

**CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ
Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial**

**Eliel Amancio Fonseca
Lucas Bispo Vicente**

ROBÔ LIMPADOR DE JANELAS

**Santo André
2023**

Eliel Amancio Fonseca
Lucas Bispo Vicente

ROBÔ LIMPADOR DE JANELAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Mecatrônica Industrial da Fatec Santo André, orientado pelo Prof. Me. Luiz Vasco Puglia, como requisito parcial para obtenção do título de tecnólogo em Mecatrônica Industrial.

Santo André

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

F676r

Fonseca, Eliel Amancio

Robô limpador de janelas / Eliel Amancio Fonseca, Lucas Bispo Vicente. - Santo André, 2023. – 45f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2023.

Orientador: Prof. Luiz Vasco Puglia

1. Mecatrônica. 2. Robô limpador. 3. Construção. 4. Desenvolvimento. 5. Tecnologia. 6. Limpeza. 7. Janelas. 8. Vidro. 9. Segurança. I. Vicente, Lucas Bispo. II. Robô limpador de janelas.

629.892

FOLHA DE APROVAÇÃO



Faculdade de Tecnologia de Santo André

CENTRO PAULA SOUZA

GOVERNO DO ESTADO
DE SÃO PAULO

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 21 DE JUNHO DE 2023.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: **ROBÔ
LIMPADOR DE JANELA**” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA
U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. FLAVIO AUGUSTO BARRELLA

MEMBROS:

PROF. WELLINGTON BATISTA DE SOUSA

PROF. LUIZ VASCO PUGLIA

ALUNOS:

ELIEL AMÂNCIO FONSECA

LUCAS BISPO VICENTE

Dedicamos a conclusão desse trabalho primeiramente a Deus, que em tudo nos tem ajudado, e as nossas famílias que nos tem dado apoio ao longo dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossa gratidão e profunda reverência primeiramente a Deus, pelo êxito de termos concluído esses desafios durante esse período de aperfeiçoamento, nos iluminando com sua infinita sabedoria durante o processo de estudo, pesquisa e desenvolvimento deste trabalho.

Em segundo lugar, expressamos nosso profundo agradecimento à nossa querida família, cujo apoio incansável e incentivo inabalável foram imprescindíveis para nossa perseverança em alcançar esta meta acadêmica.

Aproveitamos a oportunidade para agradecer também a todos nossos caros colegas e amigos que nos encorajaram nesta jornada, tornando-a ainda mais prazerosa e significativa.

Por fim, expressamos nosso reconhecimento a todos nossos professores e orientadores, que, com suas sólidas orientações, competência científica e excepcional dedicação, propiciaram um ambiente de aprendizagem frutífero e desafiador. Seus conselhos e críticas foram inestimáveis para aprimorar nossa reflexão crítica e construir nossa capacidade de análise e síntese.

Que o legado deste trabalho possa inspirar e contribuir para o avanço de conhecimento em nossa área de estudo.

“Uma mente que se abre a uma nova ideia jamais
voltará ao seu tamanho original”
ALBERT EINSTEIN

RESUMO

A modernidade traz ao homem diversas facilidades para seu cotidiano. Moradia em alvenaria, saneamento básico, eletricidade, água tratada entre outros, agregaram ao homem conforto, qualidade de vida e principalmente aumento da longevidade. Obviamente, tais benefícios devem ser preservados, e o aumento da expectativa de vida é um fator de extrema importância. Residências e edificações sempre utilizam áreas envidraçadas para entrada de iluminação natural no ambiente. O processo de limpeza periódica nos vidros deve ser atendido, garantindo eficiência do processo. A limpeza interna usualmente é bastante simples, mas o processo de limpeza externa em muitos casos é de extrema dificuldade e alto grau de risco a segurança e saúde do indivíduo. Janelas com altura elevada e sem facilidade de acesso tem acúmulo estatístico de acidentes, incluindo registro de óbitos. Oferecer uma solução técnica a esse processo é o objetivo desse trabalho. Um robô que se prenda ao vidro pelo lado externo e execute o processo de limpeza, diminuiria a necessidade da mão de obra humana em condições de risco e, por consequência, a diminuição das estatísticas de acidentes. Um dispositivo que se prenda externamente ao vidro por sucção e cubra toda área externa da janela, processando a limpeza, lavando e secando as áreas de passagem, agrega muito ao processo existente atualmente.

Palavras-Chave: Limpeza. Robô. Segurança. Vidros.

ABSTRACT

The modernity depicts to man several facilities for everyday labor. Brick and motor dwelling, basic sanitation, electricity, treated water among others, aggregate to a single human comfort, life quality and especially longevity. Obviously, such benefits must be preserved and the increase in life expectancy is the extremely important issue. Residences and facilities always use glazed areas to bring natural light into the environment. The periodic cleaning process of the glass must be attended to ensure the efficiency of the process. The internal cleaning is usually quite simple, but the external one cleaning process in many cases is extremely difficult and risky for human health and safety. Windows pane with high heights and without easy access have a statistical accumulation of accidents, including deaths. To offer a technical solution to this process, it is meant to be thought the objective of this work. A robot that attaches itself to the glass from the outside and performs the cleaning process, would reduce the necessity for human labor at risky conditions and consequently reduce accident statistics. A robot that attaches itself externally to the pane of glass by suction and covers the entire external area of the window, processing the cleaning, washing, and drying the common areas, adds a lot to the process that currently exists.

Key words: Cleaning. Glass. Robot. Security.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Trabalhadores durante o trabalho de limpeza	14
Figura 2 - Primeiro dispositivo criado para limpeza de janelas	17
Figura 3 - Robô de limpeza Windoro	19
Figura 4 - Opção de chassi não viável.....	21
Figura 5 - Opção de chassi viável.....	22
Figura 6 - Estrutura do robô.....	23
Figura 7 - Escova de limpeza removível	24
Figura 8 - Minibomba de água	25
Figura 9 - Reservatório do fluido.....	26
Figura 10 - Baterias de íon-lítio recarregável.....	27
Figura 11 - Controle remoto.....	29
Figura 12 - Piezoelétrico	31
Figura 13 - Área de limpeza.....	35
Figura 14 - Sensor ultrassônico HC-SR04.....	36
Figura 15 - Especificações do ESP32.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NR35 - Norma Regulamentadora 35;

EPI- Equipamento de Proteção Individual;

OSHA - Occupational Safety and Health Administration;

CAGR - Compound Annual Growth Rate;

PVC – Policloreto de Vinilo;

PWM - Pulse Width Modulation;

NIMH - Hidreto Metálico de Níquel;

NICD - Níquel Cádmio;

IOT - Internet das Coisas;

GPIOs - General Purpose Input/Output;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	O primeiro robô de limpeza de janelas comercializável do mundo ...	18
3	DESENVOLVIMENTO	19
3.1	Montagem do robô	20
3.2	Estrutura do Robô	22
3.3	Sucção	23
3.4	Equipamentos de limpeza	23
3.5	Reservatório de limpeza	24
3.6	Interruptor	26
3.7	Bateria	27
3.8	Controle remoto	28
3.9	Piezoelétrico	29
3.10	Modo de operação do robô	32
4	TESTES E RESULTADOS	34
5	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS	41
	ANEXO A	43

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia vem crescendo de forma exponencial ao longo dos anos, inteligências artificiais, softwares e hardwares estão em constante desenvolvimento e gradativamente sendo implantadas em nosso dia a dia. São essas descobertas científicas que vem transformando o mundo em uma grande esfera tecnológica e digital, nos proporcionando muito mais agilidade e conforto. Tarefas como falar com um parente ou amigo distante, por exemplo, algo que antes levava dias ou até meses para se fazer, hoje é possível conversar instantaneamente através dos smartphones, que enviam e recebem dados por quilômetros de distância pela internet. Com todo esse avanço, é importante pensar em como essa evolução pode trazer para as pessoas, formas de realizar suas tarefas diárias com mais segurança, zelando pela sua integridade física e de outros envolvidos nestes processos. Hoje no mercado tecnológico, encontra-se uma ampla gama de produtos eletroeletrônicos capazes de executar diversos serviços domésticos, eles nos trazem praticidade e conforto, pois os tornam mais leves e rápidos de serem feitos.

Como exemplo, encontramos soluções para lavar e secar roupas, robôs autônomos para aspirar a casa, máquina para lavar louças, ou até mesmo saber o que há na geladeira sem ter que abri-la. Muitos desses avanços, possuem até inteligência artificial integrada e controle por Wi-Fi a distância.

Diante deste cenário, este trabalho orienta-se no sentido de desenvolver um robô capaz de realizar a limpeza externa de janelas de vidro, com foco em aumentar a segurança dos indivíduos e reduzir assim o índice de acidentes, otimizando também o tempo de limpeza.

Diante das intempéries desse mercado, um fator que permanece em evidência é a segurança das pessoas que vão realizar esse trabalho e das empresas e/ou residências que necessitam desse serviço.

Os trabalhos em altura, além de serem extremamente perigosos, necessitam de treinamentos específicos de segurança, e esta capacitação é regulamentada pela

Norma Regulamentadora 35 (NR-35), que caracteriza trabalho em altura, toda atividade acima de 2 metros do piso de referência, havendo risco de queda.

Além de todo o treinamento necessário para realização de trabalhos em altura, a limpeza externa de janelas exige o uso obrigatório de Equipamentos Individuais de Segurança (EPI'S), de ferramentas apropriadas e que seja dada uma atenção especial ao estado físico e mental do colaborador que for realizar esta tarefa, pois na ocasião, ele pode não estar em sãs condições de desenvolver o trabalho em altura.

As condições climáticas são também um importante fator a ser analisado, pois ventos fortes, temporais e outras calamidades naturais, podem interferir significativamente na segurança e na realização desse trabalho.

O uso de mão de obra humana apresenta alto risco de queda, acidentes e até mesmo fatalidades. Há inúmeras ocorrências e relatos de acidentes em trabalhos de limpeza de fachadas, mesmo com o uso de andaimes, EPI's e toda segurança necessária (NANSAI, et al, 2018), que pode ser observado na figura 1.

Figura 1 - Trabalhadores durante o trabalho de limpeza



Fonte: IEEE (2021)

As soluções robóticas nos propõem um grande potencial minimizando o risco para seres humanos e melhorando a produtividade nos trabalhos de limpeza das fachadas.

“Estudos feitos pela *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)* descobriu que nos últimos 10 anos, houve 88 acidentes de limpeza de vidro, dos quais 62 foram vítimas” (LI; XU; TAM, 2021).

Entre as literaturas disponíveis, Li, Xu e Tam (2021) também apresentam uma discussão sobre a qualidade de vida dos trabalhadores desse setor, bem como aprofunda estudos sobre processos de execução de um robô de limpeza externo, tanto comercial como residencial, sendo uma base de bastante detalhamento a ser aplicada nesse estudo que segue.

Tendo em vista que um dos nossos principais focos é aumentar a segurança destes indivíduos, podendo também otimizar o tempo de limpeza com o melhor custo-benefício.

Os custos para limpeza de fachadas de edifícios são altos, pelo fato de envolver mão de obra humana, o tipo de profissão se caracteriza como de risco, devido à altura que o empregado se submete. Portanto, se para isso, fosse utilizado um robô, estima-se que os custos podem se minimizar, assim como aconteceu em muitas outras áreas em que foi aplicada a automação.

Comparando com os métodos tradicionais de limpeza, usando um robô especialmente desenvolvido para esta função, deve-se obter uma economia significativa em um curto período, se levar em consideração que não teria mais custos de diversos empregados como: salubridade, hora extra e demais custos relacionados, além do uso racional de material.

De acordo com Li, Xu e Tam (2021) espera-se que a escala de mercado de serviços de limpeza cresça a um *Compound Annual Growth Rate (CAGR)* de 6,2% para atingir 74.299 milhões de dólares até 2022.

Quanto ao aspecto da eficiência, em relação ao trabalho de limpeza externa de janelas da maneira atual, como é executado, muitas vezes torna-se uma tarefa

árdua e ineficiente, pois dependendo do tamanho da estrutura a ser limpa, os trabalhadores levam muito tempo até completarem toda a limpeza do edifício, estando sujo novamente ao final, além do mais, considerando os limites humanos de flexibilização manual, fica fácil encontrar limitações ao executar tal tarefa. Já a eficiência de um robô, limita-se a recarregar as baterias para assim, retornar ao trabalho, superando o serviço manual.

Com base nestas informações, visa-se responder a seguinte pergunta:

É viável automatizar o processo de limpeza em janelas de vidro utilizando um robô?

A resposta é sim e com isso espera-se que as dificuldades das empresas de limpeza e manutenção prediais, possam ser resolvidas e abre uma margem para um mercado voltado para área de manutenção em edifícios.

Sendo assim, o objetivo geral deste presente trabalho é analisar a viabilidade da automatização do processo de limpeza em janelas de vidro via um robô limpador de janelas, conceituar de forma prática a aplicação desse equipamento, verificar quais os componentes eletrônicos e produtos químicos serão necessários para o desenvolvimento desse projeto e examinar como será aplicado e implementado o projeto.

É de suma importância os esclarecimentos acerca do referido assunto, para demonstrar que a relevância desta pesquisa, contribui diretamente, para a segurança e a eficiência, com a automatização deste trabalho em relação a sociedade.

Para alcançar os resultados pretendidos, o estudo será perseguido por meio da pesquisa de artigos científicos em base de dados indexados e por meios práticos na construção de um dispositivo que seja capaz de realizar eletronicamente a limpeza em janelas de vidro.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Um dos primeiros relatos que se tem sobre melhorias em limpeza de janelas foram em meados do século XX, onde uma mulher chamada Anna Dormitzer, nascida em Praga, República Tcheca, mesmo sendo de família rica se sensibilizou com os perigos da limpeza, em especial limpeza de janelas, e a partir 1878, registrou várias patentes para uma variedade de dispositivos destinados a limpeza de janelas. Dentre as criações de Anna está a *Window Cleaning Step-Chair*, patenteada em 13 agosto de 1878, que tem sua maquete vista na figura 2.

Figura 2 - Primeiro dispositivo criado para limpeza de janelas



Fonte: HAGLEY, (2022)

A partir daí, as invenções destinadas a limpeza de janelas foram ficando cada vez mais populares. A busca pela facilidade na execução das tarefas domésticas e a otimização do tempo em que se gasta em cada uma, foram aumentando com o passar do tempo e devido o avanço da tecnologia sendo possível mais invenções para ajudar nesse processo.

Desde a década de 90, as principais incorporações da Ásia, América do Norte e Europa têm desenvolvido sistemas de robôs móveis para uma variedade de tarefas de limpeza.

Bula, Bula e Hajrizi (2022) discorre que em 2002, uma artista holandesa, criou uma instalação de lavagem de janelas para um local do aeroporto de Schiphol, Amsterdã. Foram sugeridos 85 limpadores de janelas de tamanho industrial para instalação nas janelas do edifício.

2.1 O primeiro robô de limpeza de janelas comercializável do mundo

Com intento de promover inovações e novas tecnologias, o fabricante *Korean Ilshim Global* estava envolvida no processo de fabricação de tecidos de microfibras, para fins de uso domésticos e industriais.

Foi assim que os coreanos se uniram com o Instituto de Robótica e lançaram o

primeiro robô de limpeza de janelas comercializável do mundo chamado *Robot Windoro*. O *Windoro* foi produzido no ano de 2010, pelo fabricante *Korean Ilshim Global* e é um robô totalmente inteligente e autônomo.

Possui dois módulos, um é usado para navegação e o outro para limpeza. Ele adere a superfície do vidro por meio de quatro pares de ímãs permanentes em uma unidade interna e uma unidade externa. Devida essa aderência mantida por meio de atração magnética, mesmo que a bateria acabe ou tenha alguma pane ou falha, o robô não cairá, ele continuará fixado na janela, aumentando a segurança do produto.

O *Windoro* também possui uma unidade interna e externa que são responsáveis pela navegação e limpeza. Para ser possível a limpeza, a unidade interna possui duas rodas motrizes equipadas com pneus de silício, com um grande coeficiente de atrito, e a unidade externa possui quatro discos rolantes motorizados acoplados com uma almofada de fibra superfina. Foram feitos vários experimentos severos, e o robô *Windoro* demonstrou estabilidade do sistema, boa mobilidade, segurança e desempenho de limpeza, visto na figura 3.

Figura 3 - Robô de limpeza Windoro



Fonte: WEEKLY-GEEKLY, (s/d).

3 DESENVOLVIMENTO

Este trabalho apresenta o estudo para a realização de um *Clean Window*, de forma que melhore o serviço de limpeza de fachadas.

O robô é um dispositivo retangular compacto de 37x18 cm, de aproximadamente 125 g, que se fixa na superfície vidro através um sistema de sucção, com o auxílio de escovas presas á velcros localizados nas extremidades do robô, possuindo como opção dois tipos de escovas removíveis para limpeza, sendo uma para limpeza leve e outra para limpezas mais pesadas.

O robô é ativado eletricamente através de uma chave liga/desliga e consiste na unidade de controle elétrico e eletrônico, componentes mecânicos estruturais e de transmissão.

Possui bateria de lítio que não vicia, de 3,7 V e 400 mA, que garante uma alta durabilidade para limpeza contínua do ambiente e conta com aviso sonoro-luminoso quando há necessidade de carregar a bateria. Como suporte de segurança o aparelho suporta consigo uma corda presa a sua estrutura, para quando ele for utilizado em áreas externas.

3.1 Montagem do robô

A montagem do robô é uma etapa primordial no desenvolvimento do projeto, pois é nessa fase que será possível identificar os componentes que serão viáveis ou não para compor a estrutura do robô.

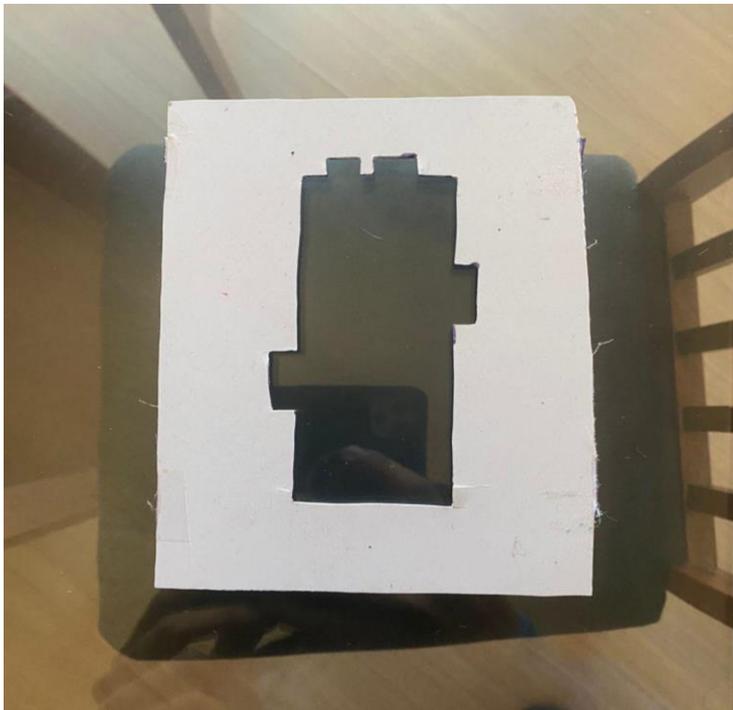
O primeiro componente é o chassi, que é a base do robô, oferecendo suporte estrutural para os demais componentes.

O chassi é uma carcaça adaptada de um carrinho de controle remoto que contém 2 rodas com eixo deslocado para facilitar a movimentação do robô na

superfície vertical. Foi necessário aumentar a área do chassi para incluir alguns componentes, como por exemplo as escovas removíveis, o reservatório de limpeza e o gancho utilizado como sistema de segurança para evitar a queda do equipamento, através de uma corda.

Para aumentar a área do chassi, a primeira opção utilizada foi um material de plástico Policloreto de vinilo (PVC), porém esse material não atendeu as expectativas do projeto devido sua massa ser acima do desejado, fazendo com que o robô perdesse a estabilidade, como podemos observar na figura 4.

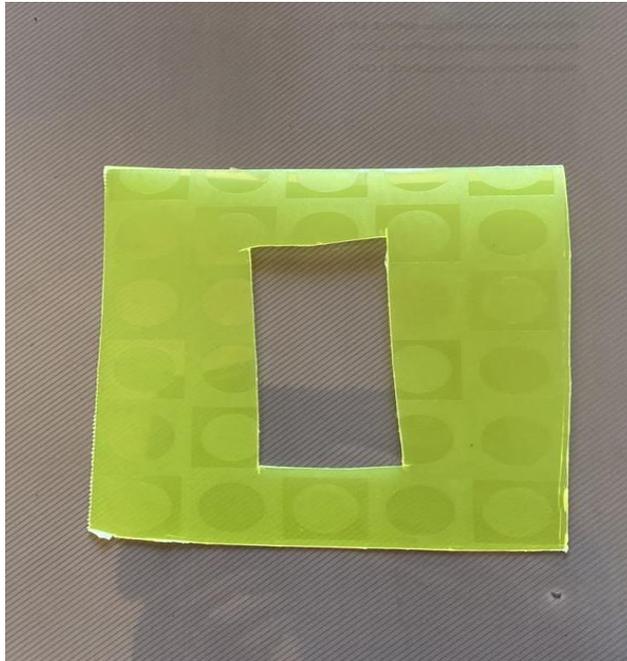
Figura 4 - Opção de chassi não viável



Fonte: OS AUTORES, (2023).

A segunda opção para ampliação do chassi, foi um material plástico polipropileno, que atendeu as expectativas por ser um material leve e resistente, permitindo ao robô uma locomoção mais precisa, apresentado na figura 5.

Figura 5 - Opção de chassi viável



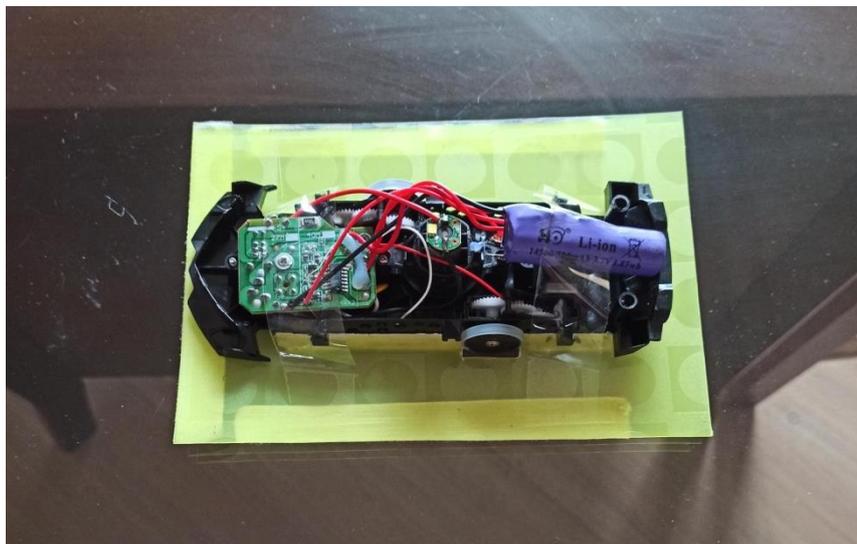
Fonte: OS AUTORES, (2023).

3.2 Estrutura do Robô

Como dito anteriormente, a estrutura principal do robô é a base do carrinho que fornece suporte e estabilidade, feito de um plástico de polipropileno, devido a necessidade de obter um projeto o mais compacto e leve possível, facilitando na portabilidade, no manuseio, e nas questões estéticas do projeto.

A estrutura do robô contém a ligação do sistema eletrônico que também foi adaptado do carrinho de controle remoto, onde foram feitas as ligações dos motores, bateria de lítio, bomba de vácuo e unidade eletrônica receptora, visto na figura 6.

Figura 6 - Estrutura do robô



Fonte: OS AUTORES, (2023).

3.3 Sucção

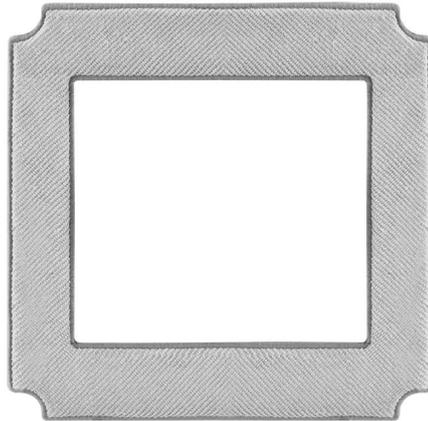
O robô possui um sistema de sucção para se manter fixo nas superfícies das janelas durante a limpeza. Esse sistema tem um funcionamento através de uma minibomba de ar e vácuo conectada a um motor que cria um vácuo ou uma pressão negativa, gerando uma força de sucção que ajuda a fixar o robô nas janelas.

3.4 Equipamentos de limpeza

O dispositivo tem um sistema de fixação por velcro composto por um tecido de nylon devido a sua durabilidade, resistência ao desgaste e capacidade de manter

a aderência ao longo do tempo. Localizadas nas extremidades do robô, possuem variações dependendo do tipo e grau de sujidade, elas são removíveis e laváveis e com o tempo até descartáveis, como observamos um exemplo na figura 7.

Figura 7 - Escova de limpeza removível



Fonte: ECOVACS, (2023).

3.5 Reservatório de limpeza

Como primeira solução para o sistema de limpeza, foram feitos estudos e análises sobre a eficácia de uma minibomba de água controlada por um microcontrolador, para conduzir o fluido do reservatório até a superfície a ser limpa.

A minibomba de água tem um motor interno que permite trabalhar com baixas tensões entre 3 a 6 V e capacidade de 1000 ml a 1500ml por minuto, sendo destacada pela sua eficiência e precisão durante sua execução em conjunto com um microcontrolador.

Porém, a minibomba não atendeu as expectativas do projeto devido sua estrutura acrescentar uma massa maior do que o esperado, comprometendo o desempenho do robô. A minibomba também disporia de um reservatório externo, que limitaria o curso de atuação do robô em áreas internas e principalmente externas, como observamos o exemplo da minibomba na figura 8.

Figura 8 - Minibomba de água

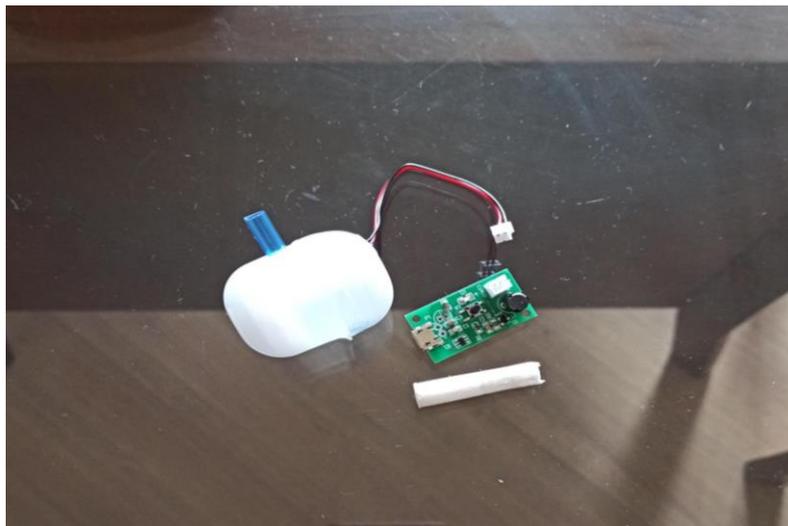


Fonte: OS AUTORES, (2023).

Aprofundando os estudos para buscar uma solução viável ao sistema de limpeza que funcione acoplado ao robô para otimizar o seu desempenho, o reservatório do fluido de limpeza foi construído com o material de plástico polipropileno, por ser um plástico leve, e como substituição da minibomba de água, o reservatório foi conectado à um piezoelétrico que libera o fluido ao vidro conforme

será mencionado no modo de operação. Busca-se a utilização do líquido de rápida vaporização e que não cause mancha ao vidro, como podemos observar na figura 9.

Figura 9 - Reservatório do fluido



Fonte: OS AUTORES, (2023).

3.6 Interruptor

A Chave Liga/Desliga, como o próprio nome sugere, a função desta chave é Ligar ou Desligar um motor ou máquina elétrica. Geralmente, como exaustores industriais ou máquinas do setor de agricultura e pecuária utilizam este modelo.

3.7 Bateria

Bateria íon-lítio é um tipo de bateria recarregável muito utilizadas em equipamentos eletrônicos portáteis. Armazenam o dobro de energia que uma bateria de hidreto metálico de níquel (ou NIMH) e três vezes mais que uma bateria de níquel cádmio (NICD) por ser um metal leve, o lítio é capaz de armazenar uma maior quantidade de energia em espaços menores, garantindo uma maior autonomia aos equipamentos elétricos. As baterias de íons lítio possuem maior vida útil, podendo chegar a 4 anos de duração se utilizada de forma correta e são carregadas rapidamente, proporcionando a eliminação na troca de baterias entre turnos.

A autonomia da bateria ligada diretamente ao robô é de aproximadamente 2h, exemplo visto na figura 10.

Figura 10 - Baterias de íon-lítio recarregável



Fonte: ALL IN ONE, (2023).

3.8 Controle remoto

O sistema de controle remoto do robô é projetado para permitir que o usuário controle as funções e movimentos do carrinho a distância, e é composto por três componentes principais: o controle remoto, o transmissor e o receptor.

O controle remoto é o dispositivo portátil que o usuário segura e usa para enviar comandos ao robô. Ele possui joysticks que correspondem às diferentes ações e funções do robô, como direção, velocidade, movimento para frente ou para trás, entre outros.

O transmissor é a unidade eletrônica dentro do controle remoto que converte os comandos do usuário em sinais de rádio ou infravermelho para serem enviados ao carrinho. O transmissor geralmente possui uma antena que emite esses sinais na forma de ondas de rádio ou pulsos de infravermelho.

O receptor é a unidade eletrônica localizada no robô que recebe os sinais enviados pelo transmissor. Ele interpreta os comandos recebidos e os converte em ações específicas do robô, como acelerar, girar ou parar. O receptor é conectado aos motores e outros componentes eletrônicos do carrinho para executar as instruções recebidas do controle remoto.

Quando o operador aciona um botão ou movimenta os controles no controle remoto, o transmissor envia um sinal correspondente ao receptor no robô. O receptor, por sua vez, interpreta o sinal e aciona os motores e outros mecanismos do carrinho de acordo com as instruções recebidas. Isso permite ao usuário controlar remotamente o movimento e as funções do carrinho em tempo real, como pode ser observado um protótipo na figura 11.

O código de comunicação entre o controle e a placa do carrinho encontra-se no Anexo A.

Figura 11 - Controle remoto



Fonte: OS AUTORES, (2023).

3.9 Piezoelétrico

O conceito e o desenvolvimento dos umidificadores piezoelétricos têm origem na tecnologia dos transdutores piezoelétricos. A propriedade piezoelétrica foi descoberta em meados do século XIX por Pierre Curie e Jacques Curie, que observaram que certos cristais, como o quartzo, geravam uma carga elétrica quando eram submetidos a pressão mecânica.

Ao longo do tempo, os materiais piezoelétricos foram aprimorados e a compreensão do fenômeno piezoelétrico se desenvolveu. Esses materiais passaram a ser amplamente utilizados em diversos dispositivos, incluindo transdutores ultrassônicos.

Os transdutores piezoelétricos são dispositivos que convertem energia elétrica em energia mecânica, ou vice-versa, por meio da propriedade piezoelétrica.

Eles são amplamente utilizados em várias aplicações, como sensores, transdutores de ultrassom, alto-falantes, entre outros. Com base nesse conhecimento e na capacidade dos transdutores piezoelétricos de gerar vibrações ultrassônicas, surgiu a ideia de utilizar esses elementos para criar umidificadores de ar.

Os umidificadores piezoelétricos se tornaram populares devido à sua eficiência energética e operação silenciosa. Eles foram projetados para serem compactos e portáteis, tornando-os ideais para uso em ambientes menores.

Embora seja difícil determinar o exato momento em que o primeiro umidificador piezoelétrico foi desenvolvido, a tecnologia piezoelétrica em si tem sido estudada e utilizada em várias aplicações desde o final do século XIX.

Desde então, os avanços na tecnologia dos materiais piezoelétricos e na engenharia de dispositivos têm permitido melhorias contínuas nos umidificadores piezoelétricos, tornando-os mais eficientes e acessíveis aos consumidores. (PEREIRA, 2023).

Os umidificadores de ar piezoelétricos são um tipo específico de umidificador que utiliza um elemento piezoelétrico para criar névoa ou vapor de água, e são conhecidos por sua eficiência energética e operação silenciosa. Vamos entender como eles funcionam.

Um elemento piezoelétrico é um material que possui a propriedade de gerar uma carga elétrica quando é submetido a uma pressão mecânica ou deformação. Normalmente, o elemento piezoelétrico utilizado nos umidificadores é feito de cristal cerâmico, como o quartzo ou o titanato de bário.

No umidificador piezoelétrico, o elemento piezoelétrico é colocado dentro de uma cavidade ou recipiente que contém água. Quando uma corrente elétrica é aplicada ao elemento piezoelétrico, ele começa a vibrar rapidamente em frequências ultrassônicas.

Essas vibrações ultrassônicas agitam a água no recipiente e criam pequenas gotículas que se dispersam no ar, formando uma névoa fina. Essa névoa é liberada

no ambiente através de um bocal ou saída de ar, umidificando o vidro para potencializar a limpeza.

São frequentemente compactos e portáteis, sendo usados em pequenos ambientes, como quartos, escritórios ou carros, com a vantagem de consumir menos energia em comparação com outros tipos de umidificadores, pois não precisam de aquecimento para gerar a névoa.

No entanto, é importante destacar que os umidificadores piezoelétricos não são adequados para a dispersão de substâncias como óleos essenciais ou medicamentos, pois eles não possuem mecanismos de difusão adequados para isso.

Em resumo, um umidificador piezoelétrico utiliza um elemento piezoelétrico para criar vibrações ultrassônicas na água, gerando uma névoa fina que direcionada diretamente ao local a ser limpo, ajuda significativamente a remover a sujeira. Esses umidificadores são eficientes, silenciosos e adequados para pequenos espaços, visto na figura 12.

Figura 12 - Piezoelétrico



Fonte: USINAINFO, (2023).

3.10 Modo de operação do robô

O robô tem um modo de operação manual onde o operador pode mover o robô em qualquer direção ao longo da janela usando um dispositivo de joystick, efetuando a limpeza completa com rapidez e máxima eficiência.

O sistema de irrigação funciona através de um mini umidificador de ar ultrassônico de 5 V conhecido como piezoelétrico, que vibra a uma frequência de 108 KHz, e quando ele é ligado a uma fonte de energia e entra em contato com o fluído, é capaz de vaporizar até 40 ml/h.

Esse umidificador de ar ultrassônico também tem um exclusivo sistema de desligamento automático após 4 h de uso contínuo.

O piezoelétrico é colocado na parte interna da tampa do reservatório juntamente com o fluído, e, quando o robô é acionado o sistema de irrigação também é acionado durante todo o processo de limpeza, garantindo que o vidro receba constantemente o fluído de limpeza na proporção adequada. O reservatório possui uma entrada na parte superior caso seja necessário abastecê-lo.

Como fluído para a limpeza de vidros, foi utilizado o álcool isopropílico por ser um tipo de álcool desinfetante e evaporativo que é frequentemente utilizado para limpar superfícies de vidro, como janelas, espelhos e monitores de computador. O álcool isopropílico ajuda a remover manchas, sujeiras, gordura e impressões digitais sem deixar resíduos. Além disso, seca rapidamente, o que ajuda a evitar marcas ou manchas no vidro. É importante lembrar de usar o álcool isopropílico em áreas bem ventiladas e seguir as instruções de segurança na embalagem do produto.

O álcool isopropílico, também conhecido como isopropanol ou 2-propanol, é um álcool com fórmula química C_3H_8O , sua estrutura química é $CH_3-CHOH-CH_3$,

com um grupo hidroxila (OH) ligado a um carbono secundário, tem um ponto de ebulição de cerca de 82,6°C. É miscível em água, o que significa que se mistura facilmente com a água em qualquer proporção, é um líquido incolor, inflamável e com um odor característico.

Frequentemente ele é utilizado como solvente em produtos de limpeza, desinfetantes, removedores de esmalte, produtos de cuidados pessoais e em aplicações industriais. Possui propriedades de evaporação rápida e como o fluido é vaporizado à medida que o robô se movimenta, ele abrange grandes áreas, o que o torna eficaz na limpeza de superfícies, como vidros, sem deixar resíduos.

A Estrutura do chassi é feita de um material plástico de polipropileno, pela sua flexibilidade, disponibilidade e leveza.

O robô tem 120 mm de largura, 40 mm de altura e 175 mm de comprimento, pesando cerca de 0,0895 kg, o qual é benéfico por conta da bateria leve. O máximo volume do reservatório de fluido é de 0,30 L, o que é considerado pequeno se comparado a outros dispositivos mais avançados. Essa limitação é imposta devido ao pequeno interno disponível.

4 TESTES E RESULTADOS

Com base nos testes feitos, o robô é capaz de limpar uma área de 150 cm x 50 cm, ou seja, 7500 cm², em um tempo aproximado de 4 minutos, podendo atingir uma área maior, devido a autonomia da bateria ligado diretamente ao robô de aproximadamente 2 h.

Um dos principais resultados obtidos com o uso do robô limpador de janelas é a notável eficiência na limpeza, percorrendo a superfície de forma completa e uniforme. Além disso, graças as suas escovas removíveis de nylon, o robô remove com facilidade as sujeiras, poeiras, manchas e marcas, deixando as superfícies limpas e impecáveis.

Outro aspecto notável proporcionado pelo robô limpador de janelas é a segurança para o usuário durante o processo de limpeza, evitando que ele caia da janela, e para terceiros, devido a corda antiquedas que está acoplada ao robô, diminuindo o risco de acidentes.

O reservatório de limpeza com capacidade de 30ml de fluido, apresentou resultados dentro do esperado, sendo possível fazer a limpeza em um tempo de 45 minutos e reabastecê-lo para continuar a limpeza após esse período.

Também foi testado o sistema de sucção, e o robô apresentou capacidade de aderir às superfícies das janelas, garantindo uma fixação estável.

Com base nos resultados obtidos, os usuários economizam tempo e esforço, já que não precisam realizar essa tarefa manualmente, e conseguem executar essa tarefa em lugares mais altos com mais segurança, como visto na figura 13.

Figura 13 - Área de limpeza



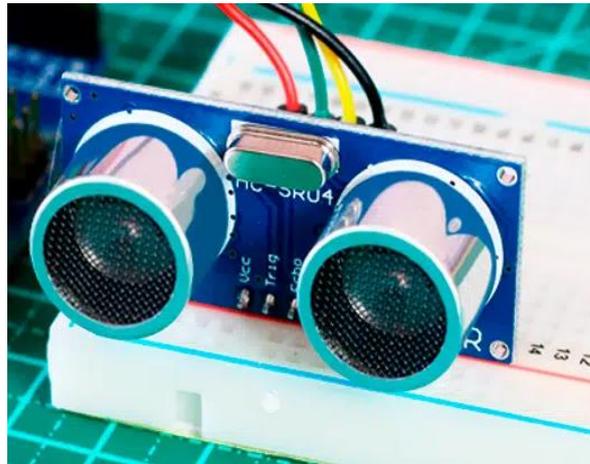
Fonte: OS AUTORES, (2023).

5 CONCLUSÃO

Com o cenário tecnológico em constante evolução, como proposta para futuras melhorias no projeto, automatizando a limpeza de janelas com um sistema controle programado, via microcontrolador e com mapeamento automático através dos sensores ultrassônicos HC-SR04, que com base nos dados coletados pelos próprios sensores, realiza um mapeamento inteligente da superfície da janela. Ele utiliza algoritmos avançados para identificar áreas sujas e determinar a trajetória de limpeza mais eficiente, atualizando-se em tempo real à medida que o robô avança na limpeza.

Os sensores ultrassônicos, modelo HC-SR04 são embutidos com sonar, projetado para determinar a distância de objetos tais como, detecção de barreiras como por exemplo esquadrias, também é capaz de identificar divisões, ausência do vidro limite, e até mesmo a extremidade da superfície para que ele não venha a perder o controle e cair da fachada. “Esse tipo de sensor oferece excelente detecção de faixa sem contato e com alta precisão. (ASAFÁ et al., 2018)”. Ele vem com sensores ultrassom, módulos transmissores e receptores, como podemos observar na figura 14.

Figura 14 - Sensor ultrassônico HC-SR04



Fonte: THOMSEN, (2011).

Os sensores ultrassônicos, são dispositivos muito utilizado na indústria para medição de distância detecção de posição de materiais granulados, materiais em pó e fluidos. O grande diferencial deste tipo de sensor é que ele pode medir variáveis como enchimento, curvatura e altura sem a necessidade de contato. Esses tipos de Sensores Ultrassônicos nos oferece uma possibilidade de ser utilizado para a detecção qualquer tipo de material que não absorve som, a não influência da cor no processo de detecção, a capacidade de ignorar quaisquer ruídos de fundo e a excelência na detecção de materiais transparentes.

O HC-SR04 possui dois principais componentes: um transmissor e um receptor. O transmissor emite um sinal ultrassônico e o receptor capta o eco desse sinal refletido por um objeto. A diferença de tempo entre a emissão do sinal e a recepção do eco permite calcular a distância entre o sensor e o objeto (FEITOSA; TONETE; OLIVEIRA, 2013).

O funcionamento básico do HC-SR04 pode ser descrito em alguns passos:

- O pino de controle do transmissor é acionado para emitir um pulso ultrassônico;
- O sinal ultrassônico se propaga em forma de onda pelo ambiente;

- Quando o sinal encontra um objeto, parte dele é refletido de volta para o sensor;
- O pino de controle do receptor é ativado, e o sensor aguarda o eco do sinal;
- O sensor mede o tempo que leva para o sinal retornar ao receptor;
- Usando a velocidade do som como referência, o HC-SR04 calcula a distância entre o sensor e o objeto com base no tempo de ida e volta do sinal;
- A distância é disponibilizada através dos pinos de saída do sensor, que podem ser conectados a um microcontrolador ou a outro dispositivo para processamento adicional.

Ao montar um robô limpador de janelas, o operador poderá posicionar os sensores HC-SR04 em várias partes do robô para obter uma visão abrangente do ambiente ao redor. Por exemplo, colocando um ou mais sensores na parte frontal do robô para detectar obstáculos à medida que se aproximam das janelas. Isso permitiria ao robô evitar colisões com objetos ou com bordas de janelas elevadas.

Ao combinar os dados coletados pelos sensores HC-SR04 com um algoritmo de navegação adequado, o robô limpador de janelas poderá planejar rotas seguras, evitando obstáculos e garantindo que a limpeza seja realizada de maneira eficiente.

Através de um microcontrolador, o sistema remoto do robô é orientado a se mover pela superfície da janela e ao mesmo tempo executar a limpeza da superfície.

O microcontrolador que será utilizado como sugestão poderia ser o ESP32 por ser um hardware para prototipagem eletrônica muito versátil, com acesso a Wi-Fi, bluetooth, permitindo que o controle seja remoto e que tenha acesso a recursos adicionais, como monitoramento por câmeras, por exemplo.

O ESP32 é uma plataforma de desenvolvimento de hardware baseada em um microcontrolador de baixa potência e baixo custo. Ele foi projetado pela Espressif Systems em 2016, como uma evolução do ESP8266 e se tornou bastante popular na área de Internet das Coisas (IoT).

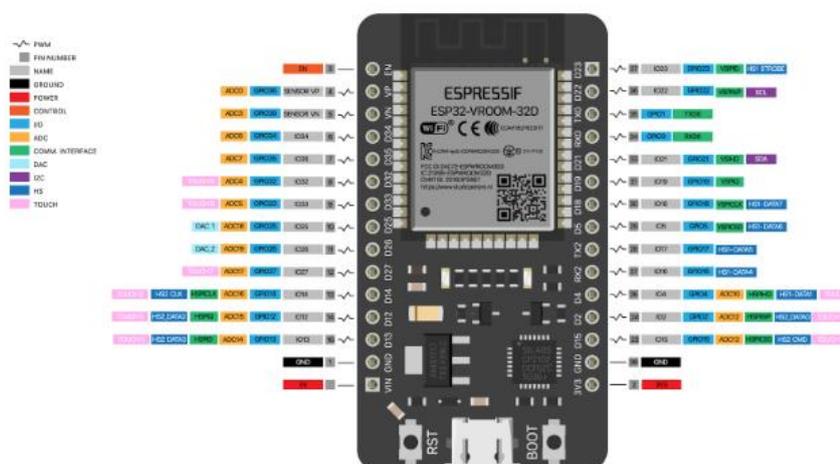
Uma das características mais destacadas do ESP32 é a sua conectividade, pois ele suporta *Wi-Fi*, o que permite que os dispositivos baseados em ESP32 se conectem a redes sem fio. Além disso, também possui suporte para *Bluetooth 4.2* e *Bluetooth Low Energy*, possibilitando a comunicação com outros dispositivos e periféricos.

O ESP32 é uma plataforma versátil, oferecendo uma ampla variedade de interfaces e periféricos. Ele possui *General Purpose Input/Output (GPIOs)*, que permitem a conexão de sensores, atuadores e outros dispositivos externos. Também possui interfaces que facilitam a comunicação com outros dispositivos e sistemas.

Para programar o ESP32, é comum utilizar a plataforma de desenvolvimento Arduino, que oferece uma linguagem de programação simplificada e uma vasta biblioteca de funções prontas para uso. Além disso, é possível utilizar a linguagem de programação C++, para um controle mais avançado e personalizado.

O ESP32 tem sido amplamente utilizado na criação de projetos de IoT, desde dispositivos simples, como sensores e atuadores, até projetos mais complexos, como sistemas de monitoramento, automação residencial e até mesmo robótica. Sua combinação de potência, conectividade e baixo custo o torna uma escolha popular entre os desenvolvedores interessados em criar soluções de IoT eficientes e acessíveis (BERTOLETI, 2019), podemos ver suas especificações na figura 15.

Figura 15 - Especificações do ESP32



Fonte: ELEMENTS, (s/d).

Em síntese, o presente trabalho acadêmico apresenta um estudo abrangente sobre um robô limpador de janelas controlado por controle remoto, que se mostra altamente eficiente em suas tarefas. Os resultados obtidos demonstram que essa tecnologia inovadora pode trazer benefícios significativos em termos de eficiência e praticidade na limpeza de janelas em diferentes ambientes.

Ao longo da pesquisa, foram identificados os principais desafios enfrentados na limpeza de janelas tradicional, incluindo a dificuldade de acesso a locais altos, a necessidade de equipamentos especializados e o risco envolvido para os profissionais envolvidos. O robô limpador de janelas, com seu design inteligente e operação por controle remoto, supera essas limitações, oferecendo uma solução eficaz e segura.

Através do controle remoto, o operador tem a capacidade de direcionar o robô de forma precisa e realizar a limpeza em áreas de difícil acesso, garantindo uma limpeza completa e abrangente. Além disso, a automação do processo reduz significativamente o tempo necessário para a execução da tarefa, tornando-a mais eficiente em comparação com os métodos tradicionais.

O robô limpador de janelas também se destaca por sua versatilidade, sendo capaz de lidar com diferentes tipos de superfícies e tamanhos de janelas, garantindo a segurança do ambiente e evitando danos materiais.

Em suma, este estudo ressalta a importância da aplicação de robôs controlados por controle remoto na limpeza de janelas. Essa tecnologia oferece uma solução eficiente, segura e conveniente, superando os desafios encontrados nos métodos tradicionais. A adoção desse tipo de robô pode resultar em economia de tempo e recursos, além de contribuir para a melhoria da segurança no trabalho e aprimoramento dos resultados de limpeza.

REFERÊNCIAS

ALL IN ONE. Baterias de íon-lítio recarregável. Disponível em:< [Original](#)
[bateria de íões de lítio recarregável 18650 3.7V 2900mAh Cell Li-ion 18650 baterias](#)
[- Ainbattery.com](#)>. Acesso em: 17 mai. 2023.

ASASFA, T. B. et al. *Development of a vacuum cleaner robot*. **Alexandria Engineering Journal**, Alexandria, v. 57, n. 4, p. 2911-2920, dez. 2018.

BULA, I.; BULA, E.; HAJRIZI, E. *Cost Oriented Autonomous Window Cleaning Robot from Mechatronic Scrap – MechCleanBot*. **Science Direct**, Moscow – Russia, v. 54, n. 13, p. 233-238, nov. 2021.

ECOVACS. Escova de limpeza removível. Disponível em:<<https://www.ecovacs.com/global/deebot-winbot-accessories>>. Acesso em: 17 mai. 2023.

ELEMENTS. Especificações do ESP32. Disponível em:<[Connecting ESP32 to Google Cloud IoT \(elementsonline.com\)](https://www.elementsonline.com/Connecting-ESP32-to-Google-Cloud-IoT)>. Acesso em: 18 mai. 2023.

FEITOSA, C. E. A.; TONETE, J. M. C.; OLIVEIRA, L. F. P. Controle de direção veicular através da aplicação do sensor ultrassônico HC-SR04. **Universidade Tecnológica Do Paraná**, Campo Mourão – Paraná, p. 1-4, nov. 2013.

HAGLEY. Primeiro dispositivo criado para limpeza de janelas. Disponível em:<[Patent Model - Window-Cleaning Step-Chairs - Hagley Museum & Library](https://www.hagley.com/patent-model-window-cleaning-step-chairs)>. Acesso em: 27 nov. 2022.

BERTOLETI, P. **Projetos com ESP32 e LoRa**, São Paulo, Instituto NCB, 2019.

IEEE. Trabalhadores durante o trabalho de limpeza. Disponível em:<<https://ieeexplore.ieee.org/document/9509542>>Acesso em: 10 out. 2022.

LI, Z.; XU, Q.; TAM, L. M. *A Survey on Techniques and Applications of Window-Cleaning Robots*. **IEEE ACCESS**, China, v. 9, p. 518-532, ago. 2021.

LI, Z.; XU, Q.; TAM, L. M. *A Survey on Techniques and Applications of Window-Cleaning Robots*. Disponível em:<<https://ieeexplore.ieee.org/document/9509542>>. Acesso em: 13 out. 2022.

LI, Z.; XU, Q.; TAM, L. M. *A Survey on Techniques and Applications of Window-Cleaning Robots*. Disponível em:<<https://ieeexplore.ieee.org/document/9509542>>. Acesso em: 15 out. 2022.

NANSAI, S. et al. *Design and Experiment of a Novel Façade Cleaning Robot with a Biped Mechanism*. Disponível em:<<https://www.mdpi.com/2076-3417/8/12/2398/pdf/1>>. Acesso em: 18 out. 2022.

PEREIRA, A.H.A. Cerâmicas piezoelétricas: funcionamento e propriedades. Disponível em:< [Microsoft Word - RT-ATCP-01-\[1\].doc \(radarindustrial.com.br\)](#) >. Acesso em: 17 mai. 2023.

THOMSEN. Sensor Ultrassônico HC-SR04. Disponível em:< <https://www.makerhero.com/blog/sensor-ultrassonico-hc-sr04-ao-arduino/>>. Acesso em: 19 mai. 2023.

USINAINFO. Piezoelétrico. Disponível em:< [Mini Umidificador de Ar Ultrassônico 5V Névoa 40 ml/h - UsinaInfo](#)>. Acesso em: 17 mai. 2023.

WEEKLY-GEEKLY. Robô de limpeza Windoro. Disponível em:< <https://weekly-geekly.imtqy.com/articles/197960/index.html>>. Acesso em: 27 nov. 2022.

ANEXO A

```
// Configuração dos pinos de controle do motor esquerdo
```

```
#define motorEsquerdoPin1 2
```

```
#define motorEsquerdoPin2 3
```

```
// Configuração dos pinos de controle do motor direito
```

```
#define motorDireitoPin1 4
```

```
#define motorDireitoPin2 5
```

```
// Variáveis para armazenar os comandos recebidos via Bluetooth
```

```
char command;

void setup () {

    // Configura os pinos dos motores como saídas

    pinMode(motorEsquerdoPin1, OUTPUT);

    pinMode(motorEsquerdoPin2, OUTPUT);

    pinMode(motorDireitoPin1, OUTPUT);

    pinMode(motorDireitoPin2, OUTPUT);

    // Inicializa a comunicação serial com o módulo Bluetooth

    Serial.begin(9600);

    // Configura a comunicação serial para o módulo Bluetooth

    Serial1.begin(9600);

}

void loop () {

    // Função para mover o carrinho para frente

    void moveForward() {

        digitalWrite(motorEsquerdoPin1, HIGH);

        digitalWrite(motorEsquerdoPin2, LOW);

        digitalWrite(motorDireitoPin1, HIGH);

        digitalWrite(motorDireitoPin2, LOW);

    }

    // Função para mover o carrinho para trás

    void moveBackward() {

        digitalWrite(motorEsquerdoPin1, LOW);

        digitalWrite(motorEsquerdoPin2, HIGH);

        digitalWrite(motorDireitoPin1, LOW);
```

```
digitalWrite(motorDireitoPin2, HIGH);
}
// Função para girar o carrinho para a esquerda
void turnLeft() {
digitalWrite(motorEsquerdoPin1, LOW);
digitalWrite(motorEsquerdoPin2, HIGH);
digitalWrite(motorDireitoPin1, HIGH);
digitalWrite(motorDireitoPin2, LOW);
}
// Função para girar o carrinho para a direita
void turnRight() {
digitalWrite(motorEsquerdoPin1, HIGH);
digitalWrite(motorEsquerdoPin2, LOW);
digitalWrite(motorDireitoPin1, LOW);
digitalWrite(motorDireitoPin2, HIGH);
}
// Função para parar o carrinho
void stopMoving() {
digitalWrite(motorEsquerdoPin1, LOW);
digitalWrite(motorEsquerdoPin2, LOW);
digitalWrite(motorDireitoPin1, LOW);
digitalWrite(motorDireitoPin2, LOW);
}
```