

CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Leandro Cristiano Rosa

SISTEMA DE CONFORTO ADAPTATIVO

Santo André

2025

Leandro Cristiano Rosa

SISTEMA DE CONFORTO ADAPTATIVO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva da FATEC Santo André, orientado pelo prof. Wesley Medeiros Torres, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Santo André

2025

R788s

Rosa, Leandro Cristiano
Sistema de conforto adaptativo / Leandro Cristiano Rosa. - Santo André, 2025. – 64f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2025.

Orientador: Prof. Wesley Medeiros Torres

1. Eletrônica. 2. Veículos. 3. Cluster. 4. Tecnologia. 5. Dispositivo eletrônico. 6. Dispositivo adaptativo. 7. Sistema de conforto. 8. Comandos eletrônicos. 9. Componentes eletrônicos. I. Sistema de conforto adaptativo.

621.3815

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 02 de julho de 2025.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: "PAINEL
ADAPTATIVO" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. WESLEY MEDEIROS TORRES

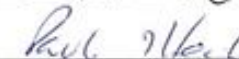


MEMBROS:

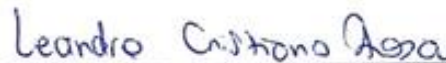
PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES



PROF. PAULO TETSUO HOASHI

**ALUNOS:**

LEANDRO CRISTIANO ROSA



PAINEL ADAPTATIVO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
FATEC Santo André como requisito parcial para
obtenção do título de tecnólogo em eletrônica
automotiva.

Professor Orientador

Prof. M.e. Wesley Medeiros Torres

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA

Presidente da Banca

Prof.(a) Dr(a)- _____

Fatec Santo André

Primeiro Membro da Banca

Prof.(a) Dr(a)- _____

Fatec Santo André

Segundo Membro da banca

Prof.(a) Dr(a)- _____

Fatec Santo André

Local: Fatec Santo André

Horário:

Data:

Santo André

2025

A minha família, por toda colaboração que teve em minha vida e a todos os bons profissionais da FATEC Santo André que contribuíram nesse trabalho e em minha vida.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as oportunidades e condições que ele me proporcionou para que eu pudesse desenvolver esse trabalho. A minha família que me proporcionou um caminho mais fácil e prazeroso durante esses anos.

Agradeço aos professores que sempre se propuseram a ajudar e contribuir para nosso aprendizado, em especial, meu professor orientador Wesley Medeiros Torres e Professor Fernando Garup Dalbo. Agradeço também a instituição FATEC Santo André que nos abriu o espaço e nos proporcionou todos os recursos necessários para tanto.

“Toda adversidade traz consigo a semente
de um benefício maior” (Napoleon Hill).

RESUMO

A ausência de um dispositivo tecnológico adaptativo no mercado que fosse capaz de integrar os componentes eletrônicos que envolvem conforto no carro por meio de uma tela gerou a demanda para o desenvolvimento de um sistema que comunique os componentes por meio de um cluster. Motivado por esta situação, apresentou-se neste trabalho um sistema capaz de fazer o comando através de um display. Primordialmente com comando de abertura de porta e comando de vidro elétrico, mas com a possibilidade de expansão para as demais necessidades do usuário no veículo.

Palavras-chaves: Adaptativo. Tela. Porta. Vidro.

ABSTRACT

The absence of an adaptive technological device on the market that was capable of integrating the electronic components that involve comfort in the car through a screen generated the demand for the development of a system that communicates the components through a cluster. Motivated by this situation, this work presents a system capable of performing the command through a display. Primarily with door opening control and electric window control, but with the possibility of expansion to other user needs in the vehicle.

Key words: Adaptive. Screen. Door. Window.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Painel Digital com Simbologia de Analógico	16
Figura 2 - Marcador de Combustível Fusca	17
Figura 3 - Possibilidades de Layouts.....	21
Figura 4 - Opção para Otimizar o Display	22
Figura 5 - Painel Digital com Projetor de Para-brisa	23
Figura 6 - Arquitetura (ou hardware) do Painel de Instrumentos.....	25
Figura 7 - Diagrama de Blocos.....	26
Figura 8 - ILI9341	27
Figura 9 - ESP32.....	29
Figura 10 - Pinagem do ESP32.....	29
Figura 11 - Plataforma SquareLine	33
Figura 12 - Relê de 5 Pinos Automotivo.....	34
Figura 13 - Ponte H.....	36
Figura 14 - Máquina de Vidro Elétrico	37
Figura 15 - Solenoide de Trava Elétrica	39
Figura 16 – Esquemática	40
Figura 17 - Circuito.....	41
Figura 18 - Configuração de Portas	42
Figura 19 - Ligação Display e ESP32.....	43
Figura 20 - ULN2003A	45
Figura 21 - Sensor ACS712	46
Figura 22 - Cálculo Divisor de Tensão	47
Figura 23 - Regulador de Tensão LM7805.....	48
Figura 24 - Desenvolvimento da Tela.....	49
Figura 25 - Programação dos Botões.....	50
Figura 26 - Fluxograma dos Botões	51
Figura 27 - Fluxograma Interrupção	52
Figura 28 - Medições sem Divisor de Tensão	54
Figura 29 - Medições sem Divisor de Tensão	55
Figura 30 - Corrente Solenoide de Trava Elétrica	56
Figura 31 - Tempo de acionamento Motor do Vidro Elétrico	57

Figura 32 - Tempo de Acionamento do Solenoide Trava de Porta.....	58
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

CMOS	<i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i>
GND	<i>Ground</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LVGL	<i>Light and Versatile Graphics Library</i>
MCU	<i>Microcontroller Unit</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
OLED	<i>Organic Light Emitting Diode Televisions</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
ROM	<i>Read-Only Memory</i>
RPM	<i>Rotação por minuto</i>
RGB	<i>Red, Green and blue</i>
SPI	<i>Solder Paste Inspection</i>
TFT	<i>Thin Film Transistor</i>
TTL	<i>Transistor Logic</i>
V	<i>Volt</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo.....	13
1.2 Motivação	13
1.3 Desenvolvimento do Trabalho	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Painel de instrumento automotivo	15
2.2 Painéis Analógicos	16
2.2.1 Funcionamento e Componentes	17
2.3 Painéis Digitais.....	19
2.3.1 Design e Layout.....	20
2.3.1.1 Simbologia de Analógico no Painel Digital.....	22
2.3.2 Restrições.....	23
2.3.3 Arquitetura e Componentes	24
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	26
3.1 Display ILI9341	27
3.2 Microcontrolador ESP32	28
3.2.1 Bluetooth Low Energy (BLE).....	30
3.2.2 Wireless-Fidelity (Wi-Fi).....	30
3.3 LVGL	30
3.4 SquareLine.....	31
3.5 Relé <i>Single Pole Double Throw</i> de 5 Pinos Automotivo.....	33
3.6 Motor do Vidro Elétrico	35
3.7 Motor de Trava Elétrica para Acionamento de Fechadura	37
3.8 Desenvolvimento do Hardware.....	40
3.8.1 Ligação do Display.....	42
3.8.2 Circuito Integrado ULN2003A	43
3.8.3 Sensor ACS712	45

3.8.4 Circuito regulador de tensão	47
3.9 Desenvolvimento do Software	48
3.9.1 Fluxograma	50
4 TESTES REALIZADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	53
4.1 Avaliação Geral	53
4.2 Avaliação Técnica	53
4.2.1 Medição de Corrente sem Divisor de Tensão	54
4.2.2 Medição de Corrente sem Divisor de Tensão	55
5 CONCLUSÃO	56
6 PROPOSTAS FUTURAS	60
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

O painel de instrumento é um equipamento presente nos veículos a muito tempo, tem como finalidade fornecer ao condutor alguns dados para que este possa fazer o monitoramento de algumas condições do veículo. Com o passar do tempo, a tecnologia presente no painel de instrumento evoluiu e vive em constante evolução, mas a frota de automóveis que circula no Brasil envelheceu pelo nono ano consecutivo, ficando próximo dos níveis de 1994, de acordo com dado do Sindicato dos metalúrgicos do ABC. No Brasil, a tributação sobre veículos novos, como o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores, costuma ser proporcional ao valor venal do bem, o que resulta em alíquotas mais elevadas para automóveis novos. Além disso, observa-se uma cultura de valorização de veículos mais antigos.

Esse cenário descrito cria uma dor no mercado, pessoas querem adaptar um painel mais moderno em seu veículo antigo, mas não há no mercado um modelo “universal” de alta qualidade, ou então uma empresa que faça essa transformação. O interesse do presente trabalho é oferecer uma opção a essas pessoas, permitindo uma atualização de aparência e funcionalidades ao veículo.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, dissertaremos justamente esses pontos citados anteriormente a fim de dar o primeiro passo para o desenvolvimento de um painel adaptável.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo dar início ao desenvolvimento de um sistema de conforto adaptativo que tem como intuito executar comandos através de uma tela touch screen. Inicialmente controlando vidro elétrico e a solenoide de trava de porta.

1.2 MOTIVAÇÃO

A motivação deste trabalho surgiu a partir de um projeto que teve início em 2020, onde foi feita a reforma completa de um Fusca. O projeto envolveu todas as áreas existentes no veículo: funilaria, pintura, elétrica, documentação, motor, câmbio, polimento, freio, suspensão e tapeçaria. Além disso, adaptações tecnológicas no sistema de conforto, onde encontrou dificuldades por ter um mercado escasso a disposição.

1.3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

No capítulo 2 será apresentado a fundamentação teórica do trabalho, toda a base de pesquisa para desenvolver os primeiros conceitos sobre painel automotivo.

O capítulo 3 envolve o desenvolvimento do trabalho, é apresentado os componentes que foram utilizados e toda a parte de desenvolvimento de *software* e *hardware*.

No capítulo 4 é abordado os resultados obtidos através de medições e cálculos realizados.

O capítulo 5 trata-se da conclusão do trabalho.

Por fim, no capítulo 6 é realizado propostas futuras com base no trabalho desenvolvido.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ao longo deste capítulo, são apresentados os principais fatores que relacionam o painel de instrumento automotivo, bem como um breve contexto de evolução e atual momento dos painéis mais evolucionários da história. Muito importante também é entender que existem regulamentações e normas que regem esse item tão importante do veículo.

A relevância deste estudo se dá pela importância dos painéis de instrumentos na experiência do usuário e na promoção de um ambiente de condução mais seguro, eficiente e até mesmo mais agradável esteticamente. Além disso, entender as tendências futuras e as necessidades dos consumidores, agrega insights valiosos para engenheiros, designers e fabricantes na criação de soluções inovadoras que atendam às demandas de um mercado automobilístico em constante transformação. Mas sobretudo, dar uma opção a entusiastas do setor automotivo que querer atualizar o *setup* de seu veículo, trocando seu painel analógico por um totalmente digital por exemplo.

2.1 PAINEL DE INSTRUMENTO AUTOMOTIVO

Um veículo é e sempre foi repleto de componentes, seja mecânico, eletrônico, elétrico ou até mesmo hidráulico. A questão é que esses componentes se unem de tal forma que exercem trabalho de acordo com a demanda do operador ou da circunstância. No veículo temos diversos fatores como velocidade, rotação do motor, nível de combustível, temperatura do motor, estado das portas, entre outros. O painel de instrumento é justamente o item que possibilita unir esses dados que são importantes para o motorista e ilustrá-los de uma forma compreensível.

Desta forma, o painel de instrumentos é um componente essencial em qualquer veículo atualmente, desempenhando um papel fundamental, sendo o único dispositivo que executa a função de interface entre o motorista e o automóvel.

Desde os primeiros velocímetros mecânicos até os sofisticados *displays* digitais de hoje, os painéis de instrumentos têm evoluído significativamente, incorporando avanços tecnológicos que melhoram a usabilidade, a estética e a funcionalidade. De uma forma geral, os painéis são divididos em três:

- Painéis Analógicos;
- Painéis Analógicos com algumas funções digitais (híbrido);

- Painéis Digitais.

2.2 PAINÉIS ANALÓGICOS

O painel analógico de instrumentos automotivo, uma das partes mais emblemáticas de um veículo, tem sido um componente essencial desde os primórdios da indústria automobilística. É interessante ver que mesmo com o advento das tecnologias digitais, os painéis analógicos continuam a ser amplamente utilizados, apreciados por sua simplicidade, confiabilidade e *design* clássico. O design clássico do painel analógico é tão importante que atualmente os painéis totalmente digitais muita das vezes tentam preservar a aparência do painel analógico. A figura 1 mostram exatamente isso.

Figura 1 - Painel Digital com Simbologia de Analógico



Fonte: Casper Kessels, 2024

Como podemos ver na figura 1, o painel digital, imita de certa forma a maneira de expor o dado que o painel analógico usa. Isso mostra o quão significativo o painel analógico foi na indústria automotiva, que preservar sua característica mesmo tendo trocado a tecnologia usada.

2.2.1 Funcionamento e Componentes

A composição do painel analógico se dá por um conjunto de engrenagens, cabos e amostradores, que são conectados a sensores que medem os diversos parâmetros do veículo. Os sensores que medem os parâmetros podem ser do tipo elétrico, utilizando um conversor para transformar o sinal em movimento mecânico, como também pode ser um sensor mecânico, atuando direto no mostrador do painel. Atualmente os sensores puramente mecânicos acabou caindo em desuso, mas antigamente era amplamente utilizado. O Fusca, por exemplo, explorou muito o sensor mecânico, o utilizando no velocímetro e no nível de combustível. Um fator interessante é que por se tratar de um sensor mecânico, não há consumo de energia da bateria para que haja o funcionamento, funcionando mesmo com o veículo desligado. Portanto, ainda que o carro esteja desligado, o nível de combustível por exemplo é indicado no Fusca, assim como a velocidade, caso o carro entre em movimento. A figura 2 ilustra o marcador de combustível e o cabo que ao deslocar altera o nível indicado no painel.

Figura 2 - Marcador de Combustível Fusca



Fonte: Guedesemiranda, 2025

Os painéis analógicos são compostos por uma série de medidores e indicadores, cada um projetado para fornecer uma leitura específica. Os componentes principais incluem:

- Velocímetro – Mostra a velocidade atual do veículo e é de suma importância para que o motorista atenda os limites de velocidade estabelecidos pela via.
- Tacômetro ou tacógrafo - Informa a rotação do motor por minuto, ilustrando no painel como RPM. Geralmente, na ilustração o valor é dividido por 100 e é importante para que o motorista acompanhe, ajudando a tornar mais eficiente as trocas de marcha.
- Indicador de combustível - informa o nível de combustível no tanque, sendo crucial para planejar paradas para abastecimento, visto que de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro, Artigo 180, ter seu veículo imobilizado na via por falta de combustível é infração média.
- Termômetro para o motor - Indica a temperatura do motor e reforça a importância do painel no veículo, pois saber a temperatura de funcionamento do motor pode evitar grandes transtornos e gastos com manutenção.
- Odômetro - Indica a quilometragem rodada do veículo, uma das informações mais importantes e controladas, visto que essa informação consta até mesmo em laudos de transferência e é uma das poucas informações que um leigo pode ter de forma acessível para analisar a integridade do veículo, embora ela não acuse isso de forma direta.
- Indicadores de advertência - Indica informações como pressão de óleo, bateria e outras luzes importantes que sinalizam problemas que precisam ser checados imediatamente.

Embora o painel analógico seja tradicional, ele tem seus pontos positivos e negativos. Como ponto positivo podemos citar:

- Simplicidade - A posição da agulha é de fácil e rápida compreensão, fator crucial para segurança e uma melhor dinâmica ao dirigir.

- Durabilidade – Por possuir pouquíssimos recursos eletrônicos e em alguns casos nenhum, acaba apresentando uma alta durabilidade quando bem mantidos.
- Manutenção - Costuma ser mais barato e fácil de concertar, se comparado com os painéis digitais.

No entanto, também possuem alguns pontos negativos com relação aos painéis digitais:

- Menos recursos – Oferece informações básicas, sem dados avançados que o painel digital pode oferecer;
- Precisão - Pode não ser tão preciso quanto os painéis digitais, ainda mais com o passar do tempo.
- Atualizações - Não suporta atualizações tecnológicas, ou novas funcionalidades que os painéis digitais permitem.

Todo equipamento, com o passar do tempo começa a limitar o desenvolvimento tecnológico, e é justamente em função disso que há o desenvolvimento de novos dispositivos. O painel não é diferente, com o passar do tempo algumas funções digitais foram implementadas junto as analógicas e atualmente o mercado é repleto de painéis digitais sem comando nenhum analógico.

2.3 PAINÉIS DIGITAIS

Nos últimos anos, o desenvolvimento de painéis de instrumentos automotivos tem sido impulsionado por diversas inovações tecnológicas, como tela LCD e OLED, integração com sistemas de navegação e *infotainment*, e a adoção de interfaces de usuário mais intuitivas e ergonômicas. Além disso, Casper Kessels, indica uma crescente demanda por veículos mais seguros e eficientes energeticamente tem incentivado a criação de novos recursos, como alertas de manutenção preventiva, monitoramento de pressão dos pneus e sistemas de assistência ao motorista.

Um grande ponto a ser salientado no que diz respeito a painel digital é a capacidade de implantar recursos que estarão à disposição do motorista. Essa dinâmica que o mundo digital proporciona é muito positiva, mas também pode

acarretar alguns aspectos negativos. O excesso de informação acaba sendo algo improdutivo, tende a distrair mais o motorista como também tornar o *display* mais complexo para o usuário (Casper Kessels, 2024).

2.3.1 Design e Layout

Os painéis de instrumentos estão se tornando cada vez mais complexos devido à ausência de restrições físicas. No entanto, essa falta de restrições também proporciona várias vantagens, abrindo possibilidades para a exibição de informações dinâmicas e mais complexas de acordo com o contexto. O problema não está na natureza digital dos painéis de instrumentos, mas sim no design adotado.

O objetivo principal de um painel de instrumentos é fornecer informações essenciais de forma rápida e conveniente, próxima à linha de visão do motorista. Sua eficácia está na capacidade de alertar os condutores sobre avisos ou mudanças nos limites de velocidade, mesmo quando não estão olhando diretamente para ele. Nesse sentido, o painel de instrumento deve encontrar um equilíbrio entre chamar a atenção e evitar distrações. Dois exemplos ilustram bem esse desafio:

- O primeiro exemplo diz respeito à navegação. A apresentação da orientação da rota no cluster é vantajosa por ser mais fácil de visualizar do que em uma tela central. No entanto, um mapa complexo em constante movimento na visão periférica do condutor pode causar distrações excessivas.
- O segundo exemplo refere-se aos sistemas avançados de assistência ao condutor (ADAS). Parece existir uma espécie de "regra não escrita" de que todo carro com ADAS deve incluir uma visualização dos dados dos sensores do veículo.

A figura 3, ilustra algumas combinações e configurações para agrupar as informações da melhor maneira possível. Neste caso o painel está sendo aplicado a um veículo automático e elétrico, a informação dada porcentagem se refere justamente ao nível de carga da bateria.

Figura 3 - Possibilidades de Layouts



Fonte: Casper Kessels, 2024

O importante nesse momento é preservar o principal objetivo do painel, que como mencionado anteriormente consiste em fornecer informações essenciais de forma rápida e conveniente, próximo à linha de visão do motorista. Entretanto, para esse componente automotivo existem padrões e regulamentos regionais a serem seguidos. Uma restrição importante para os *designers* são os reveladores, ícones de advertência. As montadoras devem assegurar, conforme estabelece a norma ISO 2575 (2021), que o ícone seja exibido sem falhas, com o mínimo de atraso e sem obscurecer outras informações, embora muitos motoristas possam não estar cientes de seus significados. Esses ícones ocupam uma parcela considerável do painel de instrumentos. A Porsche adotou uma abordagem inteligente para lidar com isso, incorporando um painel adicional abaixo do display digital.

Os quadrados em vermelho, na figura 4, ilustra a solução da Porsche, que utilizou um recurso imensamente simples para economizar recursos do *display*.

Figura 4 - Opção para Otimizar o Display



Fonte: Casper Kessels, 2024

2.3.1.1 Simbologia de Analógico no Painel Digital

Um fator bem interessante para o que diz respeito a designer é a questão salientada na figura 1. Essa questão pode dividir opiniões, mas no geral, trazer um designer de painel analógico em um puramente digital pode valorizar muito o projeto. Os medidores tradicionais se destacam em termos de *design*, já que transmitem informações através de formas e movimentos, em vez de recorrer a letras e números, que podem ser mais difíceis de interpretar (AUTODEAL, 2024).

Além da forma de representar o dado, com a falta de restrição física do painel digital, cabe fazer a comparação da velocidade do veículo com o limite imposto pela via. Para terminar de facilitar ainda mais a vida do motorista também existem sistemas que projetam a velocidade, rotação do motor, entre outros dados, no para-brisa. Com essa projeção o motorista pode se manter mais atento a via, deixando de ter que olhar mais para baixo para visualizar o painel, sugestões apontadas por Casper Kessels. Embora possa parecer simples, esse sistema pode ajudar muito o motorista, ainda mais em caso de trânsito muito dinâmico, como é o caso de São Paulo. Muitos radares, motociclista, pedestres, desvios, cruzamentos e outros fatores que exigem a atenção do motorista. A figura 5 ilustra o projetor citado, a comparação de velocidade

e o painel mostrando a rotação e a velocidade em formato de ponteiro, como se fosse o analógico.

Figura 5 - Painel Digital com Projetor de Para-brisa



Fonte: Audi, 2023

2.3.2 Restrições

Desenvolvimento de *hardware* não se trata de um trabalho simples em setor nenhum, entretanto no setor automotivo o desenvolvimento de *hardware*, bem como de *software* acaba sendo mais agravado em virtude do ambiente de trabalho. Isso significa que para qualquer tipo de dispositivo que tenha como destino um automóvel o cuidado e a atenção no momento de desenvolvimento e teste deve ser dobrado. Para o caso do painel digital não é diferente, muito pelo contrário, existe algumas questões especiais:

- Ambiente: o veículo está sempre sujeito a mudanças de temperatura, vibrações entre outros fatores que todas as peças do automóvel acabam se sujeitando, mas existe uma condição especial para o painel, iluminação. Ao projetar um painel digital devesse levar em consideração a questão da iluminação, pois por se tratar de um *display*, uma alta iluminação vinda de fora pode acabar diminuindo a visibilidade da tela por parte do usuário. Além disso, a luz solar também pode causar

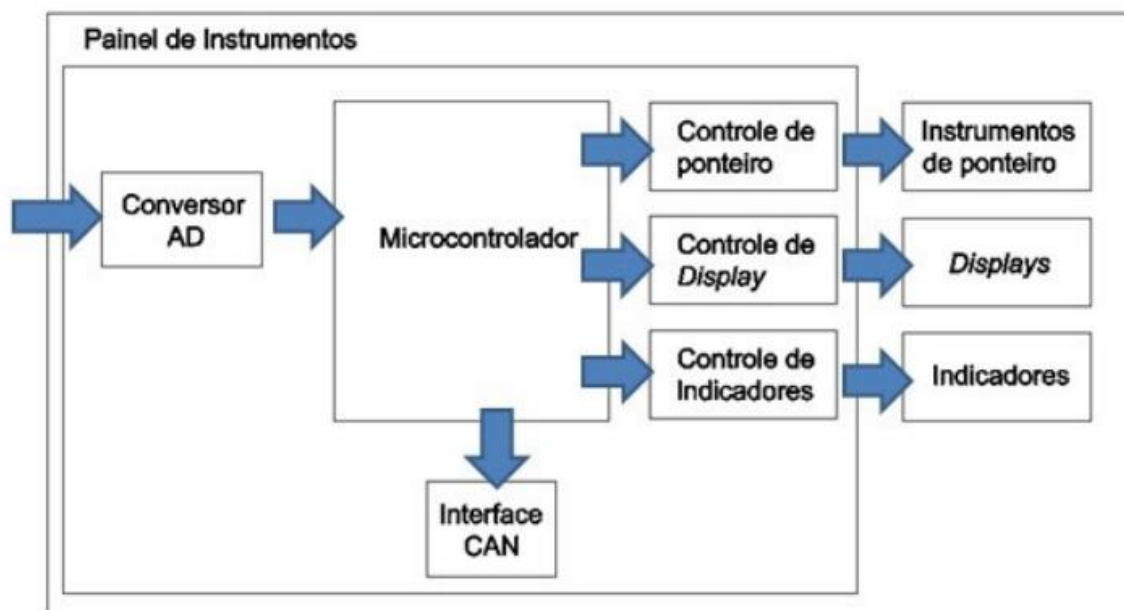
dano ou reflexos na tela. Por tanto, o projetista deve levar em consideração a localização e as características do *display* utilizado, tentando conciliar, usabilidade, estética e eficiência.

- Robustez: A robustez do conjunto como um todo decorre em virtude de sua natureza crítica em termos de segurança. As informações fundamentais devem ser à prova de falha, como é o caso dos ícones de aviso. O sistema operacional em tempo real, geralmente o QNX da BlackBerry, normalmente gerencia essas informações, enquanto outras informações, como navegação, costumam ser processadas por sistemas como Android ou Linux (Casper Kessels, 2024).
- Regulamento: Os grupos de instrumentos devem seguir diversos padrões e regulamentos regionais que especificam informações, limites de atraso permitidos e outros fatores relacionados à segurança (Casper Kessels, 2024).

2.3.3 Arquitetura e Componentes

Diferente dos painéis analógicos, os digitais são constituídos de componentes eletrônicos que se combinam para efetuar a missão do dispositivo. As funções que foram apresentadas quando foi tratado sobre os painéis analógicos também são presentes nos painéis digitais, o que muda é a forma com que o dado é lido até ser apresentado na tela. No painel analógico temos o sensor efetuando um movimento que é convertido em movimento de ponteiros. Por outro lado, o painel digital conta com sensores analógicos que geram sinal. Esse sinal é convertido em digital, formato lido pelo microcontrolador, que por sua vez lida com o dado o transmitindo-o para um controlador que mandará o sinal para o atuador (Lauro Roberto Nunes, 2017). De forma resumida a representação fica como na figura 6.

Figura 6 - Arquitetura (ou hardware) do Painel de Instrumentos



Fonte: Lauro Roberto Nunes, 2017

Ainda se referindo a figura 6, o sensor A/D descrito no diagrama é ligado aos sensores que respondem através de sinais analógico, como por exemplo:

- Sensor de roda fônica magnético: sensor utilizado para fazer leituras que serão transformados em dados que envolvem velocidade, rotação e deslocamento para compor o hodômetro.
- Sensor de temperatura: usado para medir a temperatura do líquido de arrefecimento.
- Sensor de nível de combustível: costuma ser a boia de combustível, para identificação do nível.

Esse modelo de arquitetura atrelada a um software robusto, acaba entregando a confiabilidade necessária para o usuário. Um bom exemplo disso é o avanço que a tecnologia deu no que se refere a hodômetro. Atualmente é um trabalho muito mais complexo fazer uma adulteração de quilometragem, coisa que no painel analógico é muito prático.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O presente projeto foi desenvolvido com o objetivo de implantar botões virtuais em telas *touch screen* como alternativa aos tradicionais botões e chaves mecânicas utilizados no acionamento de acessórios elétricos veiculares. No mercado automotivo, existem veículos que já possui sistemas totalmente *touch screen*, entretanto, no mercado ainda não existe um sistema que atenda as pessoas que possuem carros antigos.

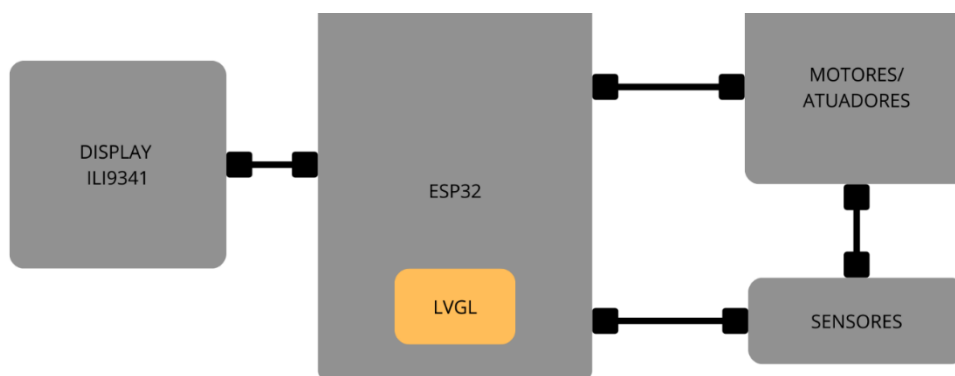
Foram escolhidos dois acessórios elétricos para ilustrar a ideia do projeto:

- **Motor de vidro elétrico:** na ocasião, um modelo universal, que foi vendido no mercado como um motor de vidro elétrico para Fusca com vidro inteiriço. Esse motor trabalha com 12V.
- **Acionador de porta automático:** foi utilizado o solenoide mostrado na figura 15. Como ele exerce o movimento de puxar e empurrar, a depender do formato da ligação, é possível adaptá-lo para puxar a alavanca da maçaneta de porta. Esse solenoide também irá trabalhar com 12V.

Em suma, será agrupado dois principais componentes, o controlador ESP32 e o *display*, juntamente com a ferramenta LVGL (biblioteca gráfica utilizada para desenvolver a interface gráfica) e outros pequenos detalhes, como relê e circuito integrado.

O agrupamento desses componentes a princípio se dispõe de acordo com o diagrama de blocos da figura 7.

Figura 7 - Diagrama de Blocos



Fonte: autoria própria.

A figura 7 ilustra o LVGL dentro da ESP32, foi colocado desta forma justamente para deixar claro a relação do LVGL no projeto. Ele é compilado na ESP32 que processa o código e faz a comunicação com o display. No decorrer do trabalho, os componentes serão descritos e explicado em maiores detalhes

3.1 DISPLAY ILI9341

O *display* ILI9341 é um controlador de LCD com resolução de 240RGBx320 pontos, com capacidade de exibir até 262.144 cores, compreendendo um driver de origem de 720 canais, um driver de porta de 320 canais, 172.800 bytes de GRAM para gráficos e um circuito de fonte de alimentação. Ele pode trabalhar com tensão de interface de E/S de 1,65 V ~ 3,3 V e um circuito seguidor de tensão incorporado para gerar níveis de tensão para acionar um LCD (ILITEK, 2024).

O *display* suporta interface MCU de barramento de dados paralelo de 8/9/16/18 bits, interface RGB de barramento de dados de 6/16/18 bits e interface periférica serial de 3/4 linhas.

Esse dispositivo é comumente utilizado em projetos devido à sua facilidade de uso e boa qualidade de exibição. A figura 8 ilustra o *display* ILI9341.

Figura 8 - ILI9341



3.2 MICROCONTROLADOR ESP32

O ESP32 é um microcontrolador desenvolvido pela Espressif Systems, lançado em setembro de 2016, com o objetivo de suceder o modelo anterior, o ESP8266. Com recursos avançados e custo reduzido, tornou-se uma opção atrativa para projetos voltados à Internet das Coisas e ao desenvolvimento de sistemas embarcados (ALLAFI; IQBAL, 2017).

Entre seus principais diferenciais estão o baixo consumo de energia, a integração de conectividade Wi-Fi e Bluetooth e a presença de um processador Tensilica Xtensa LX6, baseado em arquitetura Harvard de dois núcleos. Essas características fazem do ESP32 uma alternativa competitiva e de excelente desempenho quando comparado a outros microcontroladores com funcionalidades semelhantes, mantendo-se amplamente utilizado devido à sua eficiência e acessibilidade econômica (MAIER; SHARP; VAGAPOV, 2017).

A utilização da ESP32 no projeto em pauta se dá por alguns motivos. O dispositivo possui um armazenamento generoso, com um baixo consumo de energia (algo em torno de 240mA com uso normal), alto desempenho e uma grande quantidade de recursos, que pode ser muito proveitoso no momento em que o projeto passar por um aprimoramento, com adesão de novas funcionalidades. Tudo isso com uma acessibilidade boa, preço acessível e facilidade de encontrar em lojas que vendem componentes eletrônicos.

A ESP32 realizará o gerenciamento do painel, utilizando o chip ESP-WROOM-32. Ainda que possua um preço acessível, segundo datasheet do componente, é equipada com um microprocessador nomeado como *Xtensa Dual-Core 32-bit LX6*, com memória RAM de 520KB e 448KB de ROM. Possui uma gama de periféricos, como UART, SPI, I2C e câmera. A placa possui integrado Wi-fi, Bluetooth, além de pinos ADC, DCA, PWM, suporte para sdcard, entre outras funcionalidades distribuídas em 30 pinos de I/O.

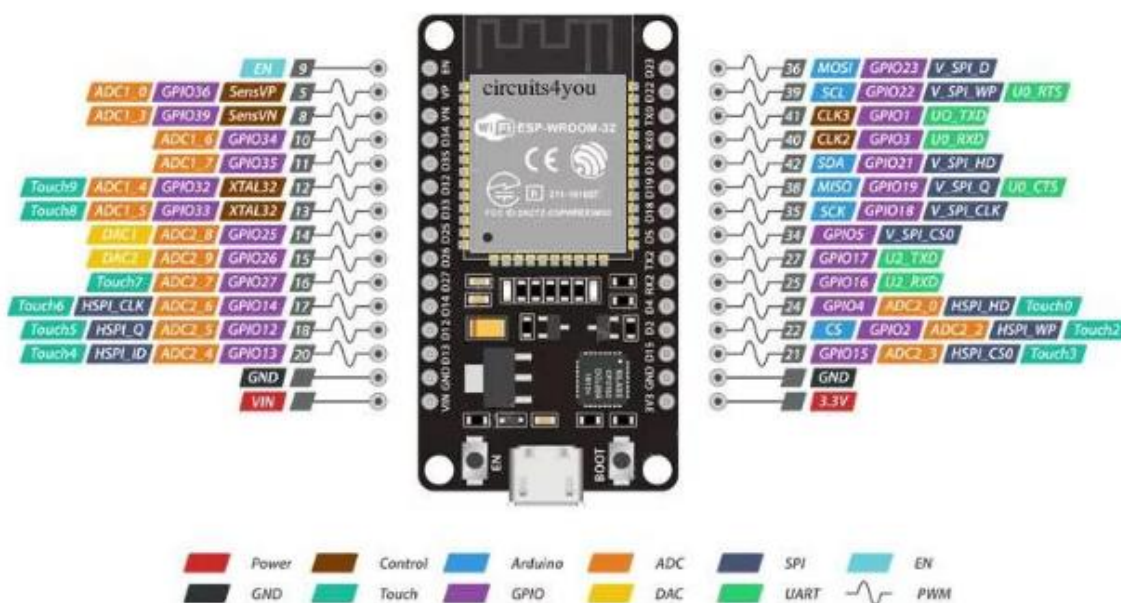
Figura 9 - ESP32



Fonte: Eletrogate, 2024

A figura 10 ilustra a pinagem do ESP32, em que as portas em sua maioria possuem mais de uma função, otimizando o sistema.

Figura 10 - Pinagem do ESP32



3.2.1 Bluetooth Low Energy (BLE)

Bluetooth Low Energy (BLE) é uma técnica que apareceu na versão 4.0 do Bluetooth, em 2010. Ela permite diminuir os níveis de consumo de energia em aparelhos que não precisam transmitir grandes volumes de dados, podendo apresentar um gasto energético de apenas 10% em relação ao Bluetooth clássico, tornando possível alimentá-los com baterias do tamanho de moedas. Um dispositivo BLE permanece em modo *sleep* durante a maior parte do tempo, saindo desse modo apenas para realizar conexões que duram apenas ms. Isso ocorre pois ele foi projetado para aplicações que apenas precisam enviar poucas informações e esporadicamente. Dessa forma, se tem um consumo energético com picos de 15 mA, mas com uma média de 1 uA apenas (ARAUJO; VASCONCELLOS, 2012).

3.2.2 Wireless-Fidelity (Wi-Fi)

O Wi-Fi surgiu devido a necessidade de mobilidade do usuário ao acessar a internet, além da diminuição na complexidade da infraestrutura de conexão entre muitos computadores. O padrão IEEE 802.11g, criado em 2003 e mais popular em 2024, foi o terceiro padrão de modulação para redes sem fio, sendo compatível com o padrão 802.11b. Uma de suas características é a taxa de transmissão que pode chegar até a 54 Mbps como no padrão 802.11a. Ele opera na frequência de 2,4 GHz e possui canais com largura de faixa de 20 MHz, com uma cobertura de até 100 metros. Utiliza a técnica de modulação OFDM, e ao se comunicar com um dispositivo 802.11b, a técnica passa a ser o DSSS (Bruno Mota; Leonardo Luciano, 2016).

A integração de Bluetooth, Bluetooth e Wi-Fi garante uma ampla gama de aplicações, e que o módulo seja à prova do futuro: usar Wi-Fi permite um grande alcance físico e conexão direta à internet por meio de um roteador Wi-Fi, enquanto usar Bluetooth permite que o usuário se conecte convenientemente ao telefone ou transmita beacons de baixa energia para sua detecção.

3.3 LVGL

O LVGL (*Light and Versatile Graphics Library*) é uma biblioteca gráfica de código aberto projetada para sistemas embarcados e microcontroladores que fornece

tudo aquilo que é necessário para criar uma GUI incorporada com elementos gráficos fáceis de usar, belos efeitos visuais e baixo consumo de memória (LVGL, 2024).

Conforme descrito no próprio site da LVGL, as principais características são:

- **Eficiência e leveza:** Uma das principais características do LVGL é sua eficiência em termos de consumo de recursos. Ele é otimizado para funcionar em dispositivos com pouca memória RAM e poder de processamento limitado.
- **Programa em C:** O LVGL é implementado principalmente em C, o que o torna portátil para uma ampla variedade de microcontroladores e plataformas.
- **Flexibilidade:** A biblioteca é altamente configurável e modular, permitindo que os desenvolvedores escolham os recursos necessários para seu aplicativo e otimizem o uso de memória.
- **Suporte a vários tipos de *displays*:** O LVGL é compatível com uma variedade de controladores de *display*, incluindo TFT, OLED, LCD, entre outros.
- ***Widgets* personalizáveis:** LVGL oferece uma ampla gama de *widgets* pré-projetados, como botões, barras de progresso, listas e janelas, que podem ser facilmente personalizados para atender às necessidades do aplicativo.
- **Renderização rápida:** A biblioteca é otimizada para renderização rápida de elementos gráficos, garantindo uma experiência de usuário suave, mesmo em dispositivos com recursos limitados.
- **Licença:** LVGL é distribuído sob a licença MIT, o que significa que pode ser usado livremente em projetos comerciais e não comerciais, com poucas restrições.
- **Comunidade ativa:** LVGL possui uma comunidade ativa de desenvolvedores e usuários que contribuem com código, oferecem suporte e compartilham recursos e exemplos.

Portanto, o LVGL é o responsável pelo desenvolvimento da interface gráfica do usuário no presente trabalho.

3.4 SQUARELINE

O *SquareLine* Studio é um software gráfico especializado na criação de interfaces de usuário para sistemas embarcados, especialmente voltado para desenvolvedores que utilizam microcontroladores com displays, como os baseados em ESP32, STM32, entre outros. Seu grande diferencial é permitir que interfaces visuais complexas sejam desenvolvidas de forma rápida e intuitiva, por meio de uma plataforma baseada em arrastar e soltar, sem que o usuário precise escrever grandes

quantidades de código para posicionar ou configurar os elementos gráficos na tela (DIGIKEY,2025).

Esse software trabalha integrado ao LVGL, biblioteca gráfica que será utilizada no projeto. A finalidade do software é facilitar o desenvolvimento do design das telas, a navegação entre elas, o posicionamento de botões, *sliders*, textos, gráficos e demais *widgets* visuais, que seriam trabalhosos de configurar manualmente apenas com código.

Uma das maiores vantagens do *SquareLine* é a possibilidade de visualizar em tempo real o resultado da interface enquanto se monta o *layout*. Isso agiliza consideravelmente o processo de desenvolvimento, pois o programador pode testar a usabilidade e o visual antes de compilar ou carregar o projeto em um microcontrolador. A ferramenta também oferece opções para definir animações, transições entre telas e vincular eventos a determinados elementos da interface, como o toque em um botão ou o movimento de um *slider*.

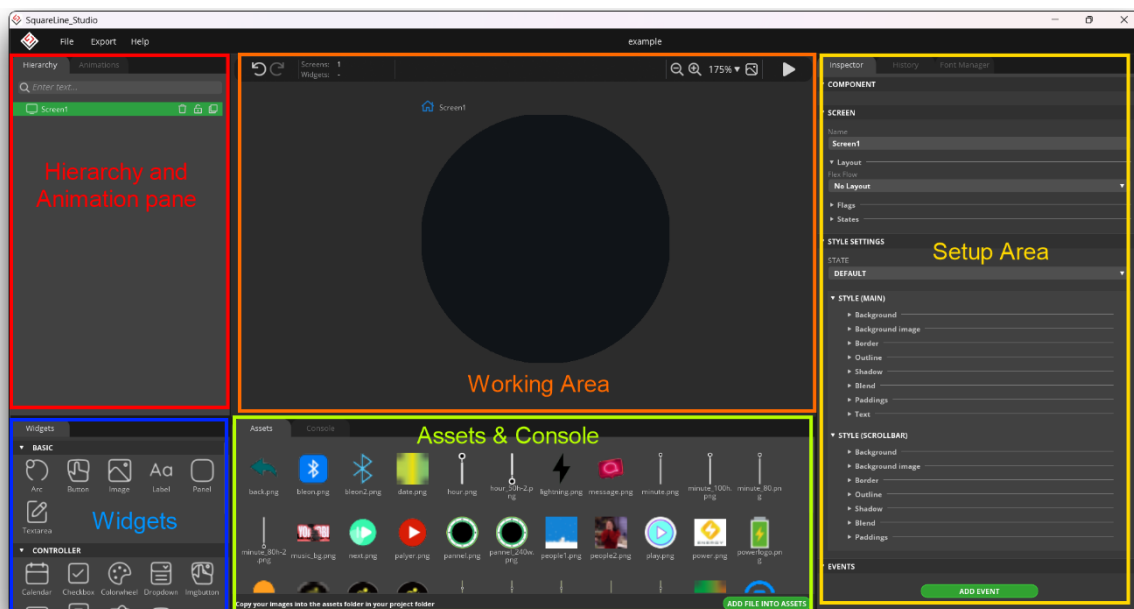
Ao finalizar o *design*, o *SquareLine* permite exportar o projeto como um conjunto de arquivos compatíveis com a estrutura do LVGL, que pode ser incluído diretamente em um projeto Arduino, PlatformIO, ESP-IDF ou qualquer outro ambiente que suporte a biblioteca gráfica. Essa exportação inclui não apenas os arquivos de layout, mas também as imagens utilizadas, os estilos aplicados e o código necessário para a inicialização da interface, otimizando o tempo de integração com o *firmware* do sistema.

Além disso, o *SquareLine* é multiplataforma, funcionando em sistemas operacionais como *Windows*, *Linux* e *macOS*. Sua interface moderna é pensada para facilitar tanto o trabalho de desenvolvedores quanto de designers que queiram colaborar com a criação de interfaces para dispositivos embarcados. Em projetos mais complexos, ele ainda permite a criação de múltiplas telas com navegação entre elas, oferecendo recursos como temas customizáveis, controle de resolução do *display* e suporte ao escalonamento responsivo.

Dessa forma, o *SquareLine Studio* não apenas simplifica a etapa visual do desenvolvimento embarcado, mas também ajuda a criar produtos finais com aparência mais profissional e maior facilidade para o usuário. Na ocasião deste projeto a ideia é obter a maior parte do código que envolve parte gráfica, restando apenas fazer a configuração dos botões vinculando-os a saída da ESP32 que vai ser o microcontrolador utilizado.

A figura 11 trata-se de uma captura de tela tirada da plataforma SquareLine.

Figura 11 - Plataforma SquareLine

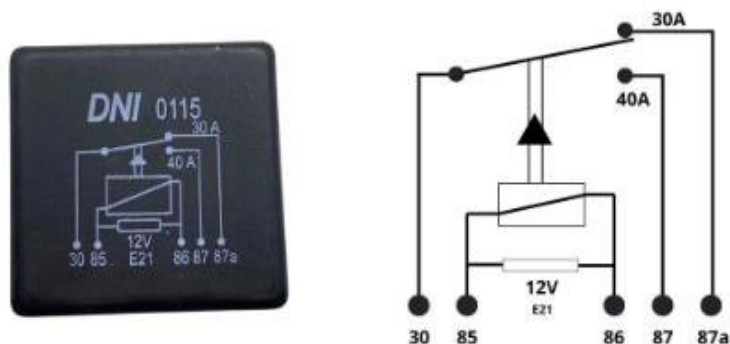


Fonte: (seedstudio, 2025)

3.5 RELÉ *SINGLE POLE DOUBLE THROW* DE 5 PINOS AUTOMOTIVO

O Relé de 5 pinos é amplamente utilizado no setor automotivo, no projeto em pauta será utilizado para inversão de polaridade no motor do vidro elétrico. Isso se faz necessário em detrimento da necessidade de alimentar um mesmo motor de dois modos diferentes, para que ele possa subir e descer. Esse efeito só será possível com a inversão de polaridade que será feito usando dois relês de 5 pinos ilustrado na figura 12.

Figura 12 - Relê de 5 Pinos Automotivo



Fonte: (Eletroniclab, 2024).

A figura 12 ilustra de forma clara, através de um desenho, o funcionamento interno do relê. Acompanhando a figura, o pino 30 será ligado no motor do vidro elétrico. O pino 87 será ligado no positivo pós fusível. O pino 87a será ligado no negativo da bateria. O pino 85 e 86 são responsáveis por fazer a ativação do relê, fazendo a interligação do pino 30 ao pino 87, que antes de ser ativado estava ligado ao pino 87a.

A ativação do relê, que é feito através do pino 85 e 86, se dá por meio de uma bobina interna. Quando essa bobina é polarizada o relê é acionado.

Para deixar estritamente claro, a tabela 1 resume perfeitamente a funcionalidade de cada pino e nome popular.

1 - Tabela de Pinagem do Relé

Pino	Nome Popular	Função
85	Bobina	Terminal para acionamento da bobina
86	Bobina	Terminal para acionamento da bobina
30	Comum	Entrada principal de corrente (vai para o disposto que será ligado)
87	Normalmente aberto	Conectado ao pino 30 quando o relê está ativado
87a	Normalmente fechado	Conectado ao pino 30 quando o relê está desativado

Fonte: autoria própria.

3.6 MOTOR DO VIDRO ELÉTRICO

O sistema de acionamento elétrico de vidros automotivos é uma evolução direta do mecanismo manual operado por manivela, utilizando os mesmos princípios mecânicos de transmissão de movimento, mas com a vantagem de proporcionar maior conforto e praticidade aos ocupantes do veículo. Nesse sistema, o vidro é movimentado por um conjunto composto por um braço articulado ligado a um suporte fixado na base do vidro. Esse suporte, por sua vez, está conectado a uma haste que através do cabo de aço se conecta ao motor elétrico de corrente contínua.

O motor utilizado é reversível, o que significa que ele pode girar em dois sentidos distintos dependendo da polaridade da tensão elétrica aplicada aos seus terminais. Quando a polaridade é invertida, o sentido de rotação do motor também se inverte, permitindo que o vidro seja movimentado tanto para cima quanto para baixo. Essa reversibilidade dispensa a necessidade de mecanismos complexos de comutação mecânica, simplificando o projeto e reduzindo o desgaste.

Embora existam sistemas onde o controle de polaridade seja feito diretamente por meio de interruptores duplos (comutadores de dois polos), muitos veículos adotam

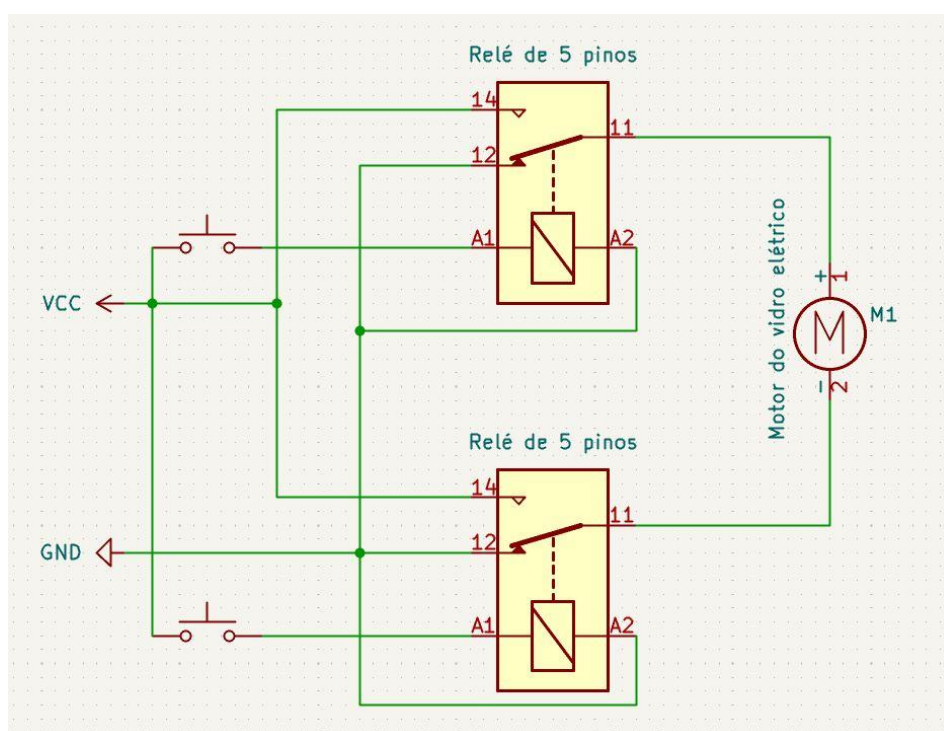
o uso de relés automotivos, especialmente relés SPDT (*Single Pole Double Throw*) de 5 pinos. Esses relés permitem a construção de um circuito em ponte H, o que garante uma comutação segura e eficiente da polaridade do motor, além de permitir proteção contra sobrecargas ou acionamentos simultâneos incorretos.

O controle elétrico do sistema é feito por meio de botões, conectados ao circuito de alimentação do motor com 12V. Ao pressionar o botão para subir ou descer o vidro, os relés (ou o próprio interruptor) atuam invertendo a polaridade da corrente no motor, que então aciona a engrenagem acoplada ao cabo de aço. Essa engrenagem converte o movimento rotacional do motor em um movimento linear que é transmitido ao braço articulado e, por fim, ao vidro, promovendo sua elevação ou descida.

Além de conforto, esse sistema também pode ser integrado a módulos eletrônicos mais sofisticados, como temporizadores, sensores de fim de curso, proteção contra esmagamento e até sistemas de controle remoto, como o fechamento automático dos vidros ao travar o carro. Esses recursos aumentam a segurança e a comodidade dos ocupantes e demonstram como um sistema originalmente mecânico pode ser aprimorado com a integração da eletrônica.

A figura 13 ilustra o circuito ponte H anteriormente citado.

Figura 13 - Ponte H



Fonte: autoria própria

A figura 14 ilustra a máquina de vidro elétrico juntamente com as demais estruturas necessárias que engloba o mecanismo que faz o vidro se deslocar.

Figura 14 - Máquina de Vidro Elétrico



Fonte: (Msam, 2025).

3.7 SOLENOIDE DE TRAVA ELÉTRICA PARA ACIONAMENTO DE FECHADURA

O solenoide de trava elétrica é um componente essencial nos sistemas modernos de travamento centralizado dos veículos, substituindo a tradicional ação manual de levantar ou abaixar os pinos das portas. Seu funcionamento é baseado em um pequeno motor de corrente contínua alojado dentro de um atuador, que transforma o movimento rotacional do motor em movimento linear. Esse movimento linear empurra ou puxa o mecanismo interno da fechadura, realizando a ação de travar ou destravar a porta (CARS, 2025).

Diferente de um simples interruptor manual, o sistema de trava elétrica pode ser ativado eletronicamente por diversos meios: controle remoto, chave do veículo, botão interno ou até mesmo sensores de presença em veículos mais modernos. Quando o motorista aciona o controle, uma unidade de comando envia tensão elétrica a solenoide da trava, cuja polaridade determina a direção do movimento, assim como

no sistema de vidro elétrico. Uma polaridade gera o movimento de travar as portas, e a polaridade oposta inverte o sentido, destravando-as.

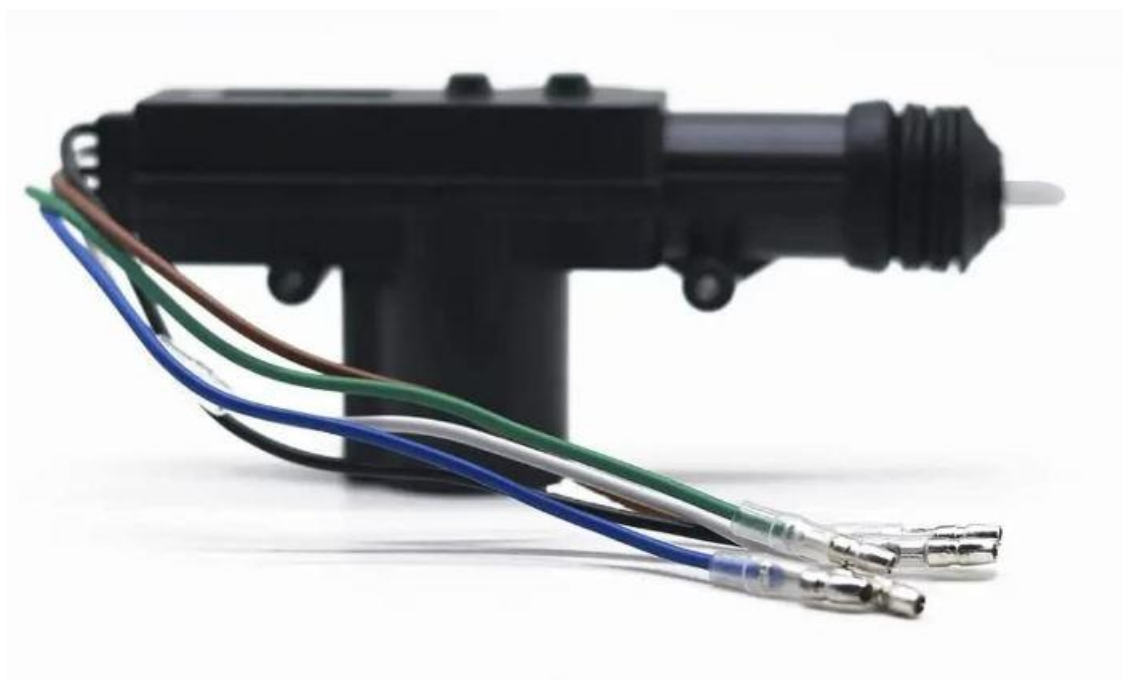
A estrutura interna do atuador geralmente inclui um sistema de engrenagens redutoras para aumentar a força do motor, garantindo que ele consiga movimentar o mecanismo de trava com eficiência, mesmo em condições de baixa temperatura ou desgaste. Alguns modelos possuem dois fios apenas, para controle simples via inversão de polaridade, enquanto outros, chamados de atuadores mestres, possuem mais fios, geralmente cinco, além de possuírem um interruptor interno que também envia sinal para controlar as outras portas do veículo, possibilitando um travamento central sincronizado.

Esse sistema pode ser ainda mais sofisticado com a integração de centrais eletrônicas, permitindo o acionamento automático das travas em determinadas condições, como quando o carro atinge determinada velocidade ou ao ligar a ignição. Em termos de segurança, ele pode ser combinado com alarmes, sensores de intrusão e bloqueios automáticos, tornando a intervenção manual desnecessária em muitas situações e protegendo os ocupantes de acessos indesejados.

No projeto em pauta, o solenoide será utilizado para deslocar a maçaneta do veículo, realizando a abertura. A força das molas da própria maçaneta mantém o solenoide com sua haste esticada, portanto será necessário apenas mandar um sinal de 12V para contrair a haste do solenoide, realizando um movimento semelhante a puxar a maçaneta do carro. O solenoide será conectado a maçaneta através de uma peça de aço, que será vinculada as duas extremidades: solenoide e maçaneta, fazendo a conexão.

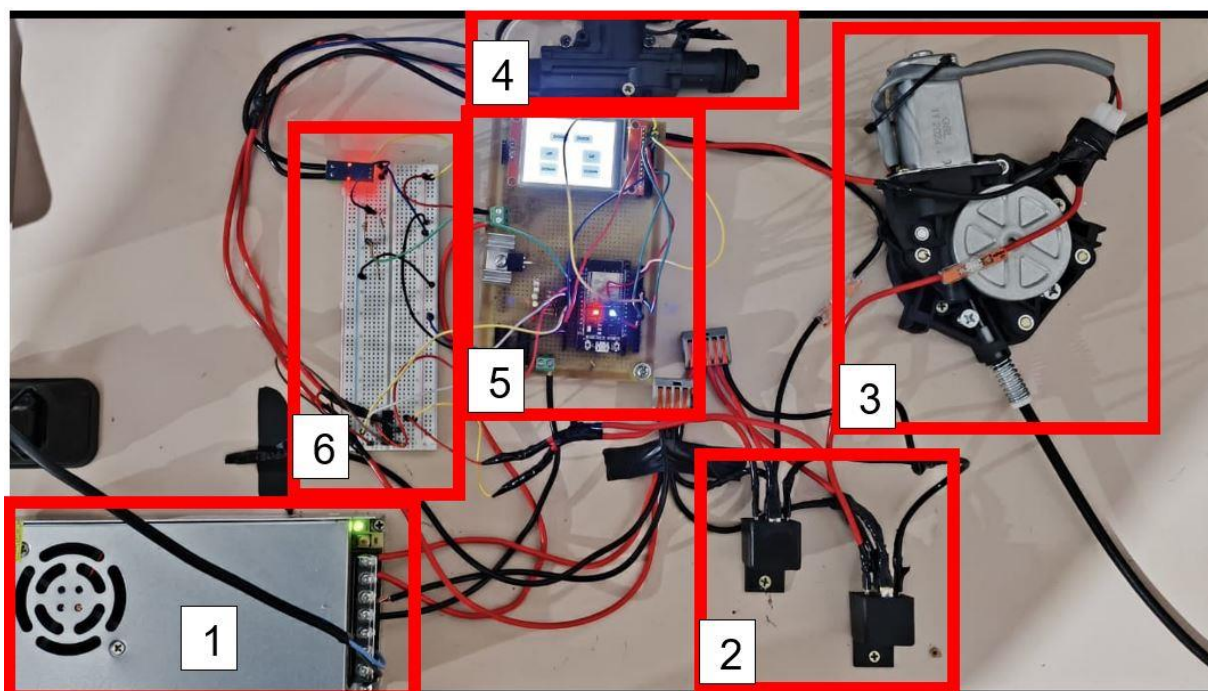
A figura 15 , trata do solenoide em questão, repare que na ponta da haste há uma peça redonda, onde é preso o aço que conecta o dispositivo com a maçaneta.

Figura 15 - Solenoide de Trava Elétrica



Fonte: (Umibaubense, 2025).

Figura 17 - Circuito



Fonte: autoria própria.

Com base na figura 17:

1. Trata da fonte chaveada de 12V. Ela é responsável por fazer a alimentação de todo o circuito. Na ocasião, ela vai fazer basicamente a função da bateria do veículo, fornecendo os 12V para os motores, para a ESP32 e os demais componentes que dependem indiretamente dela.
2. São os dois relés de cinco pinos automotivo, no capítulo 3.5 foi explicado em maiores detalhes a função dele, que resumidamente é permitir que seja feito a inversão de polaridade para que o motor gire para os dois lados, deslocando o vidro para cima e para baixo.
3. Motor do vidro elétrico, também comentado anteriormente, será alimentado com 12V para que possa entrar em funcionamento. A alimentação do motor elétrico vem dos relés que são acionados através do sinal que sai do ULN2003A.
4. Solenoide de trava elétrica, que no projeto exercerá a função de acionar a maçaneta do veículo. Ele também é acionado através do ULN2003, que manda 12V a medida que recebe 3,3V da ESP 32.

5. Placa principal. Essa placa porta o display ILI9341, a ESP32, o regulador de tensão, dissipador de calor e alguns pontos que foram colocados para fornecer GND e 5V para o restante do circuito.
6. O protoboard contém o sensor ACS712 e o circuito integrado ULN2003A. Em um futuro aprimoramento do projeto é possível passá-los para uma placa para que fique mais organizado e seguro.

3.8.1 Ligação do Display

O *display* ILI9341 é ligado diretamente a ESP32. O display é alimentado através de três pinos, sendo dois de 3,3V e um GND. Os demais pinos são para configuração de *touch screen* e das demais funcionalidades. Os pinos que não envolve alimentação são ligados de acordo com o que é parametrizado na biblioteca “TFT_SPI”, conforme figura 18.

Figura 18 - Configuração de Portas

```

212     #define TOUCH_CS 13
213     #define TFT_MISO 19
214     #define TFT_MOSI 23
215     #define TFT_SCLK 18
216     #define TFT_CS 12 /
217     #define TFT_DC 2 /
218     #define TFT_RST 4 /
219     // #define TFT_RST -1

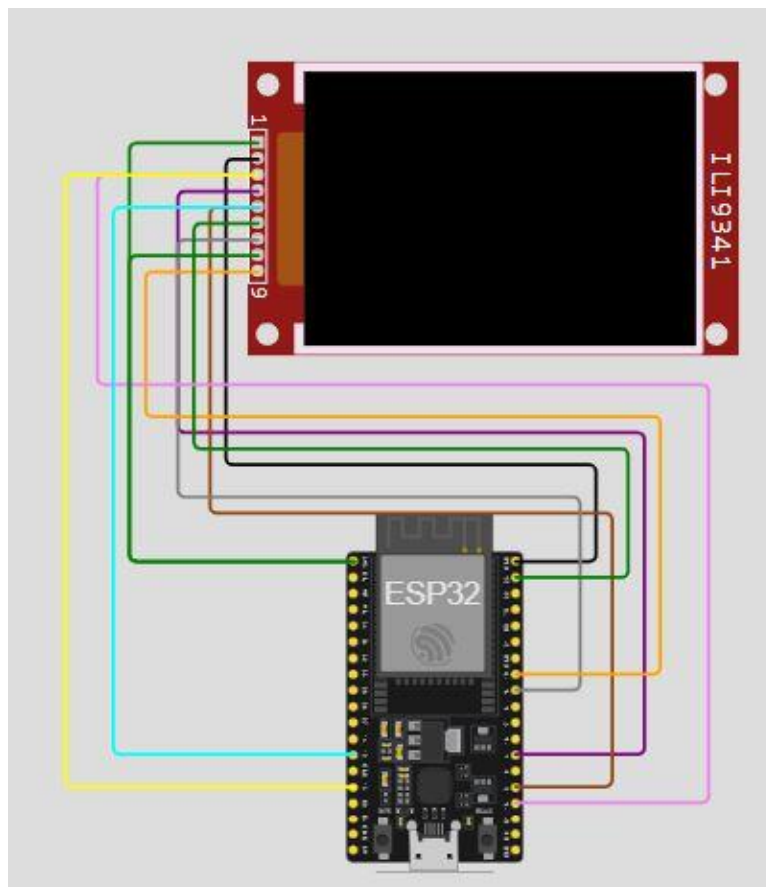
```

Fonte: autoria própria.

Os termos escritos em azul após o “define” são os mesmos termos nomeados nos pinos do *display*. Os números a direita do código se referem as portas do ESP32. Portanto, a ligação é muito simples de ser feita, basta ir seguindo o que foi pré-estipulado na biblioteca.

A figura 19 ilustra as ligações, as especificações de cada ligação esta detalhada na figura 18.

Figura 19 - Ligação Display e ESP32



Fonte: autoria própria.

3.8.2 Circuito Integrado ULN2003A

O circuito integrado ULN2003A é um componente eletrônico amplamente utilizado em sistemas de controle que exigem a comutação de cargas com correntes mais elevadas do que aquelas que os microcontroladores ou circuitos lógicos digitais podem fornecer diretamente. De acordo com o datasheet, ele atua como uma ponte de interface entre sinais de controle de baixa corrente e cargas que demandam mais energia, como motores de passo, relés, solenóides, e outros dispositivos indutivos ou resistivos.

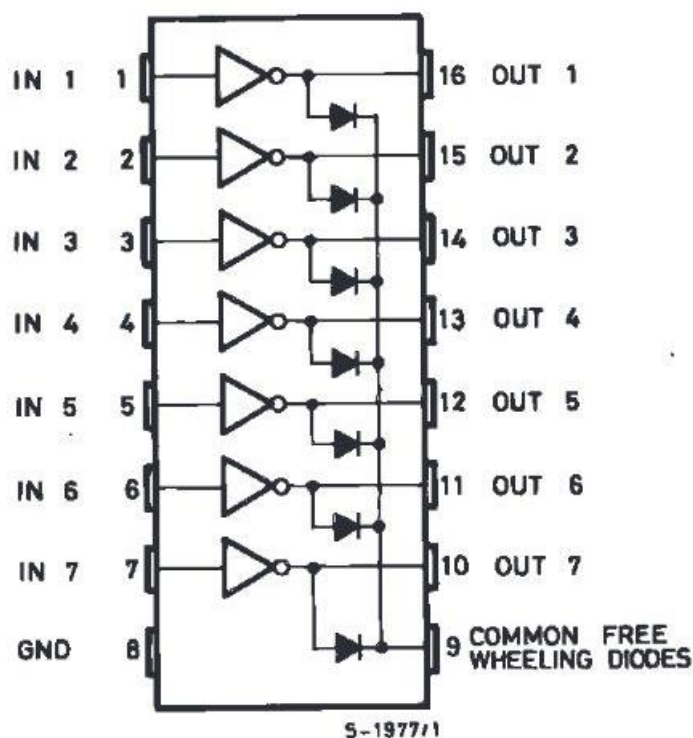
Esse CI é composto internamente por sete canais independentes de transistores *Darlington*, dispostos em uma configuração que permite amplificar o sinal de entrada fornecido por circuitos de lógica TTL ou CMOS. Cada canal funciona como um interruptor eletrônico que, ao receber um nível lógico 1 em sua entrada, conduz corrente entre o terminal de saída e o GND. Graças à estrutura *Darlington*, que consiste em dois transistores conectados em cascata, o ULN2003A consegue fornecer uma alta corrente de saída, tipicamente até 500mA por canal, com picos de até 600mA, mesmo com uma corrente de entrada muito baixa.

O funcionamento do ULN2003A é simples: os sinais de controle são aplicados às entradas pinos 1 a 7, e as cargas são conectadas às saídas correspondentes pinos 10 a 16. Quando a entrada recebe um sinal lógico alto, o transistor interno se satura, conectando a saída ao GND e permitindo que a corrente flua através da carga conectada à alimentação positiva, por exemplo, 12V. Isso o torna ideal para controlar dispositivos alimentados por tensões diferentes da lógica de controle, como o motor de vidro elétrico de 12V sendo acionados por um microcontrolador de 3V3.

Além das sete entradas e saídas, o ULN2003A possui um terminal chamado COM, pino 9, que deve ser conectado à fonte positiva da carga quando se trabalha com cargas indutivas, como motores e relés. Esse pino está internamente ligado a diodos de flyback que protegem os transistores do CI contra as sobretensões geradas pelo colapso do campo magnético dos dispositivos indutivos ao serem desligados, uma função essencial para garantir a durabilidade do circuito.

A figura 20, mostra a estrutura interna no CI e nomeia as portas do CI com números, para facilitar a indicação de cada porta.

Figura 20 - ULN2003A



Fonte: alldatasheet, 2024.

Conforme mencionado anteriormente, no pino 9 deve ser ligado a fonte positiva, que na ocasião será 12V, no pino 8, o polo negativo dessa mesma fonte. Os pinos de 1 a 7 no projeto serão acionados com 3,3V, tendo como saída 12V nos pinos 10 a 16.

Em resumo, com os 3,3V que sai do pino da ESP32 é possível usar os 12V da bateria do veículo.

3.8.3 Sensor ACS712

O ACS712 é um sensor de corrente baseado no efeito Hall, desenvolvido para medir correntes tanto contínuas (DC) quanto alternadas (AC), segundo o datasheet do componente. Ele é amplamente utilizado em projetos eletrônicos devido à sua facilidade de uso, isolamento elétrico e capacidade de medição em tempo real. Alimentado com 5V, ele fornece uma saída analógica proporcional à corrente medida. Quando não há corrente passando, sua saída fica em torno de 2,5V, e essa tensão aumenta ou diminui linearmente conforme a corrente flui no sentido positivo ou

negativo. Isso o torna adequado para detectar tanto o sentido quanto a intensidade da corrente.

Existem três modelos principais do ACS712, cada um com uma faixa diferente de medição. O modelo 30, que será usado no projeto, possui sensibilidade de 66mV/A.

O funcionamento do ACS712 se baseia na detecção do campo magnético gerado pela corrente que passa por um condutor interno. O sensor converte esse campo em um sinal elétrico proporcional usando o efeito Hall, que consiste no ato de submeter um condutor ou semicondutor com corrente elétrica a um campo magnético perpendicular ao fluxo de corrente (ALLEGRO MICRO SYSTEMS, 2024). Como a medição é indireta, o sensor oferece isolamento galvânico entre o circuito de medição e o circuito de controle, aumentando a segurança do sistema.

Este sensor é compatível com microcontrolador ESP32, embora no caso do ESP32, que trabalha com 3,3V, seja necessário cuidado adicional, já que o ACS712 opera com 5V e pode gerar tensões que excedem o limite de entrada segura do ESP32. Para evitar qualquer tipo de problema será utilizado um circuito divisor de tensão, com um resistor de 5,1k(ohms) e outro de 10k(ohms).

Figura 21 - Sensor ACS712



Fonte: (Leonardo Dutra, 2024).

Em detrimento da necessidade do uso de um circuito divisor de tensão, haverá mudanças inclusive na sensibilidade do sensor. A figura 22 ilustra os cálculos necessários.

Figura 22 - Cálculo Divisor de Tensão

$$T_{\text{desligado}} = 2,5V_{\Omega}$$

$$R1 = 5k\Omega$$

$$R2 = 10k\Omega$$

$$V_{\text{out}} = 2,5 \cdot \frac{10}{10 + 5} = 2,5 \cdot \frac{10}{15} = 2,5 \cdot 0,6667 = 1,66V$$

$$\text{Sinal atenuado em } 2/3 = 0,66$$

$$\frac{0,66 \cdot 2}{3} = 44\text{mV/A}$$

Fonte: (Leonardo Dutra, 2024).

3.8.4 Circuito regulador de tensão

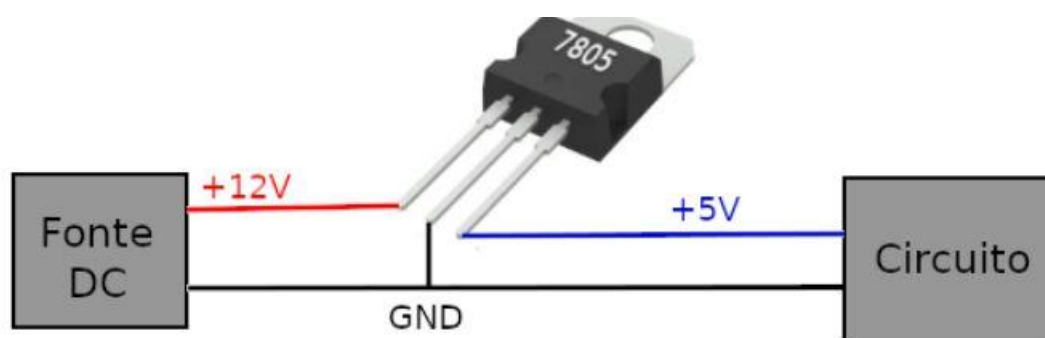
O LM7805 é um regulador de tensão linear amplamente utilizado em circuitos eletrônicos para fornecer uma saída estável de 5V a partir de uma tensão de entrada maior, entre 7V e 35V de acordo com o datasheet do componente. Ele pertence à família **78xx** de reguladores positivos, onde os dois últimos dígitos indicam a tensão de saída, no caso do 7805, 5 volts.

Esse componente é um regulador linear de três terminais, entrada, terra e saída. Seu funcionamento é simples: ao receber uma tensão maior do que 7V na entrada, ele regula essa tensão e fornece uma saída fixa de 5V com corrente máxima em torno de 1A a 1,5A, dependendo da dissipação térmica e da presença de um dissipador de calor.

O LM7805 é muito valorizado por sua facilidade de uso, baixo custo e confiabilidade. Ele contém proteções internas contra sobreaquecimento e curto-circuito, o que o torna robusto em muitas aplicações. Porém, como todo regulador linear, sua principal desvantagem é a ineficiência energética, já que o excesso de

tensão é dissipado em forma de calor. Por exemplo, se a entrada for 12V e a saída 5V com 1A de corrente, ele dissipará 7W de potência em calor, o que exige um dissipador adequado. A figura 23 ilustra o componente em pauta e sua facilidade de instalação.

Figura 23 - Regulador de Tensão LM7805



Fonte: (Celista, 2024).

3.9 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

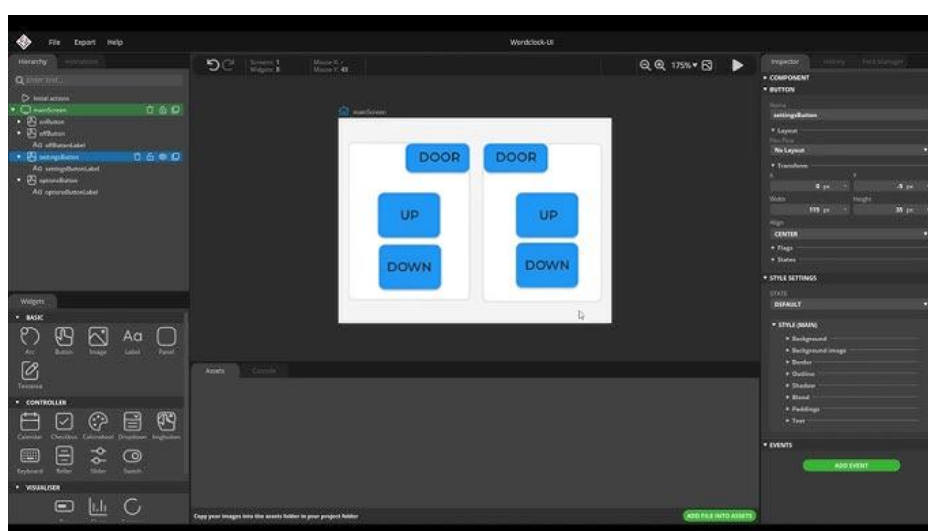
O primeiro passo tomado foi a criação da interface gráfica. Como mencionado no capítulo 3.3, a biblioteca gráfica LVGL tomará conta desta função. Para usar foi baixado o software Arduino IDE, onde é possível utilizar esta biblioteca, bem como outras que serão de suma importância para o funcionamento do dispositivo. A seguir, as principais bibliotecas utilizadas:

- LVGL.h: serve para criar interfaces gráficas. Ela permite desenhar botões, *sliders*, gráficos, textos e outros elementos visuais interativos em telas com ou sem *touch screen*.
- TFT_eSPI.h: usada para controlar o display TFT ILI9341, permitindo desenhar textos, imagens, formas e gráficos em telas coloridas. Ela é otimizada para o microcontrolador que será utilizado, ESP32.
- XPT2046_Touchscreen.h: é usada para ler os toques na tela, permitindo detectar a posição.
- Arduino.h: fornece os recursos básicos da linguagem Arduino, como comandos de entrada/saída, controle de tempo e funções auxiliares, sendo essencial para o programa nesta ocasião.

Dito isso, após a inclusão das bibliotecas necessárias, o restante do programa principal se resume a pequenas configurações, como por exemplo, configuração da tela, configurando o sentido de rotação e a calibração do *touch screen*, definição de pinos de saída, inicialização de bibliotecas, entre outros detalhes. Toda parte gráfica é comandada pelos arquivos “.c” e “.h” gerados no formato em que o LVGL trabalha. Para gerar esses arquivos, conforme dito no capítulo 3.4, foi utilizado o software *SquareLine*, não que seja algo obrigatório, mas esta ferramenta ajuda muito. Na ocasião de desenvolvimento de forma completamente manual, basta ir desenvolvendo o programa em C conforme padrão do LVGL. No *SquareLine*, obtém-se o programa dividido em arquivos, conforme mencionado.

A figura 24 ilustra o trabalho realizado no software em questão.

Figura 24 - Desenvolvimento da Tela



Fonte: autoria própria.

Como dito anteriormente, essa ferramenta facilita muito o trabalho. Após utilizar os recursos fornecidos por ela pra criação da interface, basta realização a exportação. Após a exportação, incluir os arquivos gerados no programa e fazer a configuração. Para exemplificar é válido trazer em pauta um exemplo, conforme figura 25.

Figura 25 - Programação dos Botões

```

27 {
28     lv_event_code_t code = lv_event_get_code(e);
29
30     if (code == LV_EVENT_PRESSED) {
31         // Quando o botão é pressionado, envia HIGH para a porta 33
32         digitalWrite(33, HIGH);
33     } else if (code == LV_EVENT_RELEASED)
34     {
35         // Quando o botão é solto, envia LOW para a porta 33
36         digitalWrite(33, LOW);
37     }
38 }
39
40 void vidro_dir_up(lv_event_t * e)
41 {
42     // Your code here
43 }
44

```

Fonte: autoria própria.

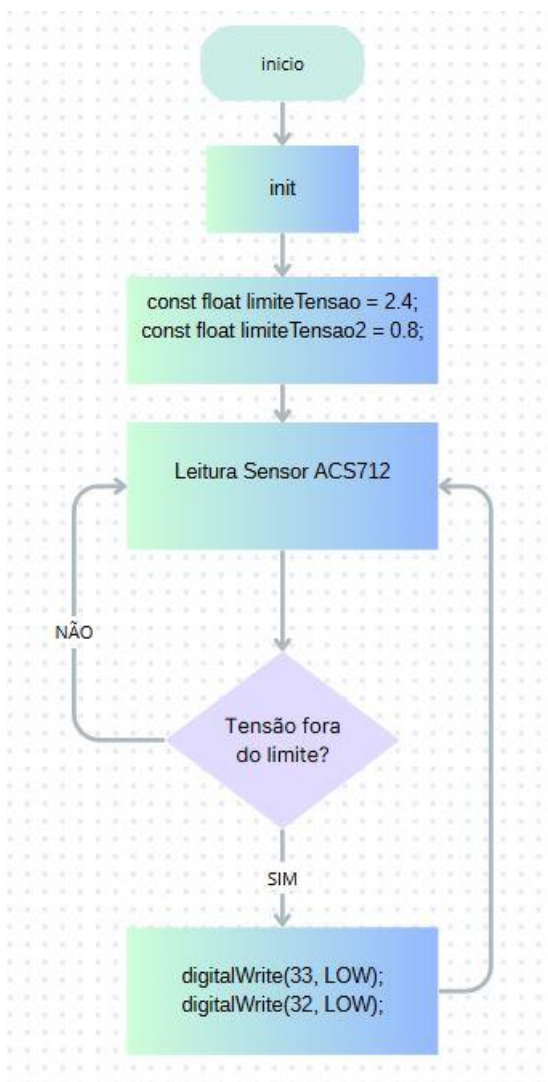
Conforme ilustrado na figura 25, as linhas 40-43 representam o código no formato que vem da plataforma *SquareLine*, e as linhas 26-38 o código já configurado para exercer uma função. Resumindo, a exportação traz a base do programa, basta usar essa base para executar as tarefas desejadas para atender a finalidade do projeto.

Feito isso, basta compilar no Arduino IDE o código e mandar para o microcontrolador, ESP32.

3.9.1 Fluxograma

Para resumir o funcionamento do programa foi desenvolvido um fluxograma que define o funcionamento dos botões que aparecem na interface gráfica, figura 26.

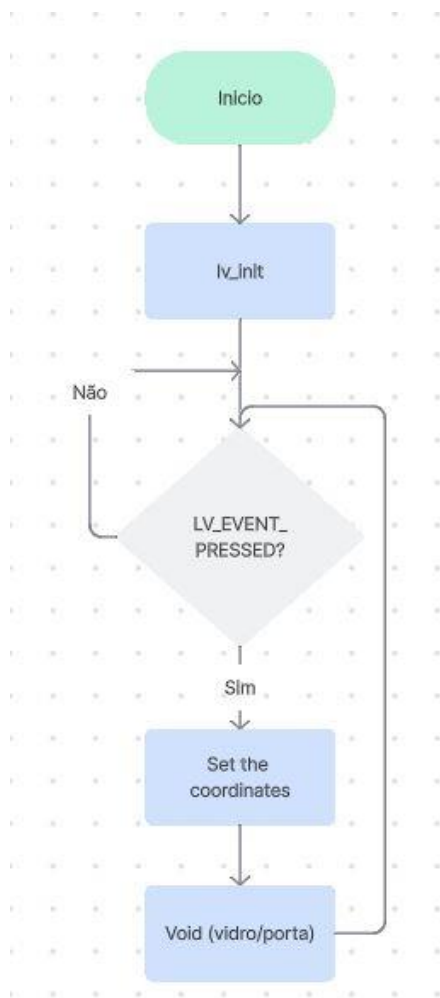
Figura 26 - Fluxograma dos Botões



Fonte: autoria própria.

Outro fluxograma importante é o fluxograma da interrupção para funcionamento do sensor de corrente. Na prática, o sensor fica monitorando a corrente do circuito, quando passa de um limite pré-estipulado é feito a desligamento das saídas que envolvem o circuito, levando-as para “LOW”. Conforme figura 27.

Figura 27 - Fluxograma Interrupção



Fonte: autoria própria.

Conforme o fluxograma indica, é estipulado limites de tensão para o sistema operar. Os limites são estabelecidos em tensão porque é a unidade de medida utilizado pelo sensor. Após isso é feito a leitura do sensor através do pino 34 da ESP32, que é um dos pinos analógicos que o microcontrolador possui. A leitura é questionada, se tiver dentro do limite não há interrupção, caso não esteja dentro do limite, as portas 33 e 32 da ESP 32 são levadas a “LOW”, interrompendo o deslocamento do vidro elétrico.

4 TESTES REALIZADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo apresenta os testes realizados durante o desenvolvimento, organizados em dois tópicos distintos. Também são discutidos os resultados obtidos ao longo do processo, até a consolidação da versão atual do projeto.

4.1 AVALIAÇÃO GERAL

A grosso modo, o dispositivo funcionou bem. O sistema de proteção feito através do sensor ACS712 e lógica de programação ficou bem adequado, ao chegar no fim de curso a corrente sobe e o sistema desliga as saídas. É útil também para casos de esmagamento, da mesma forma a corrente do circuito irá subir, fazendo com que o sistema seja desativado.

Na usabilidade, o display exerce a maior parte de influência no conforto de uso do sistema, e nisso acaba sendo afetado negativamente. O display para o protótipo projetado atende bem, mas para uso no cotidiano no veículo acaba sendo muito limitado, ainda mais considerando a ideia de ampliar as funcionalidades do sistema. Além de pequeno, a tecnologia do *touch screen* não agrada a experiência do usuário. Por ser resistiva acaba sendo limitada no que diz respeito a sensibilidade e também a possibilidade de múltiplos toques na tela. Entretanto, esses fatores negativos foram importantes para manter a viabilidade do projeto em si, em questão de custo e facilidade de manuseio.

4.2 AVALIAÇÃO TÉCNICA

O ponto crítico deste trabalho gira em torno da corrente. A tensão do circuito é muito simples e objetiva, fonte com aproximadamente 12V, ESP32 emitindo sinais de 3,3V para alimentar o display e acionar o ULN2003 e o regulador de tensão baixando a tensão de 12V da fonte para 5V que alimenta a ESP32 e o sensor ACS712.

Entretanto, como mencionado, a corrente foi o principal parâmetro analisado, especialmente a corrente que circula no circuito do vidro elétrico.

Esta corrente é de suma importância, pois através dela é possível ter um motor que se desloca de forma rápida ou lenta. Além disso, a medida que o motor chega no curso final, ou então é interrompido por algum motivo, a corrente do circuito tende a subir. Esse aumento da corrente pode acabar sendo algo perigoso para o próprio circuito e para os equipamentos que fazem parte dele.

Portanto, a corrente deve ser controlada, de modo que seja alta o suficiente para deslocar a máquina para cima e para baixo sem causar risco ao circuito.

Por este motivo foi instalado o sensor ACS712, que por sua vez monitora a corrente e a informa através de tensão. A seguir, algumas medições feitas na escala de tensão no ACS712 e o cálculo para conversão em amperagem, além de medições realizadas para entender o tempo de acionamento dos motores.

4.2.1 Medição de Corrente sem Divisor de Tensão

A medição da tensão é feita de forma simples. Basta colocar uma ponta de prova na saída do sinal do sensor ACS712 e a outra ponta de prova no GND comum. Após medição é só fazer o cálculo convertendo para corrente o dado que é medido em tensão no sensor. A figura 28 ilustra o que foi descrito.

Figura 28 - Medições sem Divisor de Tensão



Tensão do sistema desligado = 2,5V = 0A

$$\text{Atrabalho} = \frac{2,75\text{V} - 2,5\text{V}}{0,066\text{V/A}} = 3,79\text{A}$$

$$\text{Atravado} = \frac{3,73\text{V} - 2,5\text{V}}{0,066\text{V/A}} = 18,64\text{A}$$

Fonte: autoria própria.

4.2.2 Medição de Corrente com Divisor de Tensão

O procedimento de medição é o mesmo, mas na ocasião é feito a medição com o circuito divisor de tensão. Desta vez a tensão sempre será menor, mas na conversão do dado em corrente é praticamente o mesmo. A pequena variação que há é por conta de questões como momento de amostragem.

Figura 29 - Medições sem Divisor de Tensão



Tensão do sistema desligado = 1,66V = 0A

$$\text{Atrabalho} = \frac{1,83\text{V} - 1,66\text{V}}{0,044\text{V/A}} = 3,86\text{A}$$

$$\text{Atravado} = \frac{2,52\text{V} - 1,66\text{V}}{0,044\text{V/A}} = 19,54\text{A}$$

Fonte: autoria própria.

4.2.3 Medição da Corrente no Circuito do solenoide de Trava Elétrica

Além da corrente no circuito do vidro elétrico, também foi medido a corrente no circuito do solenoide da trava elétrica. Diferente do método usado para medir a corrente no circuito do vidro elétrico, neste caso a medição foi realizada diretamente no multímetro, na função que mede amperagem, de acordo com figura 30.

Figura 30 - Corrente Solenoide de Trava Elétrica



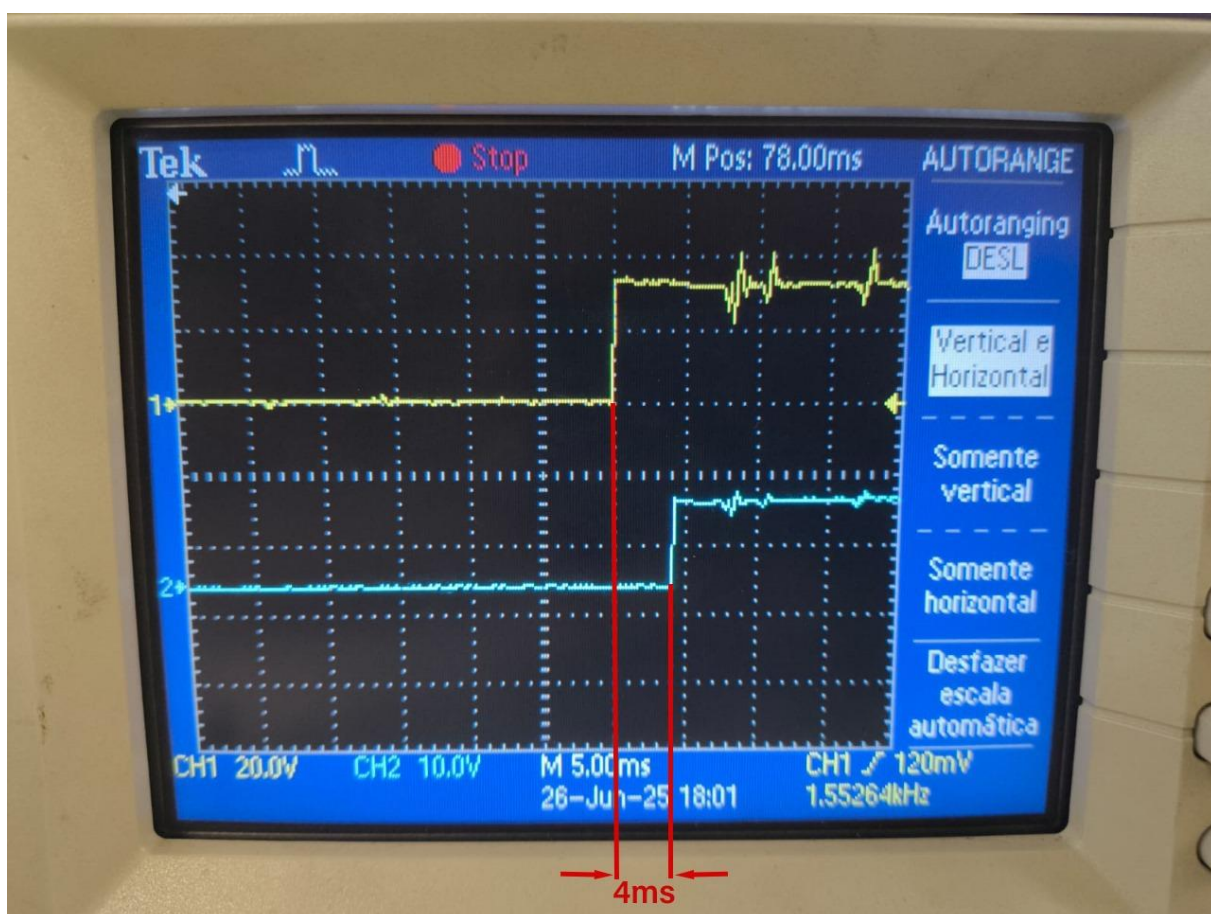
Fonte: autoria própria

Através da medição realizada podemos concluir que a corrente de consumo do circuito do solenoide de trava de porta é igual a 4,85A

4.2.3 Tempo de Acionamento do Motor do Vidro Elétrico

O tempo de acionamento é muito importante e influencia diretamente a experiência do usuário. Se ele for muito alto, a sensação de *delay* pode causar incomodo e dependendo até dificultar o uso do dispositivo. A figura 31 ilustra a tela do osciloscópio utilizado para realizar as medições.

Figura 31 - Tempo de acionamento Motor do Vidro Elétrico



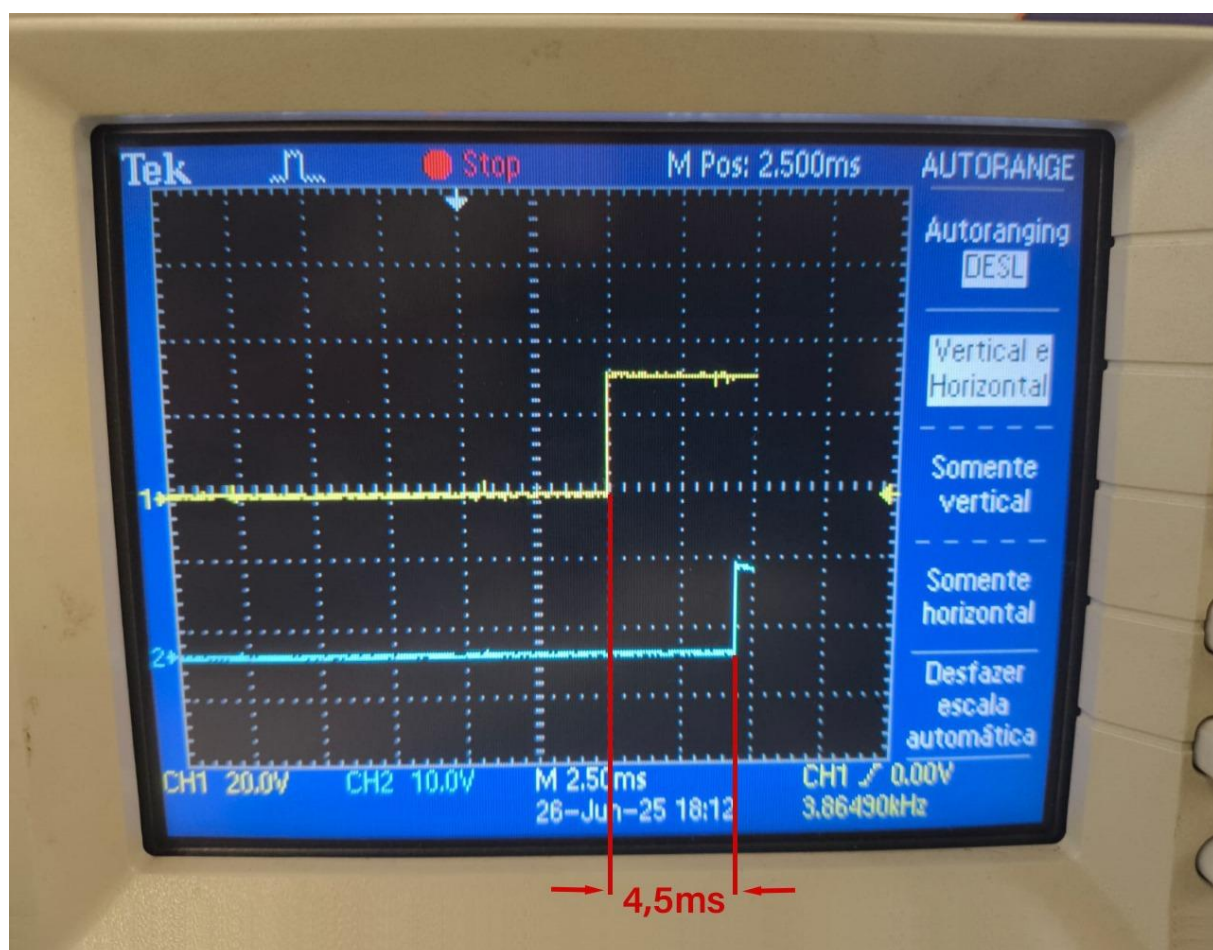
Fonte: autoria própria

Conforme figura 31, a linha em amarelo se trata do sinal que vem do pino de acionamento, e a linha de cor azul, sinal do motor levantador de vidro elétrico. Realizando a leitura, 4 milissegundos é o tempo de acionamento. Resultado muito bom, sensação de *delay* na usabilidade é imperceptível.

4.2.3 Tempo de Acionamento da Solenoide de Trava de Porta

O mesmo procedimento descrito anteriormente foi realizado no solenoide de trava de porta, desta vez, uma ponta de prova vai no pino acionador e outra no solenoide de trava de porta. A figura 32 ilustra o resultado obtido.

Figura 32 - Tempo de Acionamento do Solenoide Trava de Porta



Fonte: autoria própria

Realizando a leitura da figura 32, obtém-se 4,5 milissegundos de acionamento do solenoide da trava de porta. Resultado muito bom, sensação de atraso para o usuário é imperceptível

5 CONCLUSÃO

Com base na pesquisa realizada e no projeto desenvolvido, conclui-se que é completamente possível executar controles no geral através da tela touch screen e uma estrutura formada por um microcontrolador ESP32, relés, circuito integrado ULN2003A, e os demais componentes utilizados.

O Display ILI9341 acabou limitando o projeto no que diz respeito a experiência do usuário e dimensões, entretanto pode ser substituído por um display maior e que aceite mais de um toque ao mesmo tempo na tela.

A biblioteca LVGL foi muito útil para o projeto, simplesmente facilitou muito e de forma prática proporcionou uma interface gráfica satisfatória. Claramente existe a possibilidade de explorar muito mais a ferramenta, incluindo novas páginas com funcionalidades distintas e aprimorando a imagem de fundo também.

Para finalizar, muito importante foi a corrente que foi possível fornecer ao motor do vidro elétrico. Para um funcionamento adequado, pois com uma corrente baixa a tendência é que o motor se desloque de forma lenta. Além de proporcionar uma corrente adequada também foi possível controlar sua intensidade através do sensor de corrente ACS712, que com o código em C consegue limitar a corrente para os dois sentidos de rotação do motor. O mesmo serviu para o solenoide, que também consumiu uma corrente que proporcionou um funcionamento interessante.

6 PROPOSTAS FUTURAS

Este capítulo apresenta algumas sugestões de aprimoramento para o projeto, abrangendo tanto aspectos de software quanto de hardware:

- Troca de display por um que seja maior, mantendo a funcionalidade do touchscreen.
- Expansão de funcionalidades, incluindo primeiramente funcionalidades que envolve conforto e conveniência e posteriormente entrar na área do *powertrain*.
- Incluir sistema de rádio para tornar possível realizar alguns controles fora do carro, como abrir a porta, ligar o ar condicionado, abrir os vidros, entre outras funcionalidades que são pertinentes.
- Criar um aplicativo para que seja possível controlar alguns equipamentos através do celular.

REFERÊNCIAS

ADAFruit. A-Si TFT LCD driver de chip único resolução 240RGBx320 e especificação de cores 262K. Disponível em: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ILI9341.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2024.

ALLAFI I.; Iqbal T., Design and Implementation of a Low Cost Web Server Using ESP32 for Real-Time Photovoltaic System Monitoring, IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), pg. 1 – 5, 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8286184>>. Acesso em jun. 2025.

ALLEGRO MICRO SYSTEMS. ACS712 – Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.4 kVRMS Isolation. Manchester, NH: Allegro MicroSystems, 2024. Disponível em: <https://www.allegromicro.com/en/products/current-sensor-ics/fixed-gain-linear/acs712>. Acesso em: 25 jun. 2025.

ARAUJO, André; VASCONCELLOS, Pedro. BLE | bluetooth low energy. 21 fev. 2012. Disponível em: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2012_2/bluetooth/ble.htm. Acesso em: 9 jul. 2024.

CARS.COM. Power door lock actuator. Disponível em: <https://www.cars.com/auto-repair/glossary/power-door-lock-actuator/>. Acesso em: 25 jun. 2025.

CIRCUITS4YOU. ESP32 DevKit ESP32-WROOM GPIO Pinout. 2018. Disponível em: <https://circuits4you.com/2018/12/31/esp32-devkit-esp32-wroom-gpio-pinout/>. Acesso em: 6 jun. 2024.

DUTRALEO. Sensor de corrente ACS712-30A. 29 jan. 2013. Disponível em: <https://dutraleo.wordpress.com/2013/01/29/sensor-de-corrente-ac712-30a/>. Acesso em: 31 maio 2025.

ELETRONICLAB. Ligação de relé 5 pinos. Disponível em: <https://eletroniclab.com.br/ligacao-rele-5-pinos/>. Acesso em: 29 maio 2025.

ELETRÔNICA UMBAUBENSE. Motor para trava elétrica com 02 fios. Disponível em: <https://www.eletronicaumbaubense.com.br/motor-para-trava-eletrica-com-02-fios>. Acesso em: 31 maio 2025.

ELETROGATE. Disponível em: <https://www.eletrogate.com>. Acesso em: 15 jun. 2024.

ESPRESSIF. Folha de dados da série ESP32. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 6 jun. 2024.

FAIRCHILD; ON-SEMI. LM7805 – 5 V, 1 A positive voltage regulator; input 7 V–35 V. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/25575/STMICROELECTRONICS/ULN2003.html>. Acesso em: jun. 2025.

GUEDES E MIRANDA AUTOPEÇAS. Marcador de combustível Fusca 1981 em diante. Disponível em: <https://guedesemiranda.com.br/produto/marcador-de-combustivel-fusca-1981-em-diante/>. Acesso em: 28 jun. 2025.

ISO. ISO 26262: Road vehicles – Functional safety. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/68409.html>. Acesso em: 25 jun. 2025.

KESSELS, C. O problema com grupos de instrumentos digitais e como projetar um melhor. Disponível em: <https://www.theturnsignalblog.com/the-problem-with-digital-instrument-clusters-and-how-to-design-a-better-one/>. Acesso em: 20 maio 2024.

LVGL. Introdução — Documentação LVGL. Disponível em: <https://docs.lvgl.io/master/intro/index.html>. Acesso em: 6 jun. 2024.

MAIER A.; SHARP A.; VAGAPOV Y. Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32 Microcontroller Module for the Internet of Things, Internet Technologies and Applications (ITA), pg. 143 – 148, 2017. Disponível em:

<<https://ieeexplore.ieee.org/document/8101926>>. Acesso em: jun 2025.

MAKER.IO (DIGIKEY). How to design an embedded electronics functional user interface with SquareLine Studio. 19 jun. 2023. Disponível em: <https://www.digikey.com/en/maker/projects/how-to-design-an-embedded-electronics-functional-user-interface-with-squareline-studio>. Acesso em: 25 jun. 2025.

MASCHIO, A. D.; PAIVA, R. Painel de instrumento didático. [S.l.]: [s.n.], [s.d.].

MSAM. Máquina de vidro elétrica Zinni e Guell R4403E24V. Disponível em: <https://www.msam.com.br/produto/zinni-e-guell-r4403e24v-maquina-vidro-le-vw-novo-delivery-express-4150-4160-6160-9170-11180-13180-eletrica-com-motor-24v-sistema-mabuchi-z8-186904>. Acesso em: 29 maio 2025.

NUNES, L. R. Projeto e validação de software automotivo com o método de desenvolvimento baseado em modelos. [S.l.]: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

SEED STUDIO. Using LVGL and TFT on round display. Disponível em: https://wiki.seeedstudio.com/using_lvgl_and_tft_on_round_display/. Acesso em: 29 maio 2025.

SMABC. Frota brasileira continua a envelhecer e sem melhora à vista. Disponível em: <https://smabc.org.br/frota-brasileira-continua-a-envelhecer-e-sem-melhora-a-vista/>. Acesso em: 25 jun. 2025.

SOUZA, Bruno Mota de; MAIA, Leonardo Luciano de Almeida. Wi-Fi e as tecnologias emergentes para redes. 2016. [Artigo baixado no computador].

UNIDENTIFIED. TFT vs analog: are screens better than dials? Disponível em: <https://www.autodeal.com.ph/articles/car-features/tft-vs-analog-are-screens-better-dials>. Acesso em: 25 jun. 2025.

EMBEDDED.COM. Projetando um painel de instrumentos de veículo – um estudo de caso. Disponível em: <https://www.embedded.com/designing-a-vehicle-instrument-panel-clustera-case-study/>. Acesso em: 20 maio 2024.