

AUTOMAÇÃO DE UMA GARAGEM RETRÁTIL VIA ACESSO REMOTO

Leonardo Martins Kreuch¹
Nivaldo Theodoro Schiefler Junior²
Alexandre Werner Arins³

RESUMO

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um projeto conceitual de sistema automatizado para uma garagem retrátil, utilizando controle via acionamento remoto e comando de voz. O objetivo principal deste trabalho é proporcionar praticidade, segurança e inovação, especialmente em ambientes como: estacionamentos pagos e residências com restrições de espaço. O sistema desenvolvido permite o monitoramento em tempo real da abertura da garagem, fornecendo alertas e avisos para garantir maior segurança quando for usada. Foi empregada uma combinação de tecnologias de automação e conectividade para facilitar a acessibilidade por pessoas com mobilidade reduzida, além de melhorar a eficiência no controle de acesso. Os resultados foram obtidos em testes no protótipo, o quais se destacam pela relevância da solução no contexto de segurança, acessibilidade e adequação de espaço físico, evidenciando sua originalidade ao integrar diferentes métodos de controle e monitoramento.

Palavras-chaves: Garagem retrátil. Automação. Estacionamento. Conectividade.

AUTOMATION OF A RETRACTABLE GARAGE VIA REMOTE ACCESS

ABSTRACT

This paper addresses the development of a conceptual automated system for a mobile retractable garage, utilizing remote control activation and voice commands. The main objective is to provide practicality, security, and innovation, particularly in environments such as paid parking lots and residential spaces with limited room. The system allows real-time monitoring of the garage's opening degree, providing alerts and notifications to enhance safety during use. A combination of automation and connectivity technologies was employed to facilitate accessibility for people with reduced mobility, in addition to improving efficiency in access control. The results highlight the relevance of the solution in the context of security, accessibility, and space optimization, demonstrating its originality by integrating different methods of control and monitoring.

Keywords: Retractable garage, automation, parking.

¹ Acadêmico do curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina. E-mail: leonardomartins@ifsc.edu.br

² Orientador, professor Doutor do curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina. E-mail: nivaldo@ifsc.edu.br

³ Co-Orientador, professor Doutor do curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina. E-mail: alexandre.arins@ifsc.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT) tem ganhado cada vez mais destaque, oferecendo benefícios econômicos significativos, como a otimização de processos e novas oportunidades de negócios. Segundo MORAES(2022), a IoT envolve a interconexão de dispositivos eletrônicos à internet, permitindo a comunicação entre eles e a automação de processos. Em sistemas residenciais, como as garagens retráteis automáticas, a IoT é crucial, pois permite que os usuários controlem e monitorem remotamente o funcionamento da garagem por meio de smartphones ou assistentes de voz, proporcionando maior praticidade, segurança e tranquilidade.

Segundo dados do IBGE (2022), a densidade demográfica de São Paulo aumentou de 7.387,69 habitantes por km² em 2022 para 7.528,26 habitantes por km² em 2024, refletindo o impacto da urbanização acelerada. A Fundação SEADE (2014) estima que, até 2030, a cidade atingirá 8.048,78 habitantes por km², um crescimento de 6,33%, evidenciando a importância de inovações para otimizar o uso do espaço disponível. O aumento da demanda por espaço eleva o preço do metro quadrado em áreas urbanas, tornando desafiadora a construção de novas garagens ou ampliação de estacionamentos. Nesse cenário, inovações como a IoT podem otimizar o uso do espaço e transformar a gestão do estacionamento, contribuindo para um ambiente urbano mais funcional e sustentável. O estudo de Chester (2016) sugere que a falta de estacionamento, embora vista como limitação, pode ser uma oportunidade para repensar o desenvolvimento urbano e criar espaços mais acessíveis e integrados.

Esse movimento é refletido também no mercado imobiliário, onde observa-se o crescimento de lançamentos residenciais sem vagas de garagem, especialmente em grandes centros urbanos como São Paulo, onde, segundo o Secovi-SP (apud O ESTADO DE S. PAULO, 2019), 40,9% das unidades lançadas em 2018 não possuíam cobertura para automóveis.

O desenvolvimento de garagens retráteis para veículos, visa solucionar problemas decorrentes da falta de espaço, exposição prolongada ao sol e à chuva, como o aquecimento excessivo do interior dos carros e a corrosão da carroceria (ABDULLAH, 2017). A cobertura retrátil manual é a opção mais tradicional e mais acessível, porém o problema com este tipo de garagem retrátil, sem automação, exige que o usuário execute manualmente a abertura e fechamento, o que pode ser demorado, cansativo e nada higiênico devida sujeira acumulada, dificultando seu uso por pessoas idosas ou com mobilidade reduzida. Além disso, essas garagens não oferecem mecanismos de monitoramento em tempo real, aumentando a vulnerabilidade a roubos e vandalismos. A falta de um sistema automatizado dificulta a operação, especialmente em situações de urgência ou em locais com alta incidência de crimes, a implementação de tecnologias no setor de segurança é vista como essencial para garantir respostas rápidas e funcionais, conforme aponta Oliveira (2023).

Com o uso de controle remoto via aplicativo e comando de voz, o sistema desenvolvido oferece maior conveniência e praticidade, permitindo o controle e monitoramento da garagem em tempo real. A inovação introduzida não apenas facilita a operação diária, mas também otimiza o uso do espaço disponível, aumentando a segurança e acessibilidade do sistema, além de proporcionar uma solução inteligente para ambientes com restrições de espaço.

A automação deste sistema de garagem retrátil, foi desenvolvida com o objetivo de agregar valor ao modelo já existente, oferecendo ao usuário uma forma mais prática de gerenciar o acesso ao veículo. A tecnologia a ser aplicada não apenas simplifica a operação da garagem, mas também proporciona maior segurança, uma vez que o monitoramento remoto permite identificação de abertura da garagem baseada em sensores nela instalados, o que é essencial para ambientes urbanos onde a segurança é uma preocupação constante.

Este trabalho foca em um projeto conceito para a modernização de um sistema de garagem retrátil já existente, conforme ilustrado na Figura 1, onde uma estrutura comercial pode ser modificada, inserindo uma tecnologia de automação.

Figura 1: Modelo Garagem Flex Retrátil Para Carro.



Fonte: (IGLUCAR, 2021)

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No artigo "Perspectivas sobre segurança pública em cidades inteligentes: uma revisão da literatura de 2002 a 2022", (SALES, 2023), os autores discutem como a crescente urbanização e a necessidade de soluções tecnológicas avançadas para melhorar a segurança e a eficiência em ambientes urbanos têm impulsionado o desenvolvimento de sistemas automatizados.

As garagens retráteis móveis, em particular, representam uma inovação significativa nesse contexto, especialmente quando integradas com tecnologias de controle remoto e monitoramento em tempo real. Outros modelos, além do usado no projeto, podem ser encontrados através de plataformas de e-commerce, como mostrado na Figura 1. A capacidade de verificar a abertura pelo grau ajustado de uma garagem retrátil e receber alertas em caso de irregularidades ou tentativas de acesso não autorizado é uma inovação crucial. Segundo Rodrigues (2021), sistemas

de monitoramento em tempo real já são amplamente utilizados em diversos setores e têm se mostrado eficazes na prevenção de problemas e na melhoria da segurança operacional.

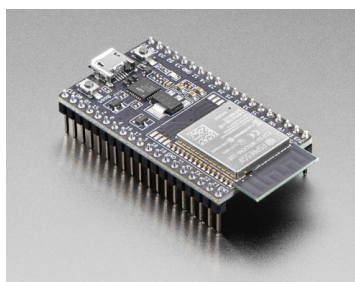
As combinações apresentadas, têm o potencial de transformar o mercado de estacionamentos pagos, que busca soluções que ofereçam segurança e praticidade aos usuários. A automação das garagens retráteis móveis não só atende a essas necessidades, mas também representa um avanço significativo na modernização e aumento do valor agregado desses serviços (SILVA, 2023).

A automação de garagens retráteis móveis requer um sistema de baixo custo, capaz de controlar a abertura e o fechamento da estrutura. Para isso, um microcontrolador, com características que possibilitam o recebimento de comandos de operação, é suficiente para atender às exigências do sistema.

Os microcontroladores são dispositivos eletrônicos que possuem uma unidade central de processamento (CPU), memória, entradas e saídas de dados, além de interfaces para comunicação com outros dispositivos eletrônicos. Eles são muito utilizados na indústria e na área de desenvolvimento de sistemas embarcados (PEREIRA, 2021).

O ESP32, conforme ilustrado na Figura 2, é um microcontrolador desenvolvido pela empresa *Espressif Systems*, que possui características interessantes para aplicações em sistemas embarcados. Segundo Dagilvan Maia Santos (2022), o ESP32 é uma opção interessante para projetos de Internet das Coisas (IoT), já que possui conectividade Wi-Fi e Bluetooth *Low Energy* (BLE), além de possuir uma central de conversão de sinais analógicos (ADC) de alta resolução e baixo ruído. O ESP32 também oferece criptografia de dados e autenticação de dispositivos, recursos fundamentais para sistemas de segurança. Sua ativa comunidade de desenvolvedores facilita a implementação de diversas aplicações com vários exemplos e soluções (AMBRÓSIO *et al.*, 2019).

Figura 2: Microcontrolador ESP32.



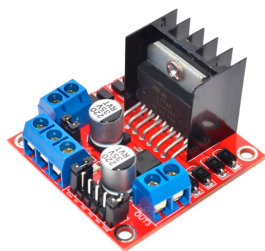
Fonte: (ADAFRUIT INDUSTRIES, 2024).

Além do ESP32, responsável pela lógica programável do sistema, outros componentes são essenciais para viabilizar a movimentação da garagem, como o motor, as polias e as correias. O motor DC (motor de corrente contínua), por exemplo, é responsável por converter energia elétrica em energia mecânica, permitindo a abertura e o fechamento da garagem. Seu funcionamento baseia-se nas interações eletromagnéticas entre o rotor e o estator, em conformidade com o princípio da Lei de Lenz (KAMADA, 2019). Motores DC com alto rendimento no

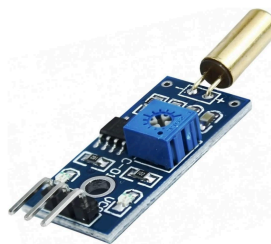
torque são especialmente adequados para aplicações que exigem força e controle precisos, como é o caso de uma garagem retrátil, garantindo movimentação estável e eficiente (KAMADA, 2019).

Para o acionamento eficaz do motor, é fundamental implementar um sistema que permita o controle bidirecional. De acordo com Wagh, Sheth e Joshi (2015), o uso de MOSFETs em uma configuração de Ponte H, permite a direção bidirecional do motor e o controle de velocidade utilizando modulação por largura de pulso (PWM). Esse tipo de circuito se destaca pela precisão, especialmente em aplicações que demandam movimento controlado, como em sistemas automatizados. O acionamento do motor é feito via um Módulo Driver Ponte H, modelo L298N que é próprio para controlar este tipo de motor. A Figura 3a, ilustra uma ponte H comercial e um sensor de inclinação, que será usado como fim de curso na abertura e fechamento da garagem. A estrutura eletrônica de um Módulo Driver Ponte H é ideal para uso em projetos devido à sua capacidade de suportar correntes significativas, facilidade de integração com microcontroladores e flexibilidade para controlar dois motores DC de maneira estável e confiável. Sua implementação também é simplificada por incluir recursos de proteção térmica e suporte a cargas indutivas, garantindo um desempenho robusto mesmo em condições de operação prolongadas. Esses fatores tornam o L298N uma escolha viável para proporcionar o controle necessário no deslocamento de portas ou estruturas móveis em sistemas de automação residencial.

Figura 3: Módulo do sistema.



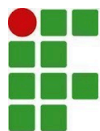
a) Módulo Driver Ponte H - L298N.
Modificado.



b) Módulo sensor de inclinação SW-520D.

Fonte: (AMAZON, 2021)

Já pensando em monitoramento, existem os sensores, que segundo Lima *et al.* (2021), são dispositivos projetados para detectar alterações em variáveis físicas, químicas ou biológicas, transformando essas variações em sinais elétricos ou digitais, que são interpretáveis por sistemas de controle e monitoramento. Como neste trabalho o ponto chave é a movimentação da abertura da garagem retrátil, os sensores de inclinação (Figura 3b), são bem utilizados, nesta categoria mecânica. Estes sensores, se baseiam na detecção de variações em relação ao eixo gravitacional, sendo cruciais em sistemas que exigem medição precisa de ângulos ou inclinações. Na garagem retrátil automatizada foi fundamental para seu funcionamento e monitoramento, sendo assim usado o módulo sensor de inclinação SW-520D.



O controle do sistema desenvolvido, não seria possível sem a conectividade oferecida por plataformas de Internet das Coisas (IoT). A plataforma Adafruit IO, amplamente utilizada em projetos IoT, permite a integração de sensores e atuadores ao ESP32, possibilitando a comunicação em tempo real com serviços em nuvem (NARDELWAR et al., 2022). Isso possibilita o monitoramento remoto e eficiente da posição da garagem, além de permitir a automação de processos de forma segura e confiável.

Segundo Adafruit Industries, 2024, o Adafruit IO é uma plataforma que utiliza o protocolo MQTT (servidor que gerencia as mensagens entre clientes que utilizam o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*)) como um *broker*, facilitando a comunicação entre dispositivos conectados. O MQTT é ideal para aplicações de Internet das Coisas (IoT) porque é leve e mantém conexões constantes, o que significa que não precisa criar, novas conexões a cada troca de dados, ao contrário de protocolos como o HTTP. Os dispositivos se conectam ao Adafruit IO através de uma rede TCP/IP, que é o padrão para comunicação em redes de computadores. Isso permite que dispositivos IoT com Wi-Fi ou Ethernet se comuniquem facilmente com o *broker*, enviando e recebendo dados em tempo real.

Nesta plataforma, os dados são organizados em *feeds*, que funcionam como tópicos destinados ao armazenamento e à transmissão de informações. Os usuários podem criar *dashboards* personalizados para visualizar esses *feeds*, tornando a interação com os dados mais intuitiva e eficiente. Para que um dispositivo possa se conectar ao Adafruit IO, é necessário fornecer a chave de API, ambos obtidos ao criar uma conta na plataforma (ADAFRUIT INDUSTRIES, 2024).

Uma API (*Application Programming Interface* ou Interface de Programação de Aplicações) é um conjunto de regras e definições que permite que diferentes sistemas ou dispositivos se comuniquem entre si de maneira padronizada. No contexto do Adafruit IO, a API atua como uma ponte entre o microcontrolador (como o ESP32) e os serviços da plataforma, possibilitando o envio e recebimento de dados de forma segura e controlada. As credenciais fornecidas — nome de usuário e chave API — garantem a autenticidade das conexões feitas ao broker, protegendo os dados e o acesso ao sistema (ADAFRUIT INDUSTRIES, 2024).

Outra tecnologia que é utilizada é o MIT App Inventor que segundo Munasinghe, Patton e Seneviratne (2019), tem sido destacado como uma plataforma de fácil utilização que permite aos iniciantes criar aplicativos móveis interativos sem a necessidade de conhecimento prévio aprofundado de programação. Essa abordagem prática auxilia na aprendizagem baseada em projetos, tornando a ferramenta ideal para explorar conceitos de IoT e coleta de dados de sensores.

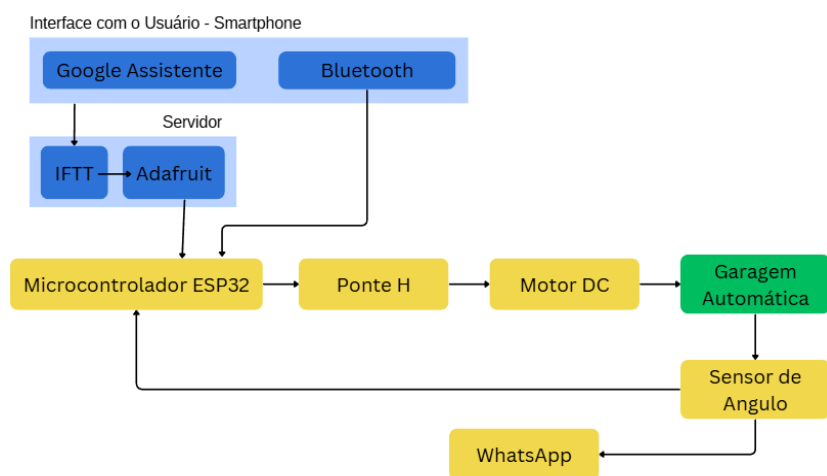
3 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do projeto foi dividido em etapas, garantindo uma abordagem sistemática e eficiente para a execução da garagem retrátil automatizada. Inicialmente, realizou-se uma pesquisa sobre as tecnologias existentes de controle remoto e monitoramento em tempo real, aplicadas a sistemas de segurança em ambientes urbanos. Essa análise incluiu o estudo de aplicativos móveis e sistemas de comando por voz, com o objetivo de identificar as soluções mais adequadas para integração na garagem retrátil. Através da Figura 4, é possível

visualizar o diagrama de componentes empregados no projeto, além das tecnologias de IOT integradas. O código de programação do ESP32 encontra-se disponível no seguinte link do GitHub: <https://github.com/23113/Garagem-m-vel>.

O sistema de automação da garagem oferece múltiplas formas de controle para garantir praticidade e acessibilidade. O primeiro método é por comando de voz, utilizando o Google Assistant no smartphone. Ao receber a solicitação verbal do usuário (como "abrir a garagem"), o assistente ativa um *applet* (uma pequena aplicação que automatiza tarefas, conectando diferentes serviços e dispositivos) no IFTTT, que redireciona esse comando para o servidor Adafruit IO, responsável por armazenar e transmitir os dados para o sistema físico.

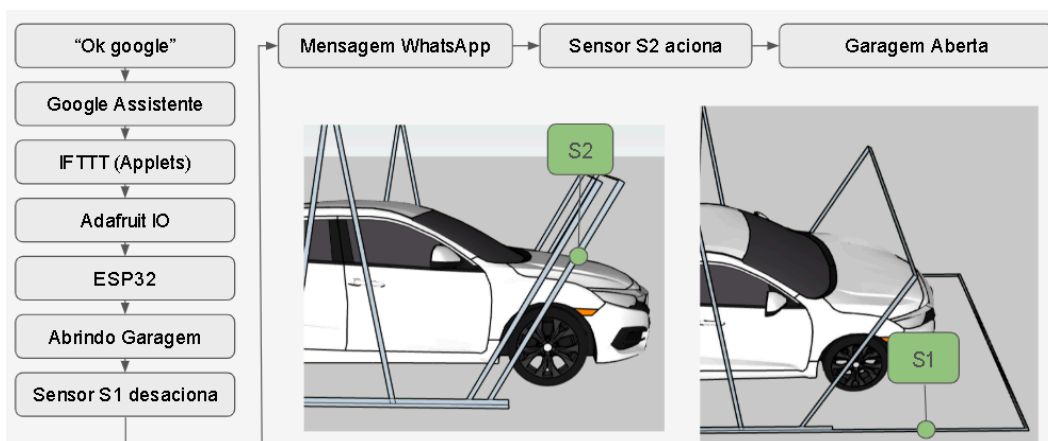
Figura 4: Diagrama de componentes.



Fonte: (AUTOR, 2024).

Na Figura 5 podemos entender melhor através de um diagrama, como a garagem funciona na prática (com rede) e identificar a localização dos sensores.

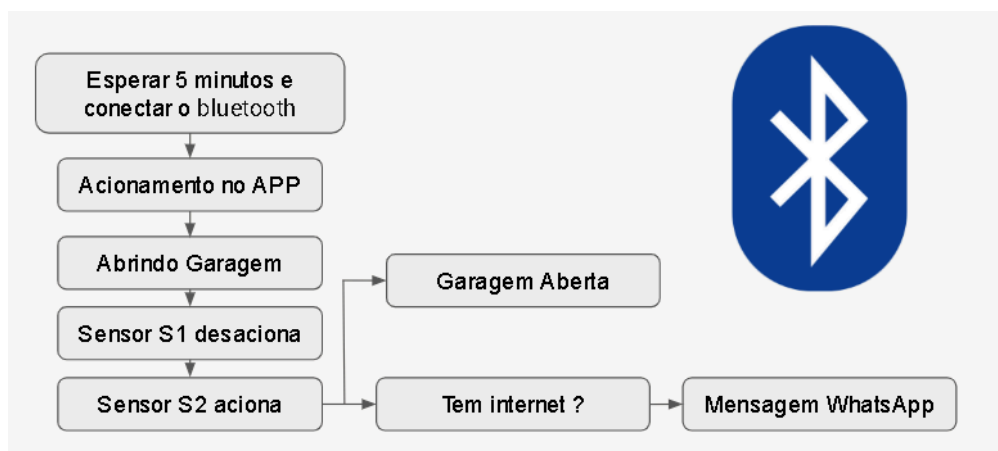
Figura 5: Diagrama de componentes (com rede).



Fonte: (AUTOR, 2024).

E também temos na Figura 6 o funcionamento na prática de outro possível acionamento da garagem.

Figura 6: Diagrama de componentes (bluetooth)



Fonte: (AUTOR, 2024).

Em situações em que o ESP32 não tem conexão com a Adafruit IO, o usuário pode controlar a garagem localmente através do Bluetooth, utilizando o aplicativo criado para o projeto que envia comandos diretamente ao ESP32, sem depender da nuvem.

O ESP32, que atua como cérebro do sistema, interpreta os comandos recebidos e aciona a ponte H, responsável por controlar o sentido de rotação do motor DC. Esse motor executa a movimentação física da garagem retrátil automática, permitindo sua abertura ou fechamento. Dois sensores instalados na estrutura monitoram o ângulo de abertura da garagem, estes sensores servem como fim de curso e seus dados são usados tanto para a lógica de abertura/fechamento e para enviar notificações automáticas ao WhatsApp do usuário, por meio da integração com a API *CallMeBot*. Além dos sensores, foi implementado um tempo máximo de abertura/fechamento para evitar falhas, que notifica o usuário no aplicativo de mensagem caso seja ultrapassado, essa medida adiciona uma camada extra de segurança ao sistema, prevenindo danos ao mecanismo e aumentando a confiabilidade da operação.

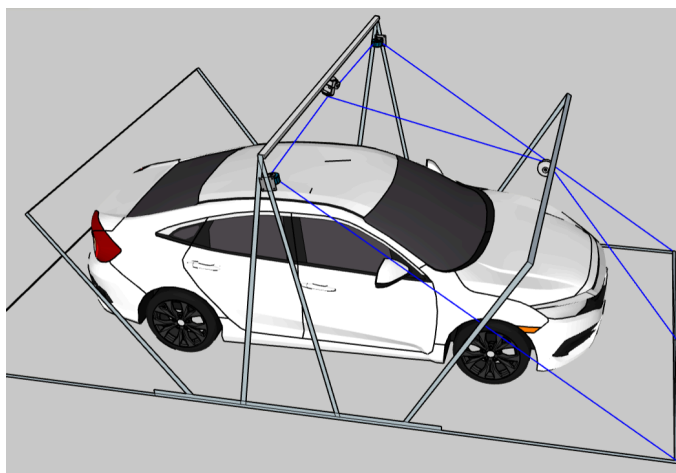
3.1 ESPECIFICAÇÕES MOTOR DC

Para realizar a tração da garagem, foi empregado o motor modelo 37GB31Y que é um motor de corrente contínua com tensão nominal de 12V. Este motor é controlado por um Módulo Driver Ponte H (L298N). O motor possui corrente com carga de até 1A, corrente de stall (parada) de 6,5 A e potência máxima de 10 W. Ele proporciona torque nominal variando de 1,3 a 35 kgf.cm e torque máximo de 3 a 35 kgf.cm, dependendo da rotação escolhida nas especificações.

Para desenvolver o projeto da garagem retrátil e automática, foi utilizado a IDE *SketchUp*. Este software permitiu integrar e visualizar de forma precisa como os

mecanismos de dobra e os componentes automatizados funcionam na estrutura da garagem retrátil. O *SketchUp* foi crucial para refinar o design e identificar possíveis desafios de montagem e operação. Com a modelagem 3D, garantimos que a adaptação da automação fosse otimizada, assegurando tanto a funcionalidade quanto a segurança do sistema final. A Figura 7, mostra a imagem 3D que detalha a estrutura mecânica projetada para funcionar como uma garagem retrátil automatizada.

Figura 7: Modelamento da garagem em 3D.



Fonte: (AUTOR, 2024).

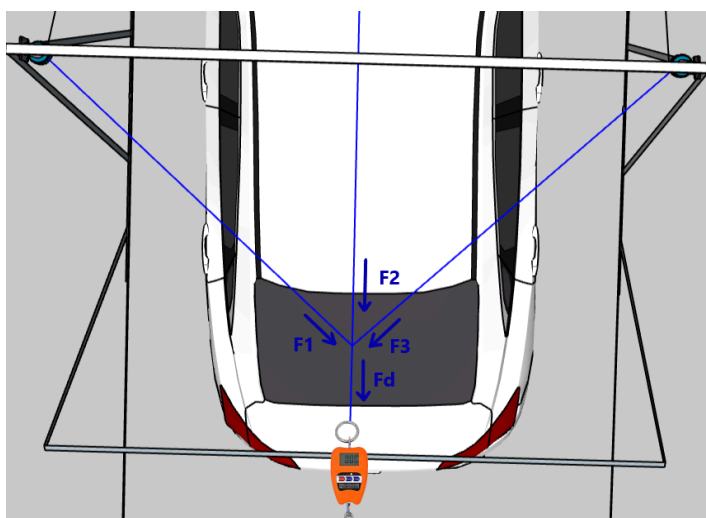
O sistema mostrado na Figura 8a, é composto por uma armação metálica que envolve o veículo, com hastes e cabos de sustentação (representados em azul) conectados a roldanas localizadas no topo da estrutura. A armação é formada por tubos metálicos, criando uma estrutura dobrável e articulada para permitir o movimento retrátil. No topo da estrutura observa-se a presença de roldanas responsáveis pelo direcionamento das forças de tração mecânica. Um motor elétrico instalado no ponto mais alto da garagem, será responsável por acionar os cabos que conectam diferentes pontos da parte retrátil da estrutura. Ao girar o motor, os cabos são enrolados ou desenrolados, movimentando assim a estrutura retrátil da garagem.

Para efeito de cálculos considerou-se que o atrito nas roldanas é desprezível e não afeta a escolha do motor que aciona o sistema. Foram utilizadas três roldanas, uma roldana de 50 mm de diâmetro na parte central e em cada lateral foi utilizada uma roldana de 35 mm de diâmetro.

Para determinar o torque mínimo necessário para que um motor faça a abertura da parte retrátil foi necessário identificar a força exigida no sistema de acionamento. Para medir a força foi acoplado no lugar do motor um dinamômetro digital tipo balança da Crane Scale. A Figura 8b, mostra como o dinamômetro foi conectado ao cabo central onde é aplicada a força (F_d) necessária para mover a estrutura. Essa força F_d é a soma vetorial das tensões nos cabos inclinados laterais. As forças (F_1 , F_2 , F_3) representam as componentes das forças de tração que atuam nos diferentes segmentos do cabo. Elas convergem para o ponto central de tração onde a força resultante (F_d) é medida.

Para realizar a medição de F_d , foi aplicada uma força com as mãos no mesmo sentido, suficiente para simular o acionamento da parte retrátil da garagem com velocidade constante de abertura desejada para o funcionamento do sistema. Foram realizadas várias medições para obter uma média da força de acionamento (F_d) seguindo o esquema mostrado na Figura 8a. O valor médio encontrado durante os ensaios que simulavam a abertura da garagem com velocidade constante foi $F_d = 20N$.

Figura 8: Representação da obtenção da força de acionamento (F_d) e dinamômetro com resultado medido.



a) Estrutura e posicionamento do instrumento.



b) Valor lido.

Fonte: (AUTOR, 2024)

Para determinar o torque que o motor deve fornecer, utilizou-se o conceito físico de momento de uma força (torque). Segundo Halliday, Resnick e Walker (2016), o torque é dado pela equação:

$$T = F_d \cdot r \quad (\text{Equação 01})$$

Onde:

T : Torque necessário do motor (Nm)

F_d : Força de tração (N)

r : raio do eixo (m)

$$T = 20 \cdot 0,010 = 0,2 \text{ Nm}$$

Convertendo as unidades para o torque especificado em motores comerciais:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Nm} &= 10,197 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \\ T &= 0,2 \text{ Nm} \cdot 10,197 \text{ kgf} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{Nm}} \\ T &= 2,04 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

Para dimensionar o motor do sistema de garagem retrátil, utilizou-se como referência os cálculos do torque. Com base na força de tração estimada de 20 N e no raio do eixo do motor de raio 0,010 m, obtivemos um torque de aproximadamente 0,2 Nm, o que equivale a cerca de 2,04 kgf.cm.

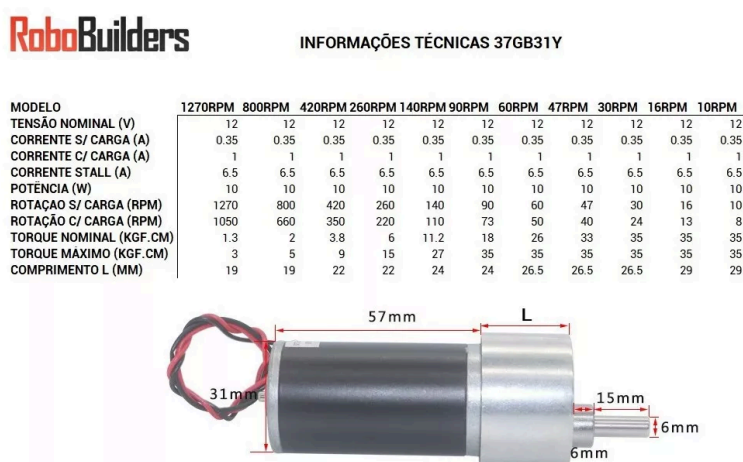
Levando em consideração as possíveis condições adversas, e para garantir uma margem de segurança adequada, optou-se por um motor modelo 90 RPM, com torque nominal de 18 kgf.cm, conforme especificado na tabela do motor modelo 37GB31Y mostrada na Figura 9. Essa escolha é fundamentada na necessidade de suportar sobrecargas que podem ocorrer em situações reais de uso.

Durante o funcionamento, fatores como chuva, neve ou sujeira podem aumentar o peso da cobertura da garagem, tornando o sistema mais pesado e exigindo maior esforço do motor. A presença de água ou neve acumulada na cobertura aumenta a carga, podendo gerar uma sobrecarga além do peso normal, o que poderia comprometer o funcionamento do sistema se o motor não tiver capacidade suficiente.

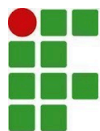
Ao selecionar um motor com torque nominal significativamente superior ao torque calculado (18 kgf.cm contra aproximadamente 2,04 kgf.cm), garantimos que o sistema possa suportar essas condições adversas sem dificuldades, evitando falhas ou paradas inesperadas. Essa margem de segurança é fundamental para assegurar a durabilidade do equipamento, a segurança dos usuários e maior eficiência do sistema, mesmo em situações de maior peso devido às condições climáticas.

Portanto, a escolha do motor modelo 90 RPM com torque de 18 kgf.cm é justificada não apenas pelo dimensionamento inicial, mas também pela necessidade de suportar sobrecargas ocasionais, garantindo um funcionamento confiável e seguro do sistema de garagem retrátil em diferentes condições ambientais.

Figura 9: Informações Técnicas Motor DC Alto Torque.



Fonte: (Robo Builders, 2024).



3.2 ESPECIFICAÇÕES DA BATERIA

Para realizar a alimentação do sistema elétrico da garagem, foi utilizada uma bateria de 12V, dimensionada com base na potência necessária para os componentes. Segundo Serway e Jewett (2013), a potência elétrica é expressa pela seguinte equação:

$$P = V \times I \quad (\text{Equação 02})$$

Na Equação 02, temos que:

P: Potência (W)

V: Tensão(V)

I: Corrente(A)

Sendo potência igual a tensão que multiplica corrente, se tem:

	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	POTÊNCIA (W)
MOTOR DC	12	1	12
ESP32	5	0,5	2,5
SW-520D	5	0,015	0,075
PONTE H L298N	5	0,036	0,18
POTÊNCIA TOTAL (W)			A

Com a potência total obtida, foi possível determinar a capacidade elétrica necessária da bateria, expressa em ampère-hora (Ah). Segundo Serway e Jewett (2013), a capacidade de uma bateria pode ser calculada conforme a seguinte expressão:

$$C = P \times \frac{t}{V} \quad (\text{Equação 03})$$

Na Equação 03, os termos são:

C: Capacidade(Ah)

P: Potência (W)

V: Tensão(V)

t: tempo(h)

No resultante tivemos aproximadamente 7,41 Ah. No cálculo foi considerado o acionamento constantes dos dispositivos (improvável), sendo assim foi escolhido uma bateria de 7Ah e 12V.

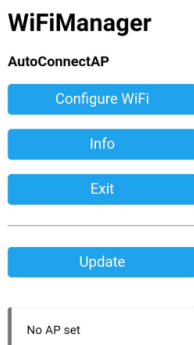
3.3 CONFIGURAÇÃO ESP32

O microcontrolador ESP32 foi utilizado devido à sua capacidade de se conectar à rede Wi-Fi, essencial para a comunicação com o Adafruit IO. A programação do ESP32 incluiu a configuração dos pinos de controle do motor DC, permitindo o acionamento preciso do mecanismo de retração e extensão da garagem. O interfaceamento de sensores e driver de motor assegurou que a operação fosse segura e eficiente.

Toda conectividade foi desenvolvida com bibliotecas, que estão disponíveis para serem usadas de modo versátil e se adaptando a cada projeto. As seguintes bibliotecas foram utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

WifiManager: Essa biblioteca é essencial para gerenciar a conexão Wi-Fi do ESP32, simplificando o processo de configuração da rede pelo usuário em uma interface pronta. Ela permitiu a criação de um ponto de acesso temporário, onde o usuário pode selecionar a rede Wi-Fi e inserir a senha, eliminando a necessidade de reconfiguração manual no código. Na Figura 10 podemos ver a interface que é mostrada ao fazer o processo.

Figura 10: Interface da biblioteca WifiManager.



Fonte: (AUTOR,2024).

ArduinoIO_WIFI: Utilizada para facilitar a comunicação entre o ESP32 e o Adafruit IO, essa biblioteca fornece funções para enviar e receber dados pela plataforma IoT. A integração com o Adafruit IO, permitiu o controle remoto e o monitoramento em tempo real do estado da garagem, como o nível de abertura ou fechamento.

HTTPClient: A biblioteca HTTPClient foi empregada para realizar requisições HTTP, essenciais para a troca de dados com APIs externas e o Adafruit IO. Ela permitiu o envio de comandos e a coleta de informações sobre o estado do sistema de forma confiável e eficiente.

WiFiClient: Essa biblioteca complementou as funcionalidades de conectividade, fornecendo a base para o envio de dados em conexões TCP/IP. Foi usada em conjunto com outras bibliotecas para estabelecer uma comunicação estável entre o ESP32 e os serviços externos.

UrlEncode: A biblioteca UrlEncode foi utilizada para codificar URLs, garantindo que os dados transmitidos ao Adafruit IO fossem corretamente formatados e interpretados. Isso foi particularmente importante em cenários onde caracteres especiais ou espaços precisavam ser enviados nas requisições.

BluetoothSerial: A biblioteca BluetoothSerial é essencial para viabilizar a comunicação via Bluetooth entre dispositivos móveis e o ESP32. Ela simplifica a implementação de conexões seriais sem fio, permitindo o envio e recebimento de dados de maneira confiável.

3.4 MONITORAMENTO COM MODULO SENSOR DE INCLINAÇÃO SW-520D

O Módulo Sensor de Inclinação SW-520D foi implementado para monitorar a posição da garagem, detectando seu fim de curso. O sensor, integrado ao ESP32, permite o monitoramento contínuo da inclinação da garagem. Qualquer alteração no estado (aberta ou fechada) é imediatamente detectada pelo sensor, que então comunica o estado ao sistema.

3.5 ESTRUTURA DA GARAGEM

O processo de desenvolvimento da garagem retrátil automatizada envolveu a concepção, modelagem e construção de um protótipo funcional, conforme ilustrado nas imagens da Figura 11 a e b.

Figura 11: Estrutura Desenvolvida.



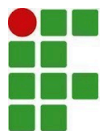
a) Estrutura inicial da garagem.



b) Garagem montada.

Fonte: (Autor, 2024).

A estrutura da garagem foi inicialmente projetada em ambiente virtual, utilizando modelagem 3D. Essa fase permitiu simular a movimentação das partes móveis, prever pontos de ancoragem dos cabos, posicionamento das polias e dimensionamento do espaço necessário para abrigar diferentes tipos de veículos. Sua montagem foi realizada de acordo com o padrão de garagens tradicionais para



proporcionar espaço para diferentes tipos de veículos, com dimensões de 2000 mm de altura, 5000 mm de comprimento e 2000 mm de largura. Essas medidas garantem compatibilidade com veículos de porte médio e proporcionam espaço suficiente para manobras internas.

Com base no modelo 3D, foi realizada a montagem física da garagem (Figura 11). A estrutura principal foi construída utilizando tubos de aço quadrado 25 x 25 mm com espessura de 1,2 mm, proporcionando rigidez e durabilidade. As conexões foram feitas por meio de soldagem e parafusos, garantindo estabilidade sem comprometer a mobilidade das partes articuladas. Cordas foram utilizadas para simular a futura instalação dos cabos de tração que serão acionados pelo motor. Isso permitiu testar a geometria da movimentação da estrutura antes da motorização.

Após a montagem estrutural, foi instalada a cobertura em lona impermeável, como mostrado na segunda imagem da Figura 11. A lona foi costurada sob medida para cobrir toda a estrutura retrátil, com pontos reforçados nas regiões de tensão e dobras. Este revestimento protege o veículo contra sol, chuva e poeira, cumprindo a função de uma garagem tradicional.

3.6 INTEGRAÇÃO COM O GOOGLE ASSISTANT E IFTTT

A integração com o Google Assistant proporciona a interface para o usuário em seu smartphone e também permite que o sistema de garagem retrátil seja operado por comandos de voz, trazendo uma experiência conveniente e simples.

Para facilitar essa integração, foi utilizada a ferramenta IFTTT, que serve como servidor e permite criar *applets*. Nesse contexto, eles funcionam como pontes que ligam o Google Assistant ao Adafruit IO.

Dessa forma, os usuários podem acionar a abertura ou fechamento da garagem simplesmente utilizando comandos verbais através de seus smartphones com o Google Assistant, eliminando a necessidade de interações manuais.

3.7 SISTEMA DE IOs ONLINE DA ADAFRUIT

O Adafruit IO, foi escolhido como a plataforma de comunicação online devido à sua robustez e facilidade de uso, devido a ampla biblioteca disponível. Esta plataforma permitiu a criação de *dashboards* e *feeds* para monitoramento em tempo real e controle remoto do ESP32. A comunicação entre o Google Assistant e o Adafruit IO foi estabelecida utilizando webhooks, garantindo uma resposta rápida e confiável aos comandos de voz.

3.8 CRIAÇÃO DE APLICATIVO

Foi desenvolvido um aplicativo personalizado utilizando a plataforma MIT App Inventor, com o objetivo de proporcionar ao usuário uma interface simples e funcional para controle da garagem retrátil. O aplicativo permite enviar comandos de abertura e fechamento diretamente ao sistema embarcado.

Para garantir o funcionamento mesmo em locais sem acesso à internet, foi utilizada a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) presente no ESP32, que permite a comunicação sem fio entre o smartphone e o microcontrolador. Dessa forma, o

usuário pode acionar a garagem remotamente, sem a necessidade de realizar o processo manualmente, este modo entrará em atividade depois de 10 minutos que o ESP32 ficar procurando redes conhecidas, armazenadas na sua memória flash e não conseguir se conectar a nenhuma delas.

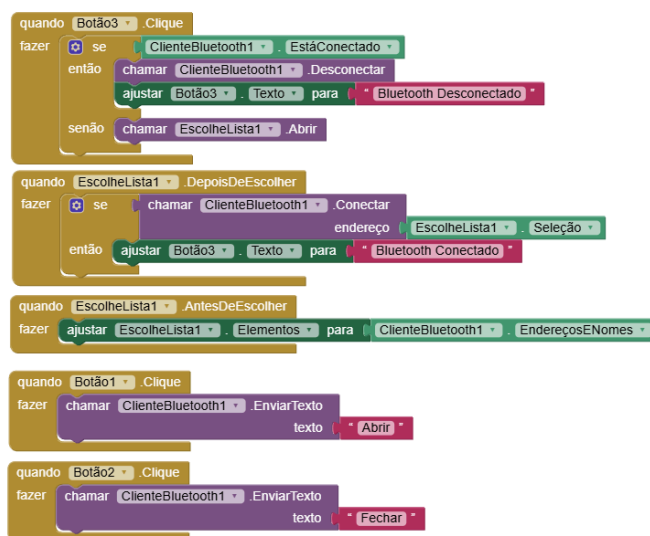
A Figura 12a apresenta a interface do aplicativo, demonstrando a facilidade de uso e a integração eficiente com o sistema da garagem. O diagrama de blocos está representado pela Figura 12b.

Figura 12: Interface criada no aplicativo MIT App Inventor e diagrama de blocos.



a) Interface desenvolvida

Fonte: (AUTOR,2024).



b) Diagrama de blocos

A criação da interface do aplicativo, juntamente com a estrutura de blocos apresentada na Figura 12a, permitiu que o usuário fizesse o download e utilizasse o sistema em seu smartphone.

O diagrama de blocos exibido representa a lógica de comunicação entre o aplicativo e o módulo Bluetooth. Nele, é possível observar que, ao pressionar o botão responsável pela conexão, o sistema verifica inicialmente se já há um dispositivo pareado. Caso esteja conectado, a função de desconexão é acionada automaticamente; caso contrário, o aplicativo abre a lista de dispositivos disponíveis para que o usuário possa selecionar o módulo Bluetooth do sistema. Após a escolha, o bloco “Conectar” estabelece o vínculo e atualiza o texto do botão, informando visualmente se a conexão foi bem-sucedida. Os outros dois botões, “Abrir” e “Fechar”, enviam comandos específicos pelo canal Bluetooth para o microcontrolador, que interpreta as mensagens e realiza a ação correspondente no mecanismo da garagem. Dessa forma, o diagrama evidencia uma programação simples, porém eficiente, garantindo que o usuário possa operar a garagem de forma intuitiva, segura e direta, com respostas rápidas e sem dependência de serviços externos.

Após o pareamento, o usuário pode enviar comandos simples que são transmitidos diretamente ao microcontrolador. Esses comandos são interpretados

pelo ESP32, que realiza a abertura ou o fechamento da garagem conforme solicitado. Todo o processo ocorre localmente, sem a necessidade de acesso à internet, garantindo praticidade e autonomia ao usuário.

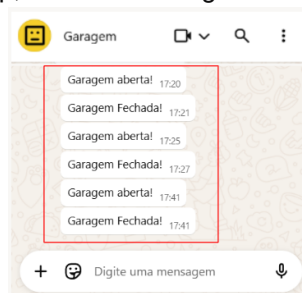
Na interface, estão disponíveis três botões principais. O botão **“BLUETOOTH”** permite que o usuário visualize a lista de dispositivos disponíveis para conexão e selecione o módulo desejado. Já os botões **“ABRIR GARAGEM”** e **“FECHAR GARAGEM”** executam, respectivamente, a abertura e o fechamento da garagem retrátil.

O funcionamento do aplicativo pode ser observado na Figura 13. É importante destacar que, durante o uso em modo Bluetooth, o monitoramento via aplicativo de mensagens permanece desativado até que o sistema seja reconectado a uma rede Wi-Fi.

3.9 COMUNICAÇÃO VIA API PARA APLICATIVO DE MENSAGENS

Para aumentar a conveniência e a segurança, foi integrada uma API que envia notificações automáticas para o aplicativo WhatsApp sempre que o estado do sensor de fechamento muda. Esta funcionalidade garante que o usuário esteja sempre ciente do status da garagem, independentemente de sua localização. O desenvolvimento foi realizado através da plataforma IDE do arduino, possibilitando a integração do ESP32 junto com a API do Whatsapp CallMeBot. Através da Figura 13 é possível visualizar o recebimento de feedbacks através da conversa com o CallMeBot.

Figura 13: Tela do aplicativo Whatsapp, com as mensagens recebidas.

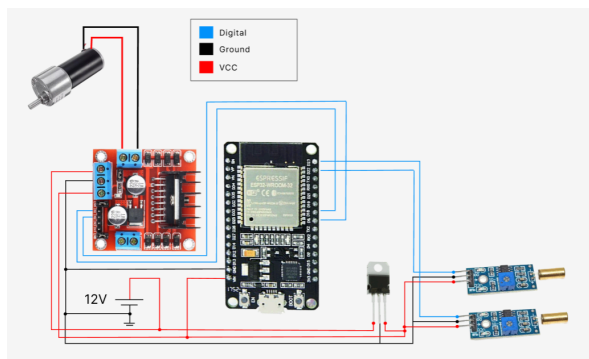


Fonte: (AUTOR,2024).

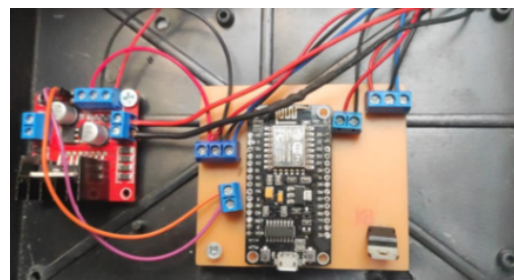
3.10 MONTAGEM DO CIRCUITO

Na Figura 14a, é possível visualizar o esquemático do circuito elétrico e na Figura 14b temos o circuito desenvolvido que é necessário para a implementação da automação da garagem retrátil. Ele emprega os componentes descritos nas etapas anteriores, sendo eles: Microcontrolador ESP32, motor 37GB31Y e ponte H L298N, sensor de ângulo SW-520D e regulador de tensão L7805.

Figura 14: Circuito proposto.



a) Esquemático do circuito.



b) Circuito feito desenvolvido.

Fonte: (AUTOR,2024).

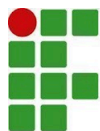
4 RESULTADOS

Com a integração de todos os pontos idealizados para este projeto, de controle da abertura e fechamento para uma garagem retrátil, a partir da implementação do sistema de acionamento de voz, a garagem retrátil se mostrou promissora para esta ideia inicial de desenvolvimento. Utilizando o Google Assistant e o IFTTT integrado com o sistema de IOs online da Adafruit, foi possível estabelecer uma comunicação eficaz com o microcontrolador ESP32, que por sua vez controla o motor DC responsável pelo mecanismo de retração e extensão da garagem. A integração entre o microcontrolador, o motor DC, o sensor de inclinação SW-520D, e a comunicação via API para WhatsApp foi validada, mostrando-se eficaz e confiável.

Os testes mostraram que o sistema opera de forma adequada e baixa latência. A combinação do motor DC, do sensor de inclinação e da API para WhatsApp funcionou de maneira integrada, proporcionando uma solução confiável para o controle e monitoramento da garagem retrátil. A integração com o Google Assistant e o uso do IFTTT permitiram uma operação por comandos de voz eficaz, com respostas consistentes do sistema.

Além disso, o monitoramento em tempo real via WhatsApp, permitiu que o usuário recebesse notificações imediatas sobre o status da garagem, o que melhora a segurança e oferece maior tranquilidade. Em resumo, os testes confirmaram que o sistema é eficiente para proteger veículos de forma automatizada. Foi deixado um vídeo demonstrando o funcionamento completo do sistema e está disponível no repositório do projeto no Youtube⁴.

⁴ Demonstrativo funcionamento de garagem retratil no Youtube:
<https://www.youtube.com/shorts/nAc5WivAOVs>.



5 CONCLUSÃO

Conclui-se que o projeto conceitual da garagem retrátil representa uma solução viável e custo benefício para a proteção de veículos contra os efeitos nocivos da exposição solar, falta de espaço fixo e prevenção de roubos e vandalismo. Além disso, a implementação de tecnologia avançada, como o acionamento por voz através do Google Assistant, aumenta significativamente a conveniência e a segurança dessa solução.

O sistema foi adaptado utilizando a plataforma Adafruit IO, que permite a comunicação online com o microcontrolador ESP32. Esse microcontrolador, por sua vez, é responsável pelo controle do mecanismo de retração e extensão da garagem. Desta forma essa integração não apenas simplifica a operação da garagem retrátil, mas também oferece aos usuários uma experiência de uso mais intuitiva e moderna.

A combinação dessas tecnologias resulta em praticidade para o usuário, que pode ser controlada remotamente e de forma eficiente. O uso de comandos de voz para operar a garagem, através do Google Assistente, aumenta a praticidade e permite que os usuários gerenciem a proteção de seus veículos de maneira mais fácil e rápida.

Em suma, a garagem retrátil, equipada com tecnologia de acionamento por voz e controle remoto, proporciona proteção e novas oportunidades de estacionamentos, de forma abrangente para os veículos, aumentando a durabilidade e a segurança, oferecendo uma experiência de usuário conveniente e moderna.

6 OPORTUNIDADES FUTURAS

Com o desenvolvimento do projeto, percebe-se novas futuras oportunidades de melhorias que podem ser empregadas no sistema. Isso inclui aprimoramentos técnicos, como a implementação de sistemas de polias mais eficientes para aumentar a eficácia do mecanismo, e a substituição da montagem com parafusos por alternativas como a solda nas juntas, para evitar desmontagens indesejadas de invasores, visando maior durabilidade e menor custo de produção. Para a segurança, o sistema pode ser aprimorado com monitoramento por câmera e formas físicas automáticas de trancamento. A escalabilidade do sistema abre portas para o aluguel no mercado de estacionamentos pagos e até mesmo as novas oportunidades de negócios, adaptando o sistema para atender veículos de maior porte, desde vans, caminhões e ônibus, até veículos aquáticos e aéreos, como jetskis, barcos e aviões.

Além disso, outras oportunidades visualizadas envolvem a utilização de placas solares para alimentação do sistema ou utilização de sensores de controle de temperatura e umidade para controle e ajuste das condições ambientais dentro da garagem. Isso poderia ser útil para a preservação de veículos de alto valor, evitando danos devido à umidade excessiva ou temperaturas extremas.

Por fim, uma melhoria essencial para aumentar a confiabilidade do sistema seria o desenvolvimento de um servidor local, garantindo o funcionamento mesmo em situações de falha ou ausência de conexão com a rede. Essa redundância reforçaria a segurança e a continuidade operacional da garagem retrátil, assegurando maior tranquilidade aos usuários.

REFERÊNCIAS

IGLUCAR.COM.BR. **Capa Iglu-Car Luxo para Ford Corcel**. Disponível em:

<https://iglu-car.com.br/capa/ford-corcel>. Acesso em: 10 set. 2025.

AMAZON.COM.BR. **Ponte H L298N - Módulo Driver Motor Ponte H Dupla L298N para Arduino**. Disponível em:

<https://www.amazon.com.br/Ponte-L298N-M%C3%B3dulo-Driver-Arduino/dp/B0C9P9QS3D>. Acesso em: 10 set. 2025.

AMAZON.COM.BR. **Módulo Sensor De Inclinação SW-520D Para Arduino**. Disponível em: <https://a.co/d/23Slq5S>. Acesso em: 10 set. 2025.

ABDULLAH, Zulkeflee. **Designing an Auto Retractable, Manual Retractable & Permanent Car Cover to Provide Shelter from Heat & Rain during Moving & Stationary (Parking)**, (2005). Acesso em: 01 set 2025.

O ESTADO DE S. PAULO. **Em São Paulo, quatro em cada dez apartamentos novos não têm garagem**. *Estadão*, São Paulo, 11 jun. 2019. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/sao-paulo/em-sao-paulo-quatro-em-cada-dez-apartamentos-novos-nao-tem-garagem/>. Acesso em: 29 abr. 2025.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT, John W. **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**. 9. ed. Boston: Cengage Learning, 2013. Acesso em: 29 abr. 2025.

CHESTER, Mikhail. **Parking Infrastructure: A Constraint on or Opportunity for Urban Redevelopment?**. 2016. Acesso em: 29 abr. 2025.

Dagilvan Maia Santos, E. G. (2022). **USO DO ESP32 EM PROTÓTIPOS NA 24 EDUCAÇÃO PROFISSIONAL**. Fonte: USO DO ESP32 EM PROTÓTIPOS NA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2022/TRABALHO_COMPLETO_EV174_MD4_ID14433_TB2813_03102022130851.pdf. Acesso em: 29 abr. 2025.

PEREIRA, Lucas de Oliveira. **Desenvolvimento de sistema IoT microcontrolado para monitoramento e acionamento de carga de baixa potência**. BS thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021. Acesso em: 09 abr. 2025.

Davi Ambrósio da Silva, G. H. (2019). **INTERNET DAS COISAS EM ACIONAMENTOS REMOTOS**. Fonte: INTERNET DAS COISAS EM ACIONAMENTOS REMOTOS: <https://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistaeletrica/sumario/89/24032020124049.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2025.

KAMADA, Naomi Castellain. **Caracterização de motores de corrente contínua com ímã permanente e comutador**. 2019. 50 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Acesso em: 23 abr. 2025.

Chester, M. et al. (2015) 'Parking Infrastructure: **A Constraint on or Opportunity for Urban Redevelopment? A Study of Los Angeles County Parking Supply and Growth**', Journal of the American Planning Association, 81(4), pp. 268–286. doi: 10.1080/01944363.2015.1092879. Acesso em: 03 jun. 2025.

LIMA, Kássio M. G.; RAIMUNDO JR., Ivo M.; SILVA, Andréa Monteiro S.; PIMENTEL, Maria Fernanda. **Sensores ópticos com detecção no infravermelho próximo e médio**. Near and mid infrared optical sensors. Revista Brasileira de Engenharia Química, São Paulo, jul./set. 2021. Acesso em: 21 abr. 2025.

IBGE. **“Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.”** <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>. Censo Demográfico de 2022. Acesso em: 01 jul. 2025.

SEADE, editor. **“Perspectivas demográficas dos distritos do Município de São Paulo: o rápido e diferenciado processo de envelhecimento.”** Janeiro 2014, <https://populacao.seade.gov.br/wp-content/uploads/sites/18/2021/12/SPDemografico-perspectivas-demograficas-distritos-municipio-sao-paulo-rapido-diferenciado-proceso-envelhecimento.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2025.

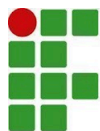
RODRIGUES, João Pedro Ribeiro Severiano. **O sistema de gerenciamento da segurança operacional e seus impactos na prevenção de acidentes aeronáuticos**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Aeronáuticas) – Kroton Educacional S.A. Disponível em: <https://repositorio.pgsskroton.com//handle/123456789/46882>. Acesso em: 28 abr. 2025.

OLIVEIRA, Pedro Henrique. **Imprescindibilidade dos recursos tecnológicos na efetivação da segurança pública: um exame jurídico-sistêmico das potencialidades e adafruitdesafios**. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/105564/imprescindibilidade-dos-recursos-tecnologicos-na-efetivacao-da-seguranca-publica-um-exame-juridico-sistemico-das-potencialidades-e-desafios>. Acesso em: 28 abr. 2025.

NARDLEWAR, S.; JUNGHARE, S.; DHAWALE, A.; GOKHALE, N.; HASSAN, M.; GYANCHANDANI, N. **A review paper on intelligent home automation using Google Assistant**. International Journal of Research in Engineering, Science and Management, v. 5, n. 6, p. 123-127, 2022. Acesso em: 21 abr. 2025.

A. Wagh, N. Sheth and J. Joshi, **"Implementation of MOSFETs in a closed loop H-Bridge motor driver using charge pumps,"** 2015 Annual IEEE India Conference (INDICON), New Delhi, India, 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/INDICON.2015.7443724. Acesso em: 07 abr. 2025.

B. Razavi, **"The Low Dropout Regulator [A Circuit for All Seasons],"** in IEEE Solid-State Circuits Magazine, vol. 11, no. 2, pp. 8-13, Spring 2019, doi: 10.1109/MSSC.2019.2910952. Acesso em: 22 jan. 2025.



ADAFRUIT INDUSTRIES. **Connecting to the Adafruit IO MQTT Broker**. Disponível em: <https://learn.adafruit.com/mqtt-in-circuitpython/connecting-to-the-adafruit-io-mqtt-broker>. Acesso em: 22 out. 2024.

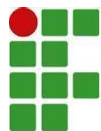
ADAFRUIT INDUSTRIES. **MQTT in CircuitPython**. Disponível em: <https://learn.adafruit.com/mqtt-adafruit-io-and-you>. Acesso em: 22 out. 2024.

T. Munasinghe, E. W. Patton and O. Seneviratne, **"IoT Application Development Using MIT App Inventor to Collect and Analyze Sensor Data"**, 2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), Los Angeles, CA, USA, 2019, pp. 6157-6159, doi: 10.1109/BigData47090.2019.9006203. Acesso em: 20 out. 2024.

SALES, E. R. de; LUI, L. **Perspectivas sobre segurança pública em cidades inteligentes: uma revisão da literatura de 2002 a 2022**. Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 83–101, 2023. DOI: 10.12660/rgplp.v22n2.2023.88882. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rgplp/article/view/88882>. Acesso em: 26 nov. 2024.

MORAES, J. M. de; QUIRINO, C.; ALMEIDA, R. M. de .; NEVES, J. E. D. A. **Internet das Coisas (IoT) : casa inteligente, definições e aplicações**. Revista Brasileira em Tecnologia da Informação, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 31 - 37, 2022.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Volume 1 – Mecânica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.



LEONARDO MARTINS KREUCH

AUTOMAÇÃO DE UMA GARAGEM RETRÁTIL VIA ACESSO REMOTO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

IFSC, 16 de dezembro de 2025.

Documento assinado digitalmente
 **IVALDO THEODORO SCHIEFLER JUNIOR**
Data: 16/12/2025 14:30:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Nivaldo Theodoro Schiefler Junior, Dr

Orientador

Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 **ALEXANDRE WERNER ARINS**
Data: 16/12/2025 13:30:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Alexandre Werner Arins, Dr.

Coorientador

Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 **JEFERSON LUIZ CURZEL**
Data: 16/12/2025 13:46:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Jeferson Luiz Curzel, Dr

Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 **MICHAEL KLUG**
Data: 16/12/2025 13:55:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Michael Klug, Dr

Instituto Federal de Santa Catarina