. Funcionando como uma chave

eletromecânica, o relé permite o acionamento desse dispositivo por meio de um sinal elétrico de baixa potência. Os módulos relés oferecem uma maneira eficaz de controlar a operação de dispositivos como motores e minibombas. Assim, a utilização de relés mecânicos para controlar esses componentes desempenha um papel crucial na funcionalidade e automação de sistemas robóticos, contribuindo para sua eficiência e versatilidade em diversas aplicações.

**Figura 15 – Módulo Relé**



Fonte: Mercado Livre (2024)

### 3.2.5 Bomba D' Água

Para transportar água desmineralizada até o bico de jato ajustável, será utilizada uma bomba d'água, conforme mostrado na Figura 16, equipada com um pequeno motor de corrente contínua (CC), projetada para aplicações que exigem movimentação de líquidos em dispositivos de pequeno porte. O modelo específico 0142YA-12-45 requer uma alimentação entre 12 [VDC] e 3,75 [A] de corrente. Operando com máxima eficiência, é capaz de bombear até 4 litros de água por minuto em uma distância de até 70 metros, sendo adequada para lidar com líquidos a uma temperatura de até 80 graus Celsius.

**Figura 16 – Bomba d'agua**

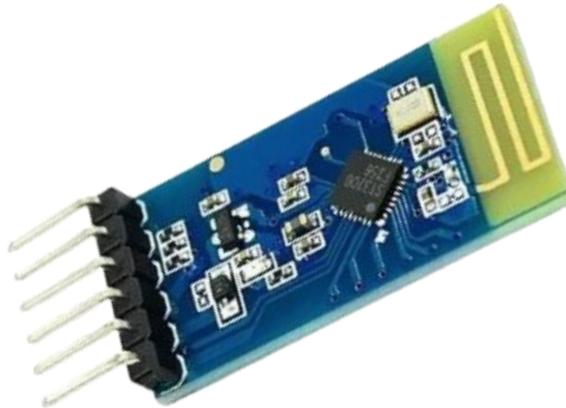


Fonte: AliExpress (2024)

### 3.2.6 Módulo Bluetooth

O módulo Bluetooth JDY-33, apresentado na Figura 17, será empregado para transmitir dados de limpeza e configuração do robô. Compatível com o protocolo de porta serial UART, oferece uma solução simplificada para estabelecer conexões sem fio. Esse módulo permite a comunicação através da transmissão serial, facilitando a interação não apenas com controladores e computadores pessoais, mas também com dispositivos móveis. Além disso, o JDY-33 possui a capacidade de alternar entre os modos mestre e escravo, permitindo o recebimento e envio de dados conforme necessário.

Figura 17 – Módulo Bluetooth JDY-33

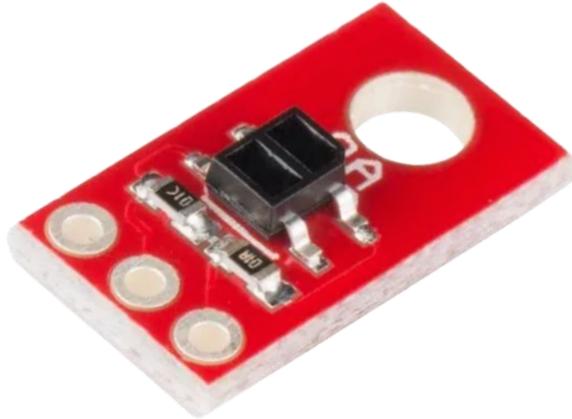


Fonte: Eletrogate (2024)

### 3.2.7 Sensor Infravermelho

O sensor analógico IR QRE1113 Sparkfun, representado na Figura 18, será utilizado para realizar a detecção de bordas e identificar o início e o fim de cada painel solar. Constituído por um LED emissor de luz infravermelha (IR) e um fototransistor receptor IR, torna-se sensível à luz infravermelha refletida. O sensor varia o valor de saída proporcionalmente à quantidade de luz detectada pelo receptor IR, onde a intensidade de luz infravermelha incidente no sensor determina a tensão na saída analógica.

**Figura 18** – Módulo Sensor IR



Fonte: Maker Hero (2024)

### 3.2.8 Sensor de Nível

Na área da robótica, os sensores de nível desempenham um papel essencial ao monitorar os níveis de líquidos em reservatórios de sistemas de irrigação automatizados. Neste projeto, o sensor de nível será empregado para monitorar o reservatório contendo água desmineralizada, prevenindo assim possíveis danos aos demais componentes. O sensor de nível selecionado é do tipo sem contato, caracterizado por um design leve e fino, com um substrato flexível e adesivo resistente à água e temperatura. Além disso, possui uma saída digital de alto/baixo e um conector de 3 pinos DuPont. Uma representação visual desse componente pode ser observada na Figura 19.

**Figura 19** – Sensor de nível



Fonte: RobotShop (2024)

### 3.2.9 Bico Regulável

Para realizar a pulverização da água desmineralizada sobre os painéis solares, será utilizado um bico ajustável feito em latão de alta qualidade, garantindo durabilidade e resistência. O aspersor, representado na Figura 20, opera com uma pressão de água entre 0,75 e 2,5 MPa e um fluxo variando de 30 a 215 L/h. Oferece uma cobertura ajustável entre 0,8 e 2 metros, com altura de irrigação de 0,8 a 4 metros, dependendo da pressão da água. Sua conexão tem um diâmetro de 1/2 polegada, DN15, e possui um interruptor rotativo de vários estágios, além de um bocal removível que simplifica o processo de limpeza.

**Figura 20** – Bico pulverizador ajustável



Fonte: Fruugo (2024)

### 3.2.10 Escovas Nylon

Na limpeza dos resíduos indesejados sobre os painéis solares, utilizaremos escovas cilíndricas de nylon rotativas, conforme ilustrado na Figura 21. Essas escovas desempenham um papel fundamental na remoção de sujeira, projetadas com cerdas densas para varrer e esfregar de forma eficaz suas superfícies. As cerdas, conhecidas por sua longevidade e robustez, são capazes de suportar o desgaste decorrente do uso contínuo, garantindo assim a eficácia e a durabilidade do equipamento.

**Figura 21** – Escovas circulares de nylon

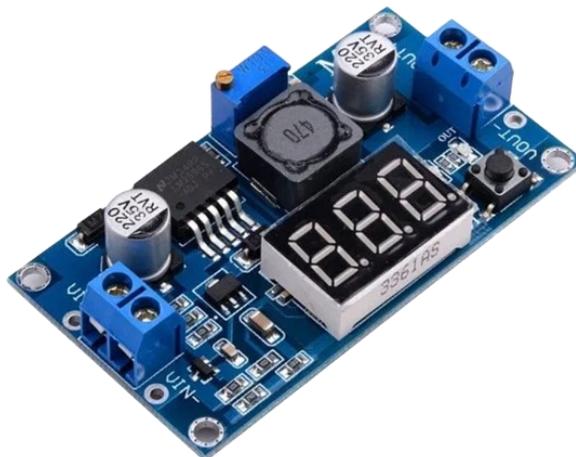


Fonte: Made-in-China (2024)

### 3.2.11 Módulo Regulador de Tensão DC/DC

O fornecimento da tensão necessária aos sensores e dispositivos eletrônicos será garantido pelo módulo regulador de tensão LM2596. Este conversor DC-DC do tipo Step-Down se destaca por sua alta eficiência e pela inclusão de um voltímetro. O dispositivo, apresentado na Figura 22, permite ajustar a tensão de saída dentro de uma faixa que varia de 1,25 a 37 [V], operando com uma faixa de entrada de 4,5 a 40 [V].

**Figura 22** – Módulo Regulador de Tensão DC/DC ajustável



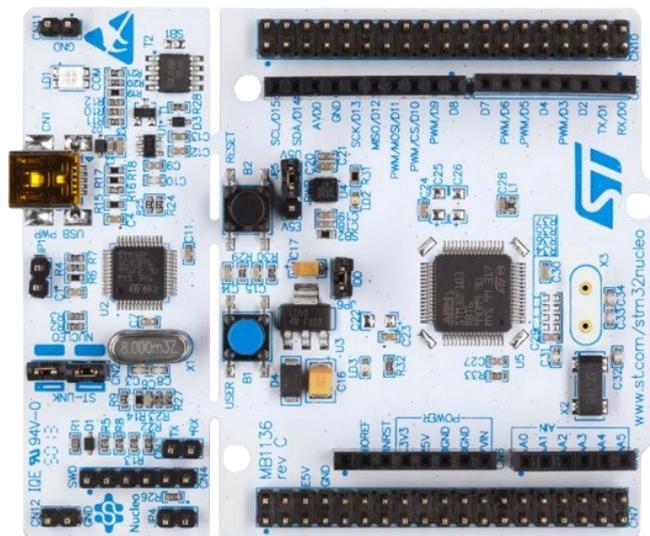
Fonte: Baú da Eletrônica (2024)

### 3.2.12 Microcontrolador

A placa escolhida para o projeto é o NÚCLEO-F303RE, que apresenta como

microcontrolador principal o STM32F303RE. Este microcontrolador oferece uma ampla gama de periféricos de entrada e saída, com destaque para as saídas projetadas para o controle de motores por meio de sinais PWM. A utilização da placa STM32 Nucleo-64 proporciona uma abordagem acessível e versátil para que os usuários possam explorar novos conceitos e desenvolver protótipos. Essa versatilidade é viabilizada pela diversidade de recursos de desempenho e eficiência energética disponíveis no microcontrolador STM32F303RE. Além disso, a placa STM32 Nucleo-64 integra um depurador/programador ST-LINK, eliminando a necessidade de um dispositivo externo. Adicionalmente, é fornecida com extensas bibliotecas de software gratuito STM32. A representação desta placa está na Figura 23.

**Figura 23 – NÚCLEO-F303RE**



Fonte: ST (2024)

### 3.2.13 Chassi

O chassi do robô (Figura 24) desempenha um papel fundamental em sua funcionalidade e desempenho geral. Ele fornece a estrutura e a base sobre as quais todos os outros componentes são montados e integrados. Além disso, o chassi determina as capacidades de mobilidade e estabilidade do robô, influenciando diretamente sua capacidade de navegação e manipulação de tarefas.

**Figura 24 – Chassi**

Fonte: AliExpress (2024)

### 3.2.14 Reservatório

O reservatório de água, representado na Figura 25, para limpeza dos painéis solares desempenha um papel essencial no processo de manutenção desses sistemas. Ele serve como um armazenamento conveniente para a água utilizada durante a limpeza dos painéis, garantindo um suprimento adequado e constante durante a operação. Além disso, o reservatório pode ser projetado para armazenar água tratada ou desmineralizada, ajudando a evitar a formação de depósitos minerais nos painéis, o que poderia reduzir sua eficiência ao longo do tempo.

**Figura 25 – Reservatório**

Fonte: AliExpress (2024)

### 3.2.15 Caixa plástica

Em busca de garantir a segurança e eficiência do sistema, uma caixa plástica com proteção IP66 surge como solução. Resistente à água e à poeira, é projetada com precisão, para abrigar a eletrônica, protegendo-a em qualquer situação. Seu design robusto e durável oferece confiança e tranquilidade, assegurando a integridade dos componentes, sem qualquer adversidade.

**Figura 26** – Caixa plástica



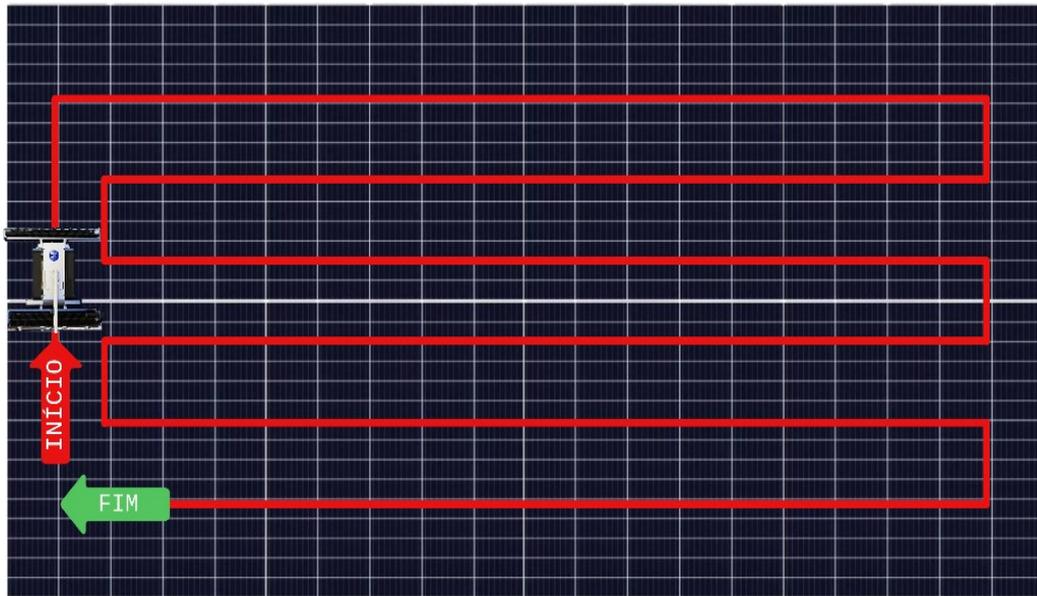
Fonte: Mercado Livre (2024)

## 3.3 Firmware

O firmware é um conjunto de instruções que controlam o funcionamento de dispositivos eletrônicos, como robôs. Ele desempenha um papel crucial na construção de robôs, pois determina como os componentes físicos do robô devem interagir e responder a diferentes comandos. Sem o firmware adequado, os robôs não podem executar suas funções corretamente, tornando-se inoperantes ou incapazes de desempenhar suas tarefas de maneira eficiente. Assim, o firmware é essencial para garantir o funcionamento adequado e a eficácia dos robôs em diversas aplicações, desempenhando um papel fundamental em sua operação e desempenho.

Para garantir a adequada limpeza completa e eficaz dos painéis solares, é crucial que o firmware do robô incorpore um algoritmo de locomoção que realize o trajeto de forma eficiente e precisa, conforme demonstrado na Figura 24. Isso envolve não apenas a movimentação física do robô, mas também a coordenação dos movimentos para cobrir toda a área dos painéis.

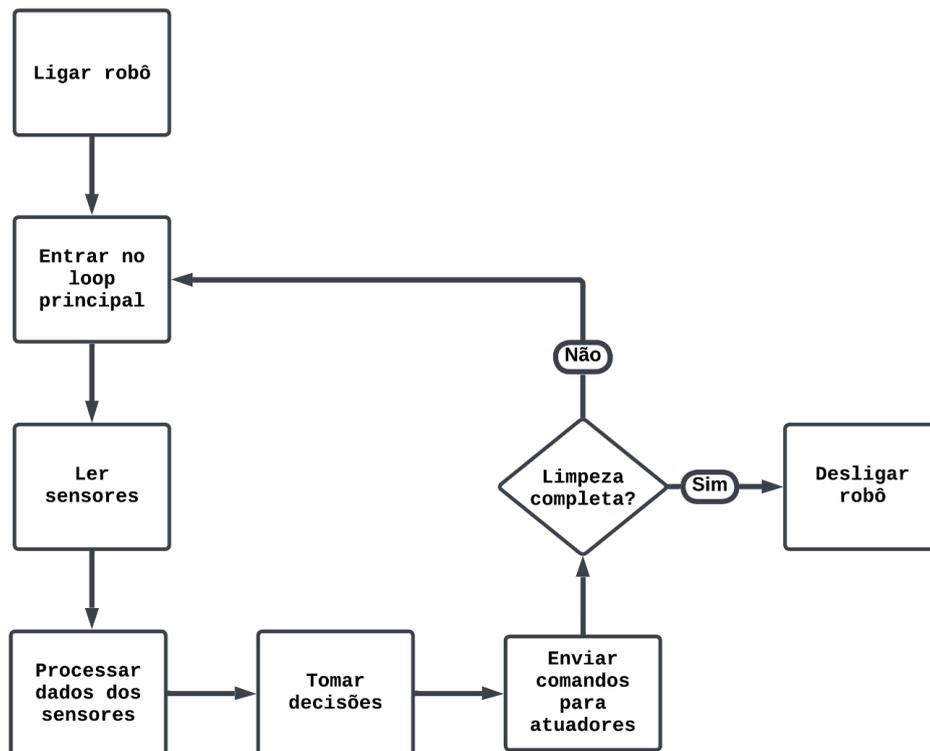
**Figura 27** – Trajetória do Robô



Fonte: Autor (2024)

O fluxograma, representado na Figura 25, ilustra as etapas de execução do firmware, permitindo o funcionamento adequado do robô conforme o esperado.

**Figura 28** – Fluxograma do Firmware



Fonte: Autor (2024)

O fluxograma do firmware proposto, oferece uma visão geral das etapas envolvidas na leitura dos sensores, no processamento dos dados e na execução das funções do robô. Ao ser inicializado, o microcontrolador entra no loop principal e inicia as operações essenciais, como a leitura dos sensores de nível e infravermelho, além dos comandos recebidos via Bluetooth por meio de um aplicativo móvel. Posteriormente, ocorre o processamento das informações coletadas e a aplicação das lógicas de decisão, incluindo a verificação do nível de água no reservatório e a confirmação do comando de início da limpeza.

Após as verificações necessárias para garantir o início seguro da limpeza, são enviados comandos para os atuadores, que incluem os motores responsáveis pelo movimento das escovas e do próprio robô, bem como o relé que fornece energia à bomba de água. Esta, por sua vez, irrigará os módulos solares para uma limpeza eficaz. Ao término do processo de limpeza, é verificado se a operação foi concluída com sucesso; em caso afirmativo, todos os atuadores são desligados, encerrando o procedimento de limpeza. Caso contrário, todo o processo é repetido até que os painéis solares estejam adequadamente limpos.

Realizando a montagem dos sensores, componentes mencionados e a implementação da lógica ilustrada na Figura 25, o robô realizará a limpeza dos painéis de geração solar de forma autônoma. Ele será capaz de identificar as bordas dos painéis solares por meio dos sensores infravermelhos e seguir o trajeto sugerido, superando adversidades como painéis com inclinação de até 30° e *gaps* entre as placas de até 20 centímetros. Além disso, poderá ser facilmente programado para executar diferentes modos de limpeza, ajustando a velocidade das escovas e o trajeto do robô conforme necessário.

### **3.4 Inclinação das placas**

As placas solares são geralmente posicionadas de acordo com a orientação do sistema de montagem em que estão instaladas, um planejamento feito para otimizar a captação de energia solar ao longo do dia. Essa inclinação é determinada durante a instalação e pode permanecer constante ao longo do ano em sistemas fixos. Em outros casos, as placas podem ser ajustadas manualmente para otimizar a eficiência sazonal da captação de energia.

Por outro lado, em sistemas de rastreamento solar, as placas são montadas em estruturas móveis que acompanham a trajetória do sol durante o dia. Essas estruturas, controladas por motores elétricos ou sistemas automatizados, garantem que as placas estejam sempre posicionadas de forma ideal em relação ao sol.

Independentemente do método adotado, o objetivo é garantir que as placas solares

recebam a máxima exposição à luz solar, visando otimizar a geração de energia elétrica.

A equação 1 é comumente utilizada para determinar a inclinação de um painel solar.

$$\text{Inclinação} = \text{Latitude} + \left( \frac{\text{Latitude}}{3} \right) \quad (1)$$

Embora não forneça um resultado exato, essa fórmula oferece uma estimativa aproximada. Geralmente, a inclinação varia entre 25° e 30°. Uma inclinação inferior a 15° é desaconselhável, pois pode resultar no acúmulo excessivo de sujeira na superfície dos painéis. (HCC ENERGIA SOLAR, 2022).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A limpeza dos painéis solares é uma etapa essencial para garantir sua eficiência e longevidade nos sistemas de geração de energia. Contudo, a escolha da técnica de limpeza mais apropriada pode variar conforme diversos fatores, como o tipo de sujeira, as condições climáticas e a disponibilidade de recursos. Nesta seção, exploramos diversas abordagens para a limpeza e discutimos suas vantagens e desvantagens.

A escovação mecânica é amplamente utilizada, sendo reconhecida por sua eficácia na remoção de sujeira superficial sem danificar os painéis. No entanto, pode não ser tão eficiente em casos de sujeira mais pesada ou incrustada. Por outro lado, o jato de água pressurizada oferece uma solução versátil, capaz de remover diversos detritos, mas pode demandar grandes volumes de água e não ser adequado para áreas com escassez desse recurso ou em climas frios.

Para regiões com pouca água, a limpeza a seco é uma opção conveniente, permitindo uma secagem rápida após a limpeza. Entretanto, pode exigir mais esforço para remover sujeira pesada. O uso de produtos químicos também pode ser considerado para sujeira difícil, desde que garantam a segurança dos painéis e do meio ambiente, embora incorram em custos adicionais.

Ao considerar as diferentes técnicas de limpeza, é crucial avaliar cuidadosamente as necessidades específicas de cada situação, levando em conta não apenas a eficácia da limpeza, mas também sua viabilidade em termos de recursos disponíveis, condições ambientais e impacto geral no desempenho dos painéis solares.

Ao compararmos o robô proposto com seus equivalentes no mercado, observamos uma considerável diferença de custo. Enquanto o custo médio de um robô autônomo atualmente é

de aproximadamente 150 mil reais, uma estimativa do valor total do projeto proposto, após o levantamento de peças e componentes elétricos, situa-se em torno de 87.983,00 reais, conforme apresentado na Tabela 2 localizada no Apêndice A. Essa diferença alta de custos torna o nosso projeto uma opção mais acessível e viável para implantação da robótica na limpeza dos painéis solares em diversos cenários.

Além disso, foi desenvolvido um plano de negócios com o objetivo específico de incentivar investimentos no projeto. Esse documento foi elaborado para destacar os aspectos mais promissores do empreendimento, incluindo a viabilidade técnica, comercial e financeira do desenvolvimento do protótipo. Adicionalmente, apresenta-se uma análise detalhada do mercado-alvo, identificando oportunidades e desafios relevantes, bem como estratégias para mitigar riscos e alcançar o sucesso comercial. Mais detalhes podem ser encontrados no Apêndice B.

## 5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Com base nos detalhes fornecidos sobre a metodologia V e a seleção criteriosa dos componentes elétricos e mecânicos, é evidente que a construção e operação autônoma de robôs exigem uma abordagem meticulosa e multidisciplinar. A metodologia V, derivada das diretrizes da VDI 2206, fornece uma base sólida para organizar o processo de desenvolvimento de projetos, desde a definição dos requisitos até a implementação e os testes finais. Ao seguir esta abordagem, podemos garantir que o robô seja projetado e construído para atender às especificações funcionais, de desempenho e de segurança necessárias para sua operação eficaz.

A seleção dos componentes elétricos e mecânicos, detalhados na seção 3.2, demonstra nossa atenção aos detalhes e nosso foco na qualidade e desempenho do sistema. Desde a fonte de alimentação até os sensores e atuadores, cada elemento foi escolhido para garantir a funcionalidade e a confiabilidade do robô.

Além disso, o desenvolvimento do firmware, como descrito na seção 3.3, desempenha um papel fundamental no sucesso do projeto. Ao implementar algoritmos de locomoção precisos e eficientes, garantimos que o robô seja capaz de realizar suas tarefas de limpeza de maneira eficaz e completa. O fluxograma apresentado oferece uma visão clara das etapas de execução do firmware, garantindo o funcionamento adequado do robô.

No contexto do mercado brasileiro, o robô de limpeza autônoma, conforme proposto neste estudo, destaca-se como a solução ideal para aplicações em sistemas de geração de energia solar. Sua notável versatilidade e eficácia na limpeza dos painéis solares são apenas algumas das vantagens oferecidas. Além disso, este projeto busca tornar essa tecnologia mais acessível aos usuários de sistemas de geração de energia solar. Ao reduzir significativamente a necessidade de intervenção humana direta, o robô não apenas diminui os custos operacionais a longo prazo, mas também contribui para a proteção da saúde dos trabalhadores ao minimizar os riscos associados às tarefas de limpeza.

Ao operar de forma autônoma e eficiente, o robô reduz o consumo desnecessário de recursos naturais, como água e energia, além de minimizar a emissão de poluentes. Essa abordagem alinha-se com os objetivos de preservação ambiental e sustentabilidade, tornando o processo de limpeza de painéis solares mais eficiente e ecologicamente responsável.

Olhando para o futuro, os próximos passos críticos incluem a montagem da estrutura mecânica e dos componentes elétricos, o desenvolvimento do firmware e os testes extensivos. A montagem deve garantir que todos os componentes sejam integrados de forma robusta e

eficiente, enquanto o desenvolvimento do firmware é fundamental para controlar o comportamento do robô e sua interação com o ambiente. Os testes subsequentes serão essenciais para verificar o funcionamento do sistema em condições reais e garantir que atenda aos requisitos de desempenho estabelecidos.

Portanto, ao combinar uma metodologia sólida com um plano claro para os próximos passos, podemos garantir que o projeto do robô de limpeza de painéis solares avance com sucesso, resultando em um projeto capaz de otimizar a eficiência energética das instalações fotovoltaicas de forma confiável e eficaz.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. 2024. **Infográfico**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>.

ABSOLAR. **Brasil é o 4º país que mais avançou em energia solar fotovoltaica em 2021**. 2022. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-e-o-4o-pais-que-mais-avancou-em-energia-solar-fotovoltaica-em-2021/>>.

ABSOLAR. **Como o Brasil se tornou um dos dez maiores geradores solares do mundo**. 2023. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/como-o-brasil-se-tornou-um-dos-dez-maiores-geradores-solares-do-mundo/>>.

ALIEXPRESS. **Auto Priming pulverizador bomba com interruptor de pressão, DC diafragma água bomba para RV campista barco marinho e gramado, 12V, 24V, 45W**. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/i/1005004875305712.html?gatewayAdapt=glo2bra>>.

ALIEXPRESS. **Reservatório de água de expansão de metal 2 litros tanque de água e fluido de arrefecimento**. Disponível: <[https://pt.aliexpress.com/item/32822546985.html?src=google&src=google&albch=shopping&acnt=768-202-3196&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google\\_7\\_shopping&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&albcpr=19505955113&albag=&trgt=&crea=pt32822546985&netw=x&device=c&albpgr=&albpdr=pt32822546985&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjw6PGxBhCVARIsAIumnWav36dQ3hbwCVtRNrhBs-A0gvmu4RP0M9HTPR8RQKWWRtP8HTdU4oMaAkeNEALw\\_wcB&gclsrc=aw.ds&aff\\_fcid=13bdcfda57d04bad8d0714d2db7dd6b4-1715300063923-03240-UneMJZVf&aff\\_fsk=UneMJZVf&aff\\_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff\\_trace\\_key=13bdcfda57d04bad8d0714d2db7dd6b4-1715300063923-03240-UneMJZVf&terminal\\_id=005fa32074724de2989be71aaf63e1e0&afSmartRedirect=y](https://pt.aliexpress.com/item/32822546985.html?src=google&src=google&albch=shopping&acnt=768-202-3196&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&albcpr=19505955113&albag=&trgt=&crea=pt32822546985&netw=x&device=c&albpgr=&albpdr=pt32822546985&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw6PGxBhCVARIsAIumnWav36dQ3hbwCVtRNrhBs-A0gvmu4RP0M9HTPR8RQKWWRtP8HTdU4oMaAkeNEALw_wcB&gclsrc=aw.ds&aff_fcid=13bdcfda57d04bad8d0714d2db7dd6b4-1715300063923-03240-UneMJZVf&aff_fsk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff_trace_key=13bdcfda57d04bad8d0714d2db7dd6b4-1715300063923-03240-UneMJZVf&terminal_id=005fa32074724de2989be71aaf63e1e0&afSmartRedirect=y)>.

ALIEXPRESS. **RC Tanque de Metal Chassis Robot Crawler, Rastreado Caterpillar Track Chain, Veículo automotivo, Plataforma móvel, Brinquedo trator, 4WD**. Disponível em: <[https://pt.aliexpress.com/item/32876474056.html?spm=a2g0o.detail.pcDetailTopMoreOtherSeller.4.2335Y7KFY7KFWq&gps-id=pcDetailTopMoreOtherSeller&scm=1007.40000.327270.0&scm\\_id=1007.40000.327270.0&scm-url=1007.40000.327270.0&pvid=6facf73a-ef62-47](https://pt.aliexpress.com/item/32876474056.html?spm=a2g0o.detail.pcDetailTopMoreOtherSeller.4.2335Y7KFY7KFWq&gps-id=pcDetailTopMoreOtherSeller&scm=1007.40000.327270.0&scm_id=1007.40000.327270.0&scm-url=1007.40000.327270.0&pvid=6facf73a-ef62-47)>

c7-8f02-9a3781fa9dcb&\_t=gps-id:pcDetailTopMoreOtherSeller,scm-url:1007.40000.327270.0,pvid:6facf73a-ef62-47c7-8f02-9a3781fa9dcb,tpp\_buckets:668%232846%238115%232000&pdp\_npi=4%40dis%21BRL%21156.33%21148.49%21%21%2128.93%2127.48%21%402101f93317152984284842754e5a07%2112000027909451743%21rec%21BR%21%21AB&utp\_aram-url=scene%3ApcDetailTopMoreOtherSeller%7Cquery\_from%3A>.

**BAÚ DA ELETRÔNICA. Módulo Regulador de Tensão LM2596 Step Down Com Display.** Disponível em: <[https://www.baudaeletronica.com.br/produto/modulo-regulador-de-tensao-lm2596-com-display.html?utm\\_source=Site&utm\\_medium=GoogleMerchant&utm\\_campaign=GoogleMerchant&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjwiMmwBhDmARIsABeQ7xTqZiy0zG3Mn13yorz4yfRtq8fqkUbKQoNtJJS2HRTiBMMbmoJ69HgaAv9GEALw\\_wcB](https://www.baudaeletronica.com.br/produto/modulo-regulador-de-tensao-lm2596-com-display.html?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwiMmwBhDmARIsABeQ7xTqZiy0zG3Mn13yorz4yfRtq8fqkUbKQoNtJJS2HRTiBMMbmoJ69HgaAv9GEALw_wcB)>.

BESSA, J. G., et al., "An Investigation on the Pollen-Induced Soiling Losses in Utility-Scale PV Plants," in *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 14, no. 1, pp. 178-184, Jan. 2024.

CHAKABORTY, S., et al., "Smart Remote Solar Panel Cleaning Robot with Wireless Communication," *2021 9th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, Bengkulu, Indonesia, 2021, pp. 1-5.

**DIRECT INDUSTRY. CTS - Esteira de borracha.** Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/prod/camso-inc/product-25575-2198491.html>>.

**EKKO GREEN. Drone Vai Realizar a Limpeza de Painéis Solares em Israel.** 2022. Disponível em: <[https://ekkogreen.com.br/drones-vaio-limpar-paineis-solares#google\\_vignette](https://ekkogreen.com.br/drones-vaio-limpar-paineis-solares#google_vignette)>.

**ELETROGATE. Módulo Bluetooth JDY-33.** Disponível em: <[https://www.eletrogate.com/modulo-bluetooth-jdy-33?utm\\_source=Site&utm\\_medium=GoogleMerchant&utm\\_campaign=GoogleMerchant&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=\[MC4\]\\_\[G\]\\_\[PM ax\]\\_Categorias&utm\\_content=&utm\\_term=&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjwiMmwBhDmARIsABeQ7xQDY5eGzMSHk84HHhEMCHacLNBSUdTb7-0hdswaS-y8rcHso8xCPd8aAoCKEALw\\_wcB](https://www.eletrogate.com/modulo-bluetooth-jdy-33?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=[MC4]_[G]_[PM ax]_Categorias&utm_content=&utm_term=&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwiMmwBhDmARIsABeQ7xQDY5eGzMSHk84HHhEMCHacLNBSUdTb7-0hdswaS-y8rcHso8xCPd8aAoCKEALw_wcB)>.

**FRUUGO. Latão 1/2" Pulverizadores machos Bocal de neblina Ajustável Água Bocazzle**

**Irrigação.** Disponível em: <<https://www.fruugo.pt/latao-12-pulverizadores-machos-bocal-de-neblina-ajustavel-agua-bocazze-irrigacao-irrigacao-de-irrigacao-com-filtro-1-pc/p-102240169-215498699>>.

HAIKAL-LEITE, M. A., et al., "Statistical Study of Brazilian Solarimetric Measurements and Comparison with Satellite Models for Eventual Use in Feasibility Studies of Photovoltaic Solar Generation," *2021 IEEE 4th International Conference on Renewable Energy and Power Engineering (REPE)*, Beijing, China, 2021, pp. 350-354.

HCC ENERGIA SOLAR. **Inclinação de painel solar: saiba o que considerar em sua instalação!**. 2022. Disponível em: <[HICKS, W. \*\*Scientists Studying Solar Try Solving a Dusty Problem.\*\* 2021. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/news/features/2021/scientists-studying-solar-try-solving-a-dusty-problem.html>>.](https://hccenergiasolar.com.br/inclinacao-de-painel-solar-saiba-o-que-considerar-em-sua-instalacao/#:~:text=Geralmente%2C%20a%20inclina%C3%A7%C3%A3o%20vai%20variar,sujeira%20na%20superf%C3%ADcie%20dos%20pain%C3%A9is.></a>>.</p>
</div>
<div data-bbox=)

KUMAR, S. S., SHANKAR, S., MURTHY, K., "Solar Powered PV Panel Cleaning Robot," *2020 International Conference on Recent Trends on Electronics, Information, Communication & Technology (RTEICT)*, Bangalore, India, 2020, pp. 169-172.

MADE-IN-CHINA. **Escova de rolo cilíndrico rotativa industrial.** Disponível em: <[https://pt.made-in-china.com/co\\_huixibrush/product\\_Industrial-Rotary-Cylindrical-Roller-Brush\\_uosyooreou.html](https://pt.made-in-china.com/co_huixibrush/product_Industrial-Rotary-Cylindrical-Roller-Brush_uosyooreou.html)>.

MAKER HERO. **Sensor de Linha Analógico IR QRE1113 Sparkfun.** Disponível em: <[https://www.makehero.com/produto/sensor-de-linha-analogico-ir-qre1113-sparkfun/?utm\\_source=google&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=shopping&utm\\_content=surfaces\\_across\\_google&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjw5cOwBhCiARIsAJ5njubJJFwWXvrgYFF90Uhbv926oDrg5zgiCXpk1ygyPbzi1EdN7VWl6SIaAqQQEALw\\_wcB](https://www.makehero.com/produto/sensor-de-linha-analogico-ir-qre1113-sparkfun/?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=shopping&utm_content=surfaces_across_google&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw5cOwBhCiARIsAJ5njubJJFwWXvrgYFF90Uhbv926oDrg5zgiCXpk1ygyPbzi1EdN7VWl6SIaAqQQEALw_wcB)>.

MAKMEE, T., PENGWANG, E., "Design and Experiment of Four-side Stretch Slingbased

Solar Cleaning Robot," *2021 7th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST)*, Pattaya, Thailand, 2021, pp. 182-189.

MERCADO LIVRE. **Caixa Plástica Pannel Elétrico Pvc 190x150x90mm Ip66**. Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2692349982-caixa-plastica-pannel-eletrico-pvc-190x150x90mm-ip66-\\_JM?matt\\_tool=14372353&matt\\_word=&matt\\_source=google&matt\\_campaign\\_id=14302215552&matt\\_ad\\_group\\_id=150145935327&matt\\_match\\_type=&matt\\_network=g&matt\\_device=c&matt\\_creative=649558500191&matt\\_keyword=&matt\\_ad\\_position=&matt\\_ad\\_type=pla&matt\\_merchant\\_id=422602066&matt\\_product\\_id=MLB2692349982&matt\\_product\\_partition\\_id=2269030433945&matt\\_target\\_id=aud-1966009190540:pla-2269030433945&cq\\_src=google\\_ads&cq\\_cmp=14302215552&cq\\_net=g&cq\\_plt=gp&cq\\_med=pla&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjw6PGxBhCVARIsAlumnWZfd2Ce-JfwQyyOy1LAaCgSfse4y8kpyKLVU1LdUx5JnqHNoZPZRKAaAqr7EALw\\_wcB](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2692349982-caixa-plastica-pannel-eletrico-pvc-190x150x90mm-ip66-_JM?matt_tool=14372353&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14302215552&matt_ad_group_id=150145935327&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=649558500191&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=422602066&matt_product_id=MLB2692349982&matt_product_partition_id=2269030433945&matt_target_id=aud-1966009190540:pla-2269030433945&cq_src=google_ads&cq_cmp=14302215552&cq_net=g&cq_plt=gp&cq_med=pla&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw6PGxBhCVARIsAlumnWZfd2Ce-JfwQyyOy1LAaCgSfse4y8kpyKLVU1LdUx5JnqHNoZPZRKAaAqr7EALw_wcB)>.

MERCADO LIVRE. **Modulo Relé 3v 10a 1 Canal Com Borne Kre - R\$ 31,5**. Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3501935697-modulo-rele-3v-10a-1-canal-com-borne-kre-\\_JM#position=5&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=423f02c6-081a-401e-a3dd-d9cb7a273a39](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3501935697-modulo-rele-3v-10a-1-canal-com-borne-kre-_JM#position=5&search_layout=stack&type=item&tracking_id=423f02c6-081a-401e-a3dd-d9cb7a273a39)>.

MOHANDÉS, M., et al., "Cleaning PhotoVoltaic Solar Panels by Drone Aerodynamic," *2021 4th International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT)*, Alkhobar, Saudi Arabia, 2021, pp. 1-5.

MORKEN GROUP. **Sistema robótico inteligente de limpeza e monitoramento para usinas de energia solar**. Disponível em: <<https://morkengroup.com/limpieza-y-monitoreo-robotico-para-plantas-de-energia-solar/>>.

MUST. **LP1500 Series (12.8V-50/100/200Ah)**. Disponível em: <<https://www.mustenergy.com/product/lp1500-series-12-8v-50-100-200ah>>.

OWANO; PHYS.ORG. **Robô com escova, água e limpador realiza limpeza de painel solar**. 2013. Disponível em: <[https://phys.org/news/2013-12-robot-wiper-tackles-solar-panel.html#google\\_vignette](https://phys.org/news/2013-12-robot-wiper-tackles-solar-panel.html#google_vignette)>.

PANDEY, A.; PANDEY, P.; TUMULURU, J. S. Solar Energy Production in India and Commonly Used Technologies—An Overview. **Energies**, v. 15, n. 2, p. 500, 11 jan. 2022.

PORTA, J. J. Z., NARVAEZ, D. I., "A Review on Mobile Robots and its Design Requirements to Clean Solar Photovoltaic Modules," *2023 IEEE XXX International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*, Lima, Peru, 2023, pp. 1-7.

PRADO, W. **Limpa Solar: líder em limpeza de painéis solares chega a Maringá.** 2023. Disponível em: <<https://maringapost.com.br/destaque/2023/07/10/limpa-solar-lider-em-limpeza-de-paineis-solares-chega-a-maringa/>>.

ROBOTSHOP. **Non-contact Flexible Liquid Level Sensor.** Disponível em: <<https://uk.robotshop.com/products/non-contact-flexible-liquid-level-sensor>>.

SERVOCITY. **5202 Series Yellow Jacket Planetary Gear Motor (3.7:1 Ratio, 24mm Length 6mm D-Shaft, 1620 RPM, ø36mm Gearbox, 3.3 - 5V Encoder).** Disponível em: <<https://www.servocity.com/5202-series-yellow-jacket-planetary-gear-motor-3-7-1-ratio-24mm-length-6mm-d-shaft-1620-rpm-36mm-gearbox-3-3-5v-encoder/>>.

SOLARCLEANO. **F1 | A sua solução tudo-em-um para limpeza de painéis solares.** 2022. Disponível em: <<https://solarcleano.com/pt/product/robo-para-limpeza-de-paineis-solares-f1>>.

ST. **STM32 Nucleo-64 development board with STM32F303RE MCU, supports Arduino and ST morpho connectivity.** Disponível em: <<https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f303re.html>>.

SUN, L., GUO, L., LIU, M., "Design of Automatic Control System for Photovoltaic Cleaning Intelligent Robot Based on 5G Intelligent Technology," in *2023 International Conference on Computers, Information Processing and Advanced Education (CIPAE)*, Ottawa, ON, Canada, 2023 pp. 486-491.

SUNBRUSH. **Comprar Sunbrush Mobil Rapid | Limpeza solar.** 2024. Disponível em: <<https://www.sunbrushmobil.com/pt/produtos/sunbrush-mobil-rapid>>.

SUTAM, B. et al., "The Solar Panels Cleaning Robot Control via IoT," *2023 11th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, Makassar, Indonesia, 2023, pp. 1-6.

VASIĆ, V. S.; LAZAREVIĆ, M. P. Standard industrial guideline for mechatronic product design. *FME Transactions*, v. 36, n. 3, p. 103–108, 2008.

## APÊNDICE A – Tabela de Custos

**Tabela 2** – Custos dos Componentes e Mão de Obra para o Protótipo

<b>Nº</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Componentes</b>	<b>Descrição</b>	<b>Valor Unitário [R\$]</b>	<b>Total [R\$]</b>
<b>1</b>	06	BICO AJUSTÁVEL	CONECTOR MACHO DE 1/2"	33,50	201,00
<b>2</b>	01	CAIXA PLÁSTICA	PROTEÇÃO IP66 PARA ELETRÔNICA	92,20	92,20
<b>3</b>	02	ESCOVAS DE NYLON	ESCOVAS CIRCULARES DE 60 [CM]	257,03	514,06
<b>4</b>	01	ESTEIRA LAGARTA	PAR DE ESTEIRAS COM CHASSI	1894,12	1894,12
<b>5</b>	04	FONTE	BATERIA LIFEPO4 3.2V 105Ah	535,45	2.141,80
<b>6</b>	01	MICROCONTROLADOR	NÚCLEO – F303RE	56,44	56,44
<b>7</b>	02	MINI BOMBA D' ÁGUA	ALIMENTAÇÃO DE 12V 3.75A	171,89	343,78
<b>8</b>	01	MÓDULO BLUETOOTH	BLUETOOTH 3.0 ALIMENTAÇÃO 1.8V ~ 3.6V	27,61	27,61
<b>9</b>	06	MOTOR DC ESCOVADO COM CODIFICADOR	MOVIMENTAÇÃO DO ROBÔ E ROTAÇÃO DAS ESCOVAS	221,00	1.326,00
<b>10</b>	01	REGULADOR	TENSÃO DE SAÍDA 1.25V ~ 37V	43,09	43,09

<b>N°</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Componentes</b>	<b>Descrição</b>	<b>Valor Unitário [R\$]</b>	<b>Total [R\$]</b>
11	01	RESERVATÓRIO	CAPACIDADE DE 2 LITROS	252,87	252,87
12	02	SENSOR DE NÍVEL	ALIMENTAÇÃO 2.5V ~ 5.5V	50,89	101,78
13	10	SENSOR INFRAVERMELHO	SENSOR DE REFLETÂNCIA ANALÓGICO ALIMENTAÇÃO 3.3V ~ 5V	13,62	136,20
14	01	ENGENHEIRO DE HARDWARE	6 MESES DE PROJETO	7.000,00	42.000,00
15	01	ENGENHEIRO DE FIRMWARE	6 MESES DE PROJETO	6.500,00	39.000,00
<b>SOMA</b>		----	----	17.076,59	87.983,00

Fonte: Autor (2024)

**APÊNDICE B – Plano de Negócios**



# Sumário Executivo

- **Descrição do produto:** Robôs autônomos para limpeza de painéis solares.
- **Objetivo do negócio:** Fornecer soluções eficientes e sustentáveis para a limpeza de placas solares, maximizando a eficiência energética e a produção de energia solar.
- **Mercado-alvo:** Proprietários de fazendas solares, instalações industriais e comerciais, e proprietários de residências com sistemas solares.
- **Diferenciais competitivos:** Tecnologia avançada de limpeza, eficiência energética, autonomia e capacidade de lidar com diferentes tipos de sujeira e terrenos.

# Análise de Mercado

## TENDÊNCIA:

Em Abril/2024, a capacidade instalada em operação da energia solar excede 41 gigawatts. Essa tecnologia representa 18% da matriz elétrica do Brasil. Comparado ao mês anterior, nota-se um crescimento de 0.5% na capacidade de energia solar instalada.

### Energia Solar Fotovoltaica no Brasil Infográfico ABSOLAR



Atualizado em 12/04/2024 | nº 66

# Análise de Mercado

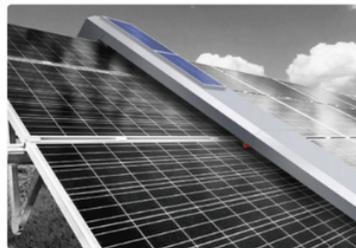
## DEMANDA:

Alinhado com o público-alvo, observa-se que, entre todos os tipos de instalações fotovoltaicas no Brasil, os setores de consumidores que se destacam são Residencial, Comercial, Serviços e Rural.



# Análise de Mercado

## CONCORRÊNCIA:



FONTE: MORKEN GROUP (2024)

### ROBÔ DE LIMPEZA LINEAR

- 01 Empresa Morken Group;
- 02 Fixo nas extremidades dos painéis;
- 03 Gera sombreamento;
- 04 Impacta na eficiência de geração de energia.



FONTE: OWANO; PHYS.ORG (2013)

### ROBÔ DE LIMPEZA AUTÔNOMA

- 01 Empresa Sinfonia Technology;
- 02 Movimento livre;
- 03 Operação noturna;
- 04 Alta eficiência.

## Produto e Serviços



FONTE: SANTOSH KUMAR; SOLARCLEANO (2022)

- **Descrição:** Robôs autônomos equipados com tecnologia de limpeza avançada de painéis solares.
- **Benefícios:** Aumento da eficiência de 5 a 10% , redução da manutenção manual e prolongamento da vida útil das placas solares.
- **Modelos de negócio:** Venda, contratos de serviço ou locação.

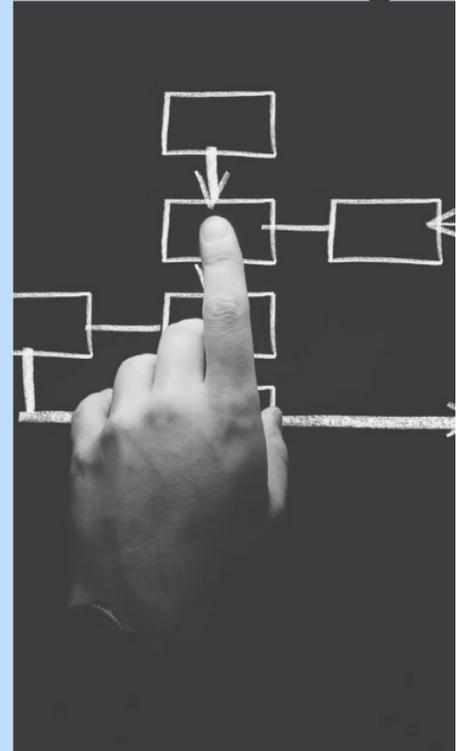
## Estratégia de Marketing e Vendas

- **Posicionamento:** Destacar benefícios ambientais, econômicos e de eficiência.
- **Promoção:** Marketing digital, eventos do setor e parcerias com instaladores de sistemas solares.
- **Canais de distribuição:** Vendas diretas, revendedores e parcerias estratégicas.



# Estrutura Organizacional

- **Equipe de gestão:** Especialistas em robótica, engenheiro de firmware, profissionais de vendas e marketing.
- **Estrutura operacional:** Divisão de trabalho, fluxo de comunicação, políticas internas.



# Plano Financeiro

- **Investimentos:** Desenvolvimento de protótipos, fabricação, testes e marketing.
- **Projeções:** Receitas, custos operacionais e fontes de financiamento.



# Plano Comercial

## 1. Identificação do Mercado-alvo

- Proprietários de fazendas solares comerciais e industriais.
- Empresas de serviços de energia solar.
- Proprietários de residências com sistemas solares.

## 2. Estratégia de Posicionamento

- Destacar os benefícios econômicos e ambientais da utilização dos robôs de limpeza.
- Enfatizar a eficiência e autonomia dos robôs em comparação com métodos manuais de limpeza.



# Plano Comercial

## 3. Desenvolvimento de Parcerias

- Estabelecer parcerias estratégicas com instaladores de sistemas solares para promover os robôs de limpeza como parte integrante de seus pacotes de serviços.
- Colaborar com empresas de manutenção de fazendas solares para oferecer serviços de limpeza automatizada como parte de seus portfólios.



# Plano Comercial

## 4. Campanhas de Marketing

- Realizar campanhas de marketing direcionadas aos mercados-alvo, destacando os benefícios dos robôs de limpeza para aumentar a produção de energia solar.
- Participar em feiras e eventos do setor para demonstrar os robôs de limpeza e interagir com potenciais clientes.



# Plano Comercial

## 5. Demonstração de Produto

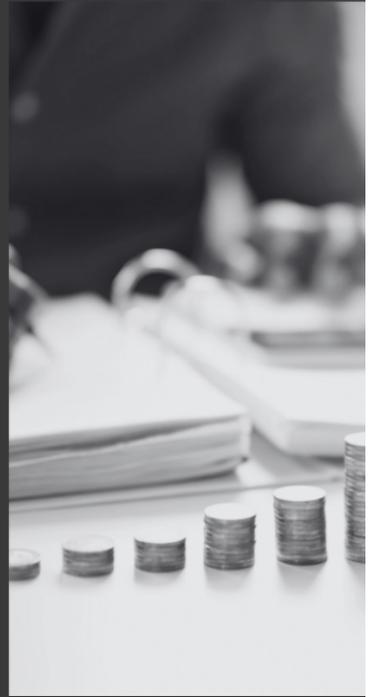
- Oferecer demonstrações práticas dos robôs de limpeza em fazendas solares selecionadas.
- Permitir que os clientes em potencial testem os robôs em suas próprias instalações para demonstrar sua eficácia.



# Plano Comercial

## 6. Estratégias de Preços

- Estabelecer uma estratégia de preços competitiva, considerando o valor agregado proporcionado pelos robôs de limpeza em comparação com métodos tradicionais de limpeza.
- Oferecer opções de pagamento flexíveis, como vendas diretas, contratos de serviço ou locações.



# Plano Comercial

## 7. Treinamento e Suporte

- Fornecer treinamento abrangente para os clientes sobre como operar e manter os robôs de limpeza.
- Estabelecer uma equipe de suporte técnico dedicada para lidar com quaisquer problemas ou dúvidas que os clientes possam ter.



# Plano Comercial

## 8. Avaliação de Feedback

- Coletar feedback dos clientes sobre a experiência de uso dos robôs de limpeza e usar essas informações para aprimorar continuamente o produto e o serviço.
- Monitorar o desempenho dos robôs de limpeza em diferentes ambientes e condições para garantir sua eficácia e confiabilidade.

