

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
ETEC JÚLIO DE MESQUITA
CURSO TÉCNICO EM ELETRÔNICA

Daniel Germano Lima
Davi Dias Freitas Souza
Diogo Fernandes da Costa
Gabriel dos Reis
João Eduardo Marques Santos

Relatório técnico apresentado junto ao Curso Técnico em Eletrônica, da Etec Júlio de mesquita, orientada pelos Professores Egmar Accetto e Adriana Mariko Yonamine Nakatani, como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Eletrônica.

E.M.A

SANTO ANDRÉ – SP
2025

RESUMO

O projeto E.M.A. (Elétrico Mini Automóvel) se trata de uma versão menor de um veículo elétrico. Alimentado por duas baterias de moto de 12V paralelo, o projeto utiliza um motor elétrico monofásico de corrente alternada. Para realizar o funcionamento correto do mesmo, será utilizado um inversor de corrente contínua para corrente alternada, de 12V contínuo para 110V alternado. A estrutura do veículo foi feita pelo grupo manualmente e o painel foi desenvolvido usando como base o AtMega328p, com seu programa feito em linguagem C++ e com a PCB feita do zero. O projeto não tem finalidade de uso em vias públicas, sendo destinado a fins recreativos para menores de 18 anos, limitando-se a uma velocidade máxima de 32km/h.

Palavras-chaves: Veículo elétrico; inversor; AtMega328p.

ABSTRACT

The E.M.A. (Elétrico Mini Automóvel) project is a smaller version of an electric vehicle. Powered by two 12V motorcycle batteries in parallel, the project uses a single-phase alternating current electric motor. For proper operation, a direct current to alternating current inverter will be used, from 12V direct current to 110V alternating current. The vehicle's structure was handcrafted by the group, and the dashboard was developed using the AtMega328p, with its program written in C++ and the PCB built from scratch. The project is not intended for use on public roads, but is intended for recreational purposes for those under 18, with a maximum speed of 32 km/h.

Keywords: Electric vehicle; inverter; AtMega328p.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. METODOLOGIA DE PESQUISA	5
3. DESENVOLVIMENTO	7
3.1 MOTOR ELÉTRICO	7
3.2 INVERSOR DE TENSÃO DC-AC	7
3.2.1 Pesquisas iniciais	7
3.2.2 Parte lógica do inversor: Modulação PWM	8
3.2.3 Parte lógica do inversor: Ponte H e driver	10
3.2.4 Parte de potência do inversor: Filtro e transformador	14
3.2.5 Conclusão do inversor	15
3.3 ESTRUTURA DO VEÍCULO	16
3.4 PAINÉL DO VEÍCULO	17
3.4.1 Prototipagem e simulação	17
3.4.2 Projeto da PCB	19
3.4.3 Confeção da PCB	20
3.4.4 Gravação do programa no ATmega328p	25
3.4.5 Sensor Hall no Sistema de Medição de Velocidade	25
4. CUSTOS	26
5. CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	28
APÊNDICE	28

1. INTRODUÇÃO

Com a evolução da tecnologia, na qual a tendência é a utilização de energias renováveis e limpas, um dos setores que mais procuram investir nesse aspecto é o automobilístico. No mundo todo, inclusive nos países que mais produzem avanços tecnológicos como os EUA e a China, percebe-se cada vez mais desenvolvimento de veículos elétricos. Diferente dos automóveis tradicionais, com seus motores a base de combustão, uma fonte de energia não renovável, os veículos elétricos utilizam motores elétricos, ou seja, a energia utilizada por eles é limpa e muito menos prejudicial para o meio ambiente do que os veículos com motores a combustão.

Apesar da baixa presença desse tipo de tecnologia no Brasil, aos poucos, os carros elétricos vêm conseguindo seu lugar no país juntamente com mais suporte, como mais estações de carregamento. No entanto, mesmo que o Brasil seja uma referência global quanto à energia renovável, o que ainda prevalece no país é os tradicionais veículos a combustão.

No mercado interno existem poucos modelos de veículos movidos a energia renovável por falta de investimento e incentivo. Além disso, os altos custos e a escassez de estrutura adequada

Considerados os problemas acima, o projeto E.M.A. (Elétrico Mini Automóvel) visa ajudar empresas a inserir novas tecnologias no mercado visando desenvolvimento de protótipos que podem contribuir para o surgimento de inovações no ramo automotivo.

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

Iniciou-se uma busca por dados, baseado na opinião pública, as quatro perguntas foram respondidas a partir da divulgação do formulário online pelas mídias sociais, obtendo 56 respostas, sendo elas:

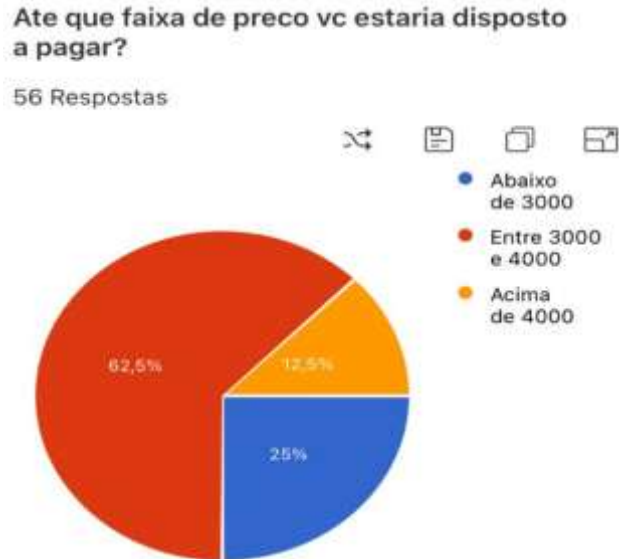


Figura 1. Gráfico representando em porcentagem as opções de faixas de preços.

Fonte: (Confeccionada pelo grupo)

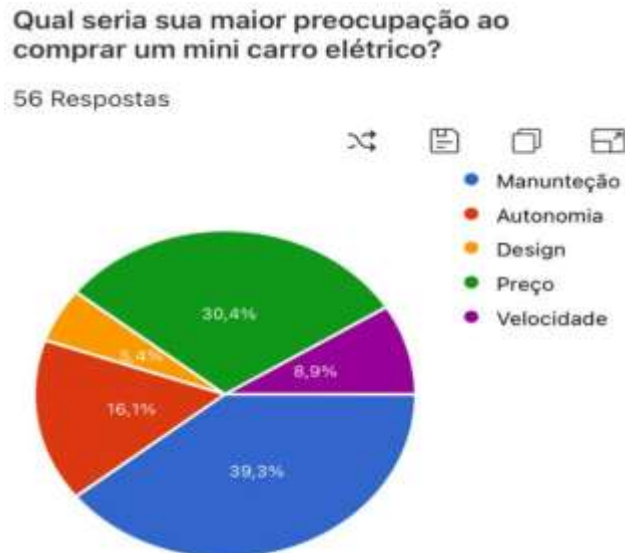


Figura 2. Gráfico representando em porcentagem as preocupações quanto a comprar um veículo elétrico

Fonte: (Confeccionada pelo grupo)

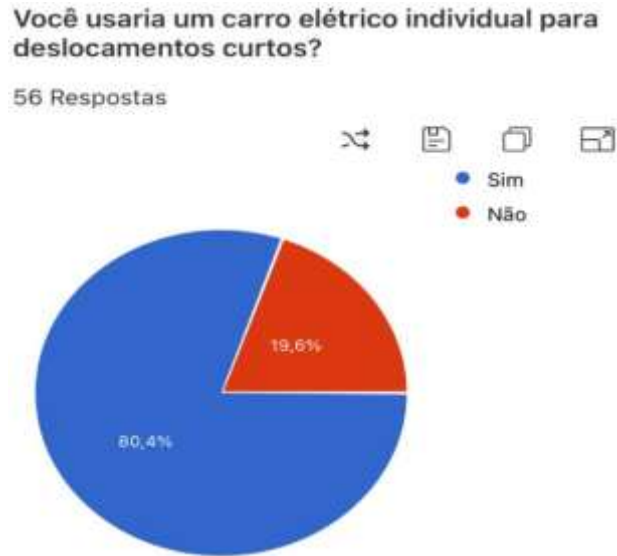


Figura 3. Gráfico representando em porcentagem se usariam nosso projeto

Fonte: (Confeccionada pelo grupo)

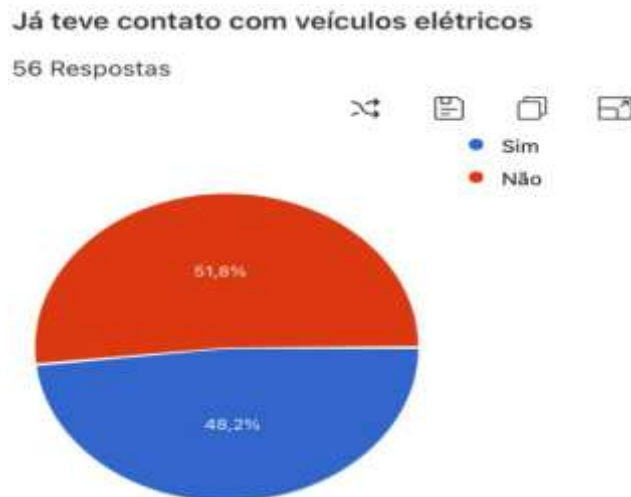


Figura 4. Gráfico representando em porcentagem se já tiveram contato com veículos elétricos

Fonte: (Confeccionada pelo grupo)

3. DESENVOLVIMENTO

No começo do projeto, o grupo analisou que materiais eles já possuíam e o que eles teriam de comprar. Com o que tinham de componentes disponíveis, o grupo foi modelando, pesquisando e planejando as seguintes partes do projeto: a do motor e seu funcionamento e a da estrutura.

3.1 MOTOR ELÉTRICO

Dentre os materiais que o grupo já possuía, estava o motor elétrico. Um motor elétrico monofásico AC de tensão de 110V e de potência de 1000W, originalmente pertencente a máquina de lavar roupas de um dos membros do grupo. Tal recurso possibilitou que nos primeiros momentos a equipe economiza-se em custos, assim fazendo com que os gastos ocorressem em outras partes do trabalho. O motor teria que ser alimentado por baterias de carro de 12V, como geralmente são, a qual um dos integrantes do grupo já possuía. Mas como baterias de automóveis são de tensão contínua, e o motor é de tensão alternada, precisaríamos converter de alguma maneira a tensão contínua da bateria em alternada para realizar a alimentação do motor.

3.2 INVERSOR DE TENSÃO DC-AC

3.2.1 Pesquisas iniciais

Contra a indicação dos orientadores de TCC, após realizarem algumas pesquisas, o grupo queria desenvolver um circuito inversor de tensão, na qual sua função seria de converter os 12V de tensão contínua da bateria em 110V de tensão alternada, para alimentar o motor. O grupo procurou tanto por trabalhos acadêmicos no Google acadêmico quanto em vídeos de canais do YouTube renomados no ensino de eletrônica, como “Professor Bairros (Pesquisar Eletrônica)” e “WR Kits”. Para um melhor funcionamento do motor, o grupo viu que seria necessário que o inversor fosse de onda completa, ao invés dos modelos mais comuns, que são de onda modificada. Com isso, para explicar o funcionamento desse tipo de circuito, é necessário dividi-lo em duas partes: uma parte lógica e uma parte de potência.

3.2.2 Parte lógica do inversor: Modulação PWM

Na parte lógica, o mais indicado é utilizar a modulação PWM (modulação por largura de pulsos). Um recurso bastante comum no ensino do curso técnico em eletrônica, conferimos diversas formas de realizar a essa modulação.

Basicamente para realiza-la é necessário fazer uma comparação entre duas ondas, uma onda de referência, sendo ela senoidal e 60Hz, por conta da frequência das redes de distribuição elétrica do Brasil serem 60Hz, e uma onda portadora com formato ou triangular ou dente serra e com uma frequência de 50kHz. A comparação entre essas duas ondas geraria um sinal PWM na qual carregaria em um sinal de alta frequência e de estados lógicos 1 (HIGH) e 0 (LOW) a informação de uma onda senoidal de 60Hz.

Para a geração dessas ondas e comparação é possível utilizar as portas DAC do ESP32, as GPIO25 e GPIO26, que possuem biblioteca e capacidade de gerar funções e realizar a comparação com o circuito integrado N555 configurado para modulação PWM, se obtém o sinal PWM desejado. O grupo também pesquisou que era possível gerar o PWM puramente por programação de microcontrolador.

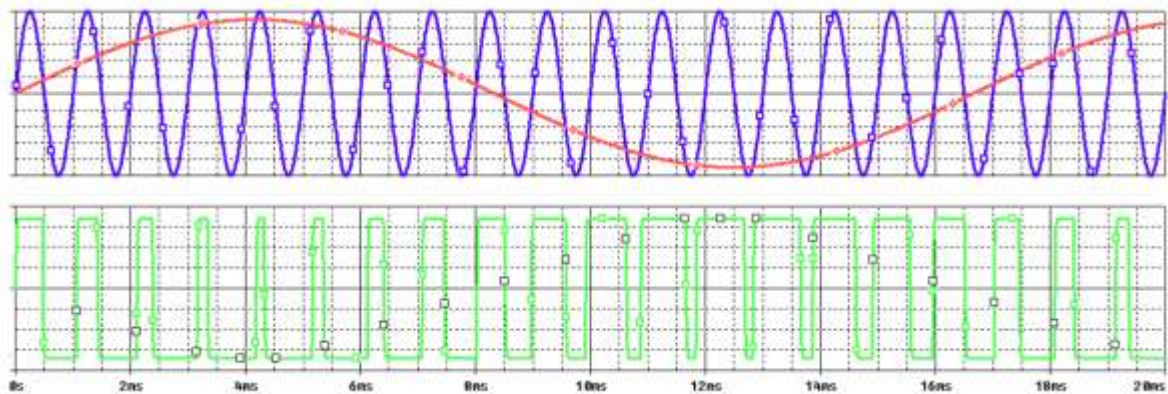


Figura 5. Visualização gráfica da modulação PWM

Fonte: (Three_Level_PWM_DC_AC_Inverter_Using_a_M.pdf)

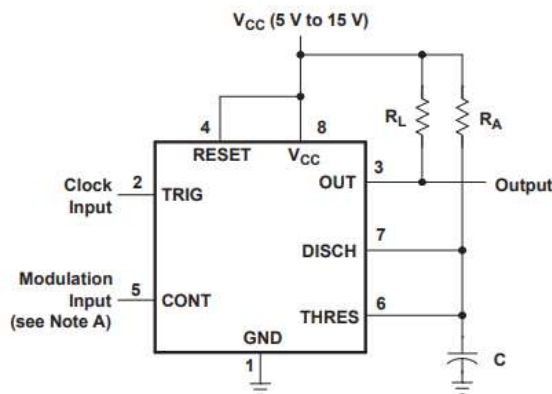


Figura 6. Demonstração da porta DAC do ESP32

Fonte: (<https://www.electronicwings.com/esp32/dac-digital-to-analog-converter-esp32>)

Pulse-Width Modulation

The operation of the timer can be modified by modulating the internal threshold and trigger voltages, which is accomplished by applying an external voltage (or current) to CONT. Figure 18 shows a circuit for pulse-width modulation. A continuous input pulse train triggers the monostable circuit, and a control signal modulates the threshold voltage. Figure 19 shows the resulting output pulse-width modulation. While a sine-wave modulation signal is shown, any wave shape could be used.



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.
NOTE A: The modulating signal can be direct or capacitively coupled to CONT. For direct coupling, the effects of modulation source voltage and impedance on the bias of the timer should be considered.

Figure 18. Circuit for Pulse-Width Modulation

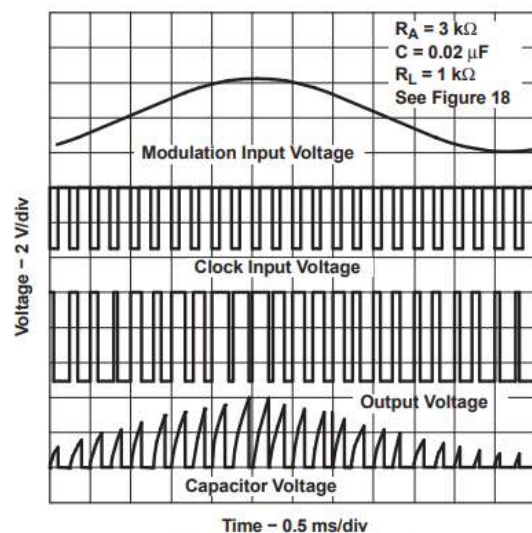


Figure 19. Pulse-Width-Modulation Waveforms

Figura 7. Informações sobre a modulação PWM do N555

Fonte: (NA555.PDF)

3.2.3 Parte lógica do inversor: Ponte H e driver

O grupo pesquisou que para obterem um sinal AC era necessário que um circuito tivesse a capacidade de gerar níveis positivo, negativo e 0 de tensão elétrica. Por isso, muitas das pesquisas recomendaram a utilização de um circuito ponte H de MOSFET.

MOSFET é um tipo de transistor que diferente dos transistores BJT, opera bem com altas tensões elétricas, altas correntes, e que diferente dos transistores IGBT, também trabalha bem em altas frequências, comuta muito bem em frequências grandes. As únicas desvantagens desse tipo de semicondutor é que ele aquece bastante, sendo necessário acoplar dissipadores de calor no MOSFET para evitar superaquecimento e a utilização de drivers específicos para o dispositivo realizar corretamente sua função.

MOSFET

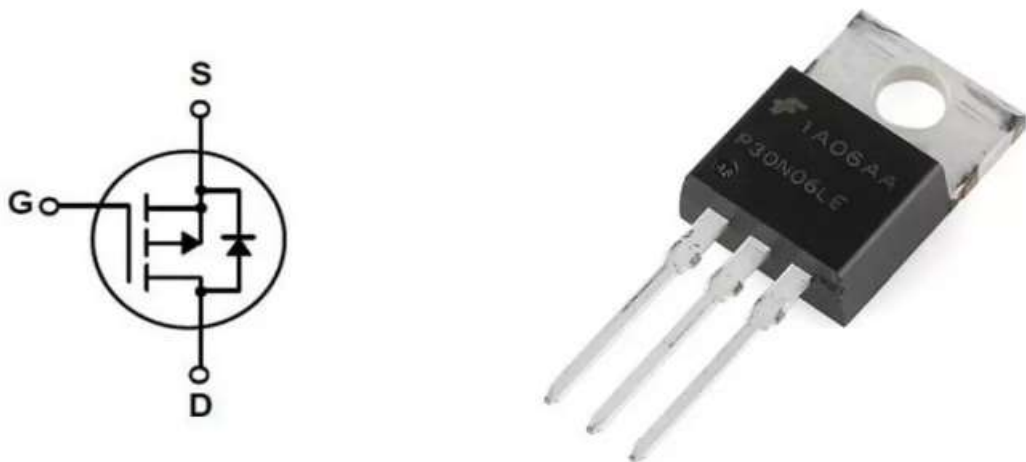


Figura 8. MOSFET, peça e simbologia para esquemas elétricos

Fonte: (<https://hilelectronic.com/pt/mosfet-testing-and-troubleshooting/>)

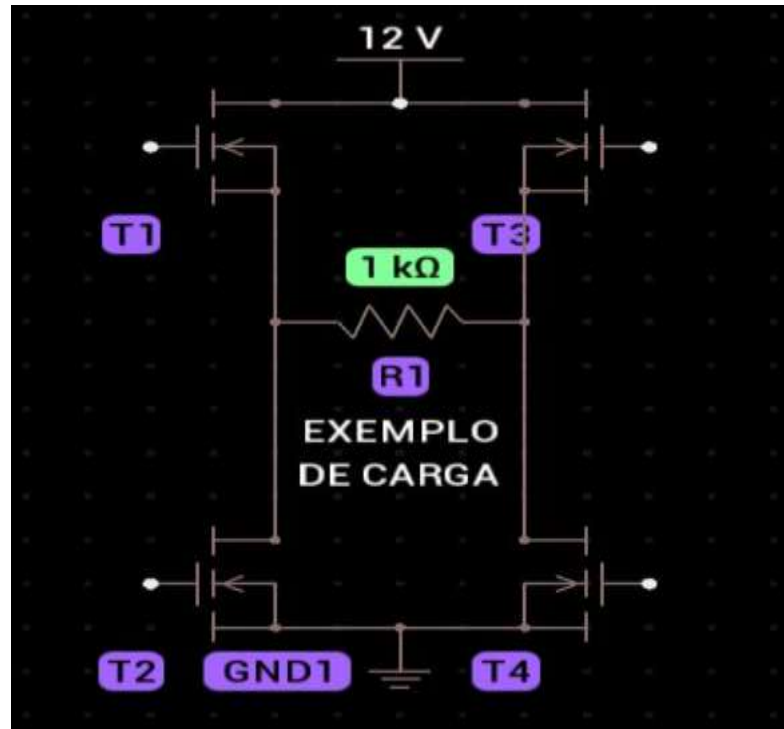


Figura 9. Exemplo de esquema elétrico do circuito da ponte H

Fonte: (Confeccionada pelo grupo)

High Side Left	High Side Right	Low Side Left	Low Side Right	Load Voltage
On	Off	Off	On	Positive
Off	On	On	Off	Negative
On	On	Off	Off	Zero
Off	Off	On	On	Zero

Figura 10. Estados lógicos dos MOSFET

Fonte: (Three_Level_PWM_DC_AC_Inverter_Using_a_M.pdf)

Como é possível perceber na tabela, que é referente ao circuito da ponte H, que é alimentado pela bateria do kart, dependendo da configuração de MOSFETs ligados e desligados, o tensão da carga pode ser positiva, negativa ou 0V. Segundo as teorias dos trabalhos pesquisados pelo grupo e utilizando o esquema da ponte H demonstrado acima, o que deve ser feito é utilizar o sinal PWM no gate de MOSFET T1, um mesmo sinal PWM mas defasado em 180° no gate do MOSFET T2, uma onda quadrada de 60Hz no MOSFET T4, e uma mesma onda quadrada mas também defasada em 180° graus no gate do MOSFET T3. Com essa combinação, o sinal obtido seria mandado para a parte de alta potencia do circuito.

No entanto, o MOSFET necessita de um driver para que seu funcionamento seja possível. Com MOSFET IRF3205, escolhemos o driver IR2110, que segundo as pesquisas, seria bem compatível com o projeto do grupo. Para uma ponte H, são necessários dois desse driver, um para cada lado da ponte. O driver IR2110 pode ser dividido em duas partes, uma lógica e uma de potência. Na parte lógica é para onde é mandado os sinais PWM e as ondas quadradas, e na parte de alta potência fica um alguns componentes passivos, entre eles um capacitor de bootstrap, responsável por realizar o funcionamento correto do gate dos MOSFETs. Para escolher o capacitor de bootstrap ideal para o driver é necessário recorrer a uma fórmula enorme, sendo que existem até tutoriais na internet de como calculá-lo.

International
IR Rectifier

PD-91279E

IRF3205

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.

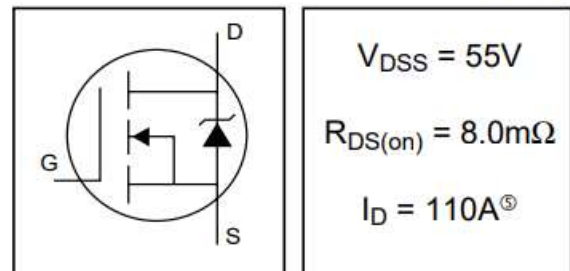


Figura 11. Informações sobre o MOSFET IRF3205

Fonte: (IRF3205.PDF)

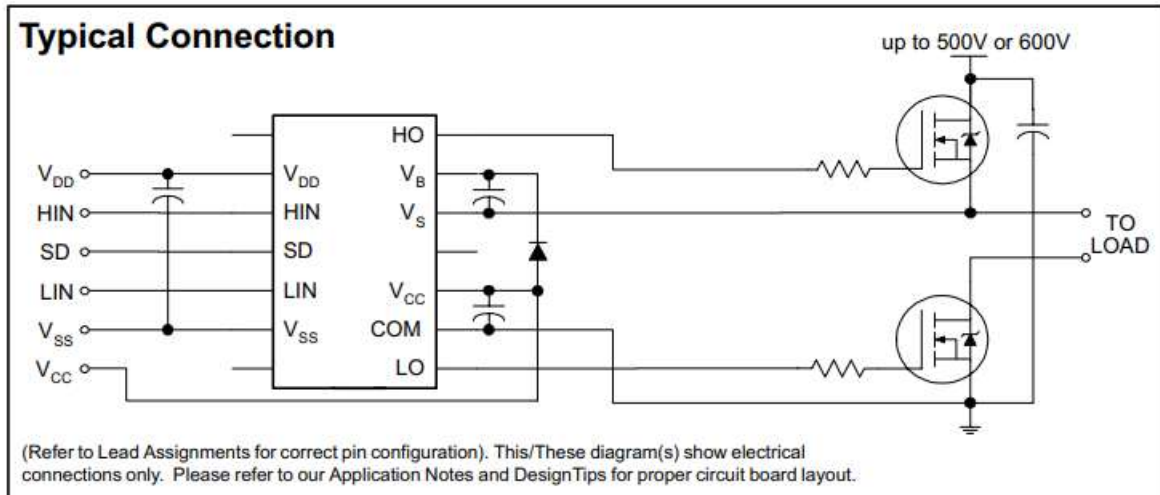


Figura 12. Esquema de montagem do driver IR2110

Fonte: (IR2110.PDF)

$$C \geq \frac{2[2Q_g + \frac{I_{qbs}}{f} + Q_{ls} + \frac{I_{cbs}}{f}]}{V_{CC} - V_f - V_{LS} - V_{Min}}$$

- Q_g = Gate Charge of High Side FET
- I_{qbs} = Quiescent current for high side driver circuitry
- Q_{ls} = Level shift charge required per cycle
- I_{cbs} = Bootstrap capacitor leakage current
- f = Frequency
- V_{CC} = Supply Voltage
- V_f = Forward voltage drop across bootstrap diode
- V_{ls} = Voltage drop across low side FET
- V_{min} = Minimum voltage between V_B and V_S

Figura 13. Fórmula do capacitor bootstrap

Fonte: (Three_Level_PWM_DC_AC_Inverter_Using_a_M.pdf)

3.2.4 Parte de potência do inversor: Filtro e transformador

E por fim, com a ponte H manipulando a tensão recebida pela bateria do E.M.A. de acordo com a configuração estabelecida entre os MOSFETs, um sinal de alta tensão tem que ser enviado para um filtro passa baixa LC. Dessa maneira a forma de onda é corrigida para a forma senoidal e a frequência também, para 60Hz.

Para finalizar o inversor, seria usado um transformador, elevando a tensão do sinal de saída para um valor desejado, no caso, 110V.

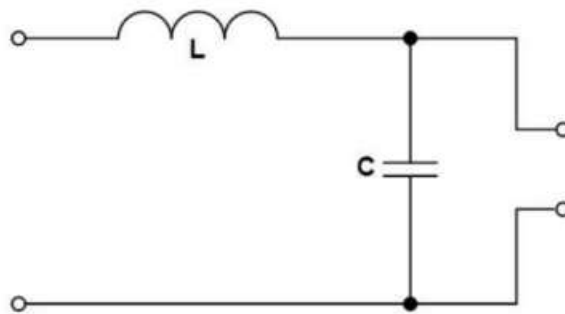


Figura 14. Filtro passa baixa LC

Fonte: (Three_Level_PWM_DC_AC_Inverter_Using_a_M.pdf)

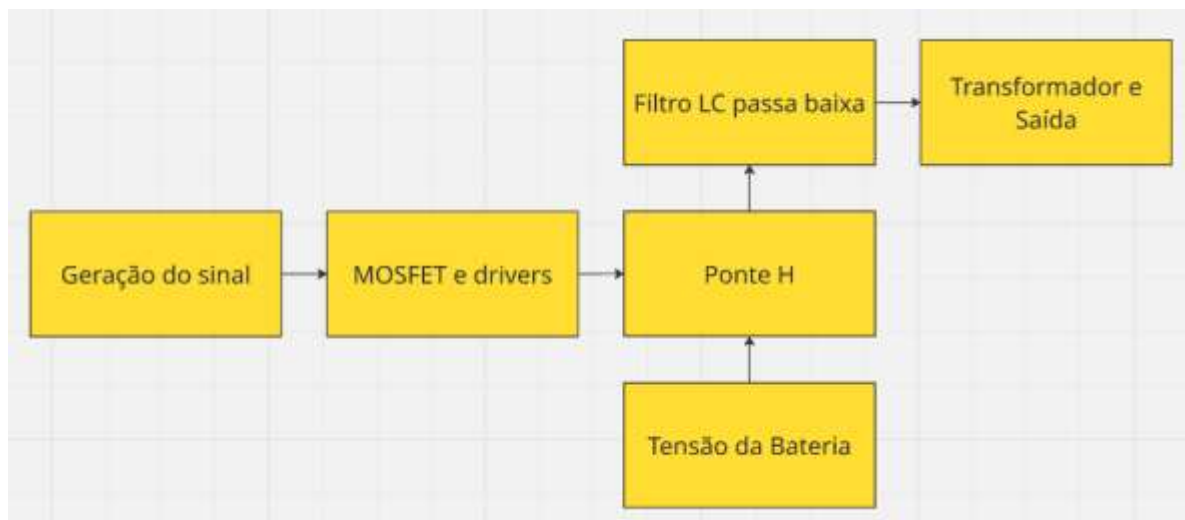


Figura 15. Bloco lógico do circuito do inversor

Fonte: (Confeccionada pelo grupo)

3.2.5 Conclusão do inversor

Apesar de toda a pesquisa e simulação por parte do grupo, como dito anteriormente, o time iniciou esse projeto mesmo com os orientadores de TCC recomendando com que fosse comprado um inversor pronto ao invés de fazer um do zero. Isso se deve ao fato de circuitos inversores serem complexos e levarem muito tempo para serem desenvolvidos.

Se tratando dessa ser a primeira tentativa do grupo em realizar um projeto desse, não foram obtidos os resultados desejados. No simulador de circuitos eletrônicos para celular, o PROTO, apesar da falta do componente do driver IR2110, ainda sim foi possível simular a geração do sinal PWM, e testar a ponte H de MOSFET com o filtro LC passa baixa. No entanto, como dito anteriormente, não foi simulado o driver IR2110, sendo esse fator o que afundou o projeto.

O grupo chegou a comprar os componentes para fazer os testes, mas a falta de experiência quanto ao driver, somado ao fato da modulação PWM não ter sido captada pelo osciloscópio, mesmo que a geração das ondas de referência e portadora por meio das portas DAC do ESP32 funcionaram corretamente e terem sido captadas pelo osciloscópio, comprometeram com o projeto do inversor.

Depois de algumas tentativas, trocas de componentes, testes e mais simulações, o grupo viu que era inviável gastarem mais tempo nesse circuito. Então decidiram aceitar a derrota e optaram por comprar um inversor já pronto na internet.



Figura 16. Foto do inversor comprado online

Fonte: (Fotografado pelo grupo)

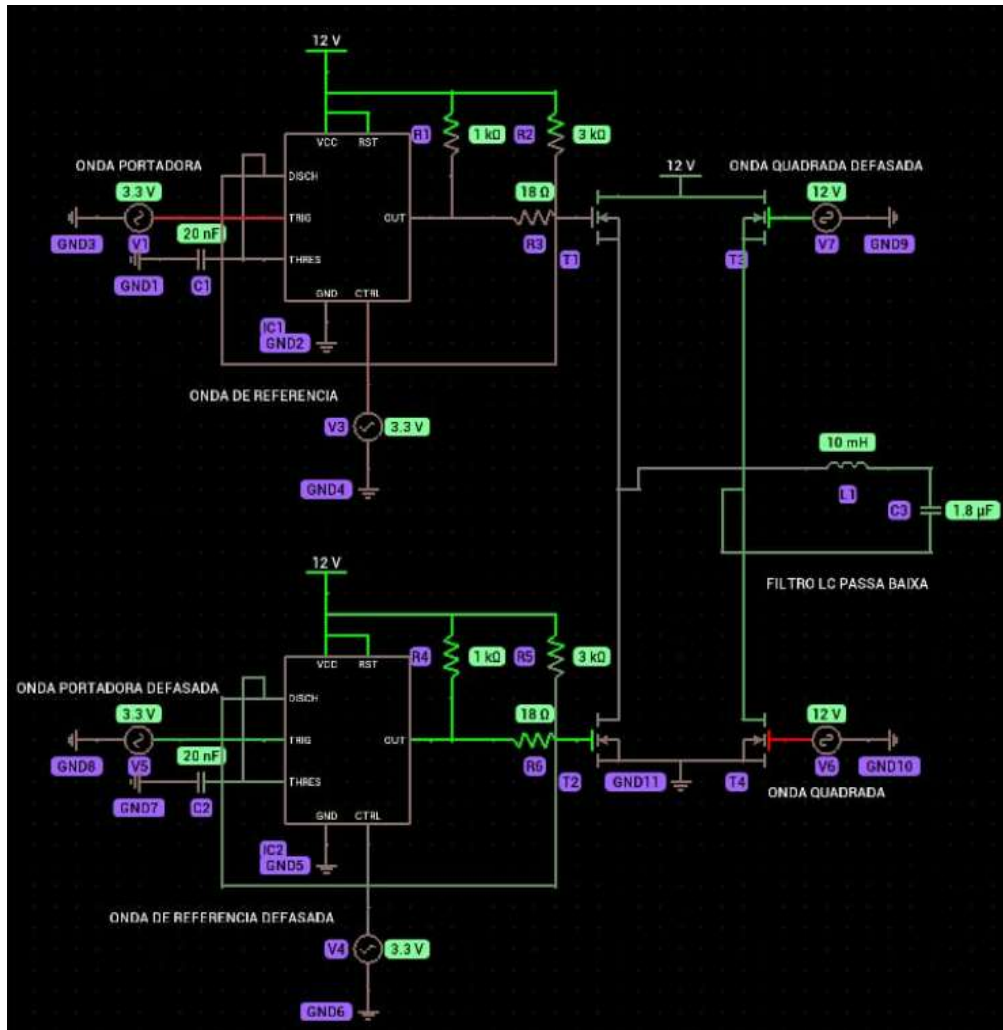


Figura 17. Esquema de tentativa de montagem do inversor do grupo

Fonte: (Confeccionado pelo grupo)

3.3 ESTRUTURA DO VEÍCULO

A parte mecânica do mini automóvel foi desenvolvida a partir de peças variadas provenientes de outros veículos. Essas peças foram adaptadas a uma caixa de direção do Uno Mille, utilizando parafusos de veículos modelo Prisma. Algumas componentes foram de fabricação própria, projetadas especificamente para possibilitar a articulação do eixo dianteiro. Essa articulação permite o movimento da caixa de direção com o auxílio de um rolamento e de um terminal de bieleta soldados em paralelo ao eixo.

No eixo traseiro, foi empregado um pinhão de motocicleta, além de um disco de freio também adaptado de uma moto. Foram utilizados dois rolamentos como

apoio, permitindo o giro motorizado das rodas traseiras, o que caracteriza o veículo como um modelo 4x2.

O volante utilizado é oriundo de um Ford Escort, adquirido em um desmanche. Esse componente foi adaptado à caixa de direção, e logo abaixo dele foi construída a estrutura de sustentação do painel.

3.4 PAINÉL DO VEÍCULO

3.4.1 Prototipagem e simulação

Para o desenvolvimento do painel do veículo, na qual fornece informações como a velocidade de deslocamento e ativa as luzes do projeto, foi utilizado pelo grupo o software chamado Tinkercad, que permite realizar simulações com o Arduino Uno, uma plataforma de prototipagem eletrônica, composta por hardware e software. Esse sistema foi escolhido pelo grupo por ser mais amigável para desenvolver o protótipo do painel.

Utilizando reles ligados ao Arduino para ligar as luzes do veículo e um sensor hall para realizar a função de um velocímetro, com a lógica do seguinte fluxograma do código gravado no microcontrolador do Arduino, o ATmega328p, não só foi possível gerar o software do sistema do painel, como também um esquema elétrico desse circuito foi automaticamente criado pelo Tinkercad.

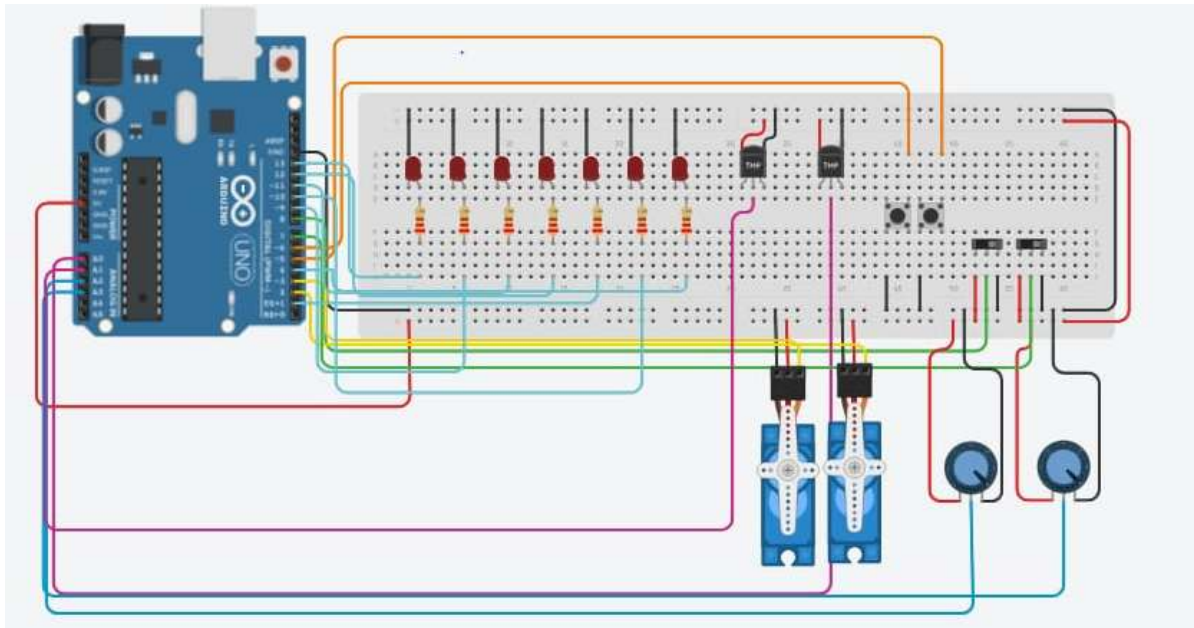


Figura 19. Simulação do hardware do painel no Tinkercad

Fonte: (Confeccionado pelo grupo)

3.4.2 Projeto da PCB

Foi decidido pelo grupo que para o circuito eletrônico do painel seria utilizado apenas o ATmega328p, sem o Arduino, em uma placa de circuito impresso (PCB) feita manualmente pela equipe do projeto. Com os componentes da tabela abaixo, o esquema elétrico gerado pelo Tinkercad foi passado para um outro software de prototipagem eletrônica chamado Proteus. Com ele, foi possível esquematizar o circuito do painel para os padrões de uma PCB.

Nome	Quantidade	Componente
UI	1	Arduino Uno R3
Dtemp motor Dsensortemperatura da bateria DFarol alto DsetaEsq DFarol baixo1 DsetaDir DsetaPainel	7	Vermelho LED
R1 R2 R5 R8 R3 R4 R6	7	220 Ω Resistor
USensorMotor USensorBateria	2	Sensor de temperatura [TMP36]
SBotaoFaroBaixo SBotaoFaroAlto	2	Interruptor deslizante
SERVOVelocmetro SERVONivelBateria	2	Posicional Micro servo
Sseta esq Sseta dir	2	Botão
RpotVelocidade Rpot1	2	250 k Ω Potenciômetro

Figura 20. Tabela de componentes do painel

Fonte: (Confeccionado pelo grupo)

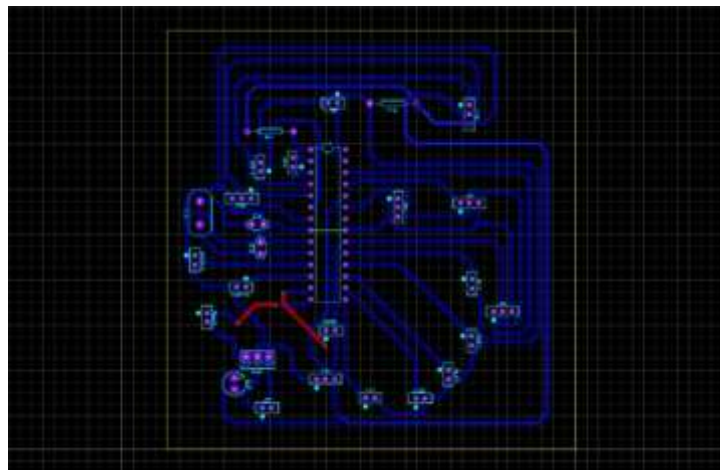


Figura 21. Projeto da PCB gerada pelo Proteus a partir do esquema elétrico do painel

Fonte: (Confeccionado pelo grupo)

3.4.3 Confeção da PCB

Com os componentes e a placa de circuito impresso em mãos, juntamente com o auxílio de um dos professores do curso técnico chamado Robson, foi iniciado a confecção da PCB. O processo realizado foi à base de dry film.



Figura 22. PCB e dry film

Fonte: (Confeccionado pelo grupo)

Primeiramente, foi impresso uma máscara do projeto da PCB feita no Proteus com suas devidas trilhas, tudo dimensionado para o tamanho da PCB que seria utilizada. Após polir a PCB com Bombril, garantindo assim que não houvesse nenhuma impureza na placa, a máscara foi prensada na placa do circuito junto com uma camada de dry film.

Assim preparada, o item foi colocado dentro de um equipamento do professor Robson que possui internamente LEDs de cor violeta. A luz violeta emitida pelos LEDs fez com que o dry film se fixasse na PCB, sendo que, nas partes da máscara no formato das trilhas, o dry film ficou muito mais fixado do que no resto da placa. Logo após isso, a PCB foi introduzida em um recipiente que possuía uma substância líquida alcalina, na qual iniciou um processo de remoção do dry film nas partes da placa que não seriam as trilhas.

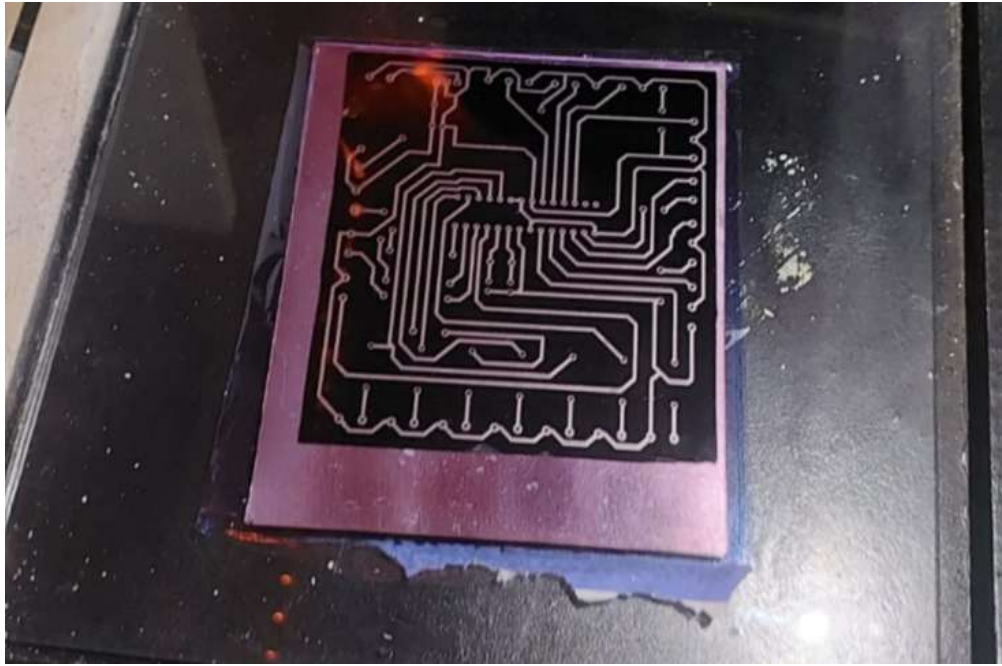


Figura 23. PCB com a máscara e a camada de dry film
Fonte: (Confeccionado pelo grupo)

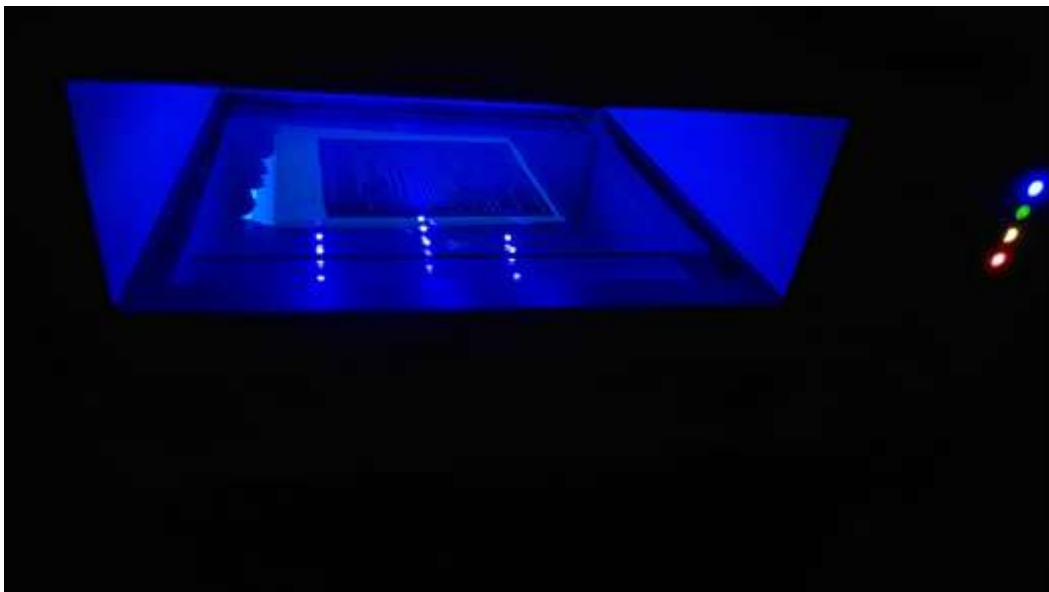


Figura 24. PCB com a máscara e a camada de dry film sendo exposta a luz violeta
Fonte: (Confeccionado pelo grupo)

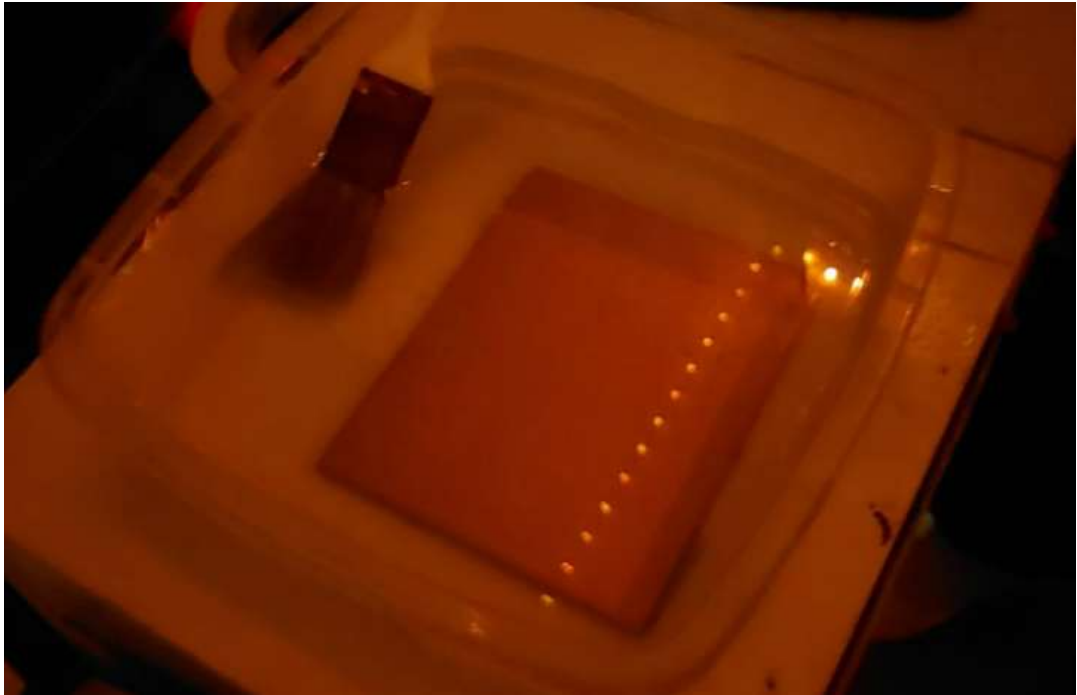


Figura 25. PCB após ser irradiada por luz violeta, sem a máscara, na substancia alcalina

Fonte: (Confeccionado pelo grupo)



Figura 26. Remoção do dry film não pertencente às trilhas

Fonte: (Confeccionado pelo grupo)

Com isso, a PCB foi colocada em um recipiente que tinha percloroeto de ferro para que fossem corroídas as partes da placa que não pertenciam às trilhas. Dessa forma, após essa corrosão, alguns tratamentos com alguns produtos químico do professor Robson, e a realização dos furos dos componentes usando uma retifica, a PCB estava pronta para que fossem soldados os componentes eletrônicos do circuito do painel.

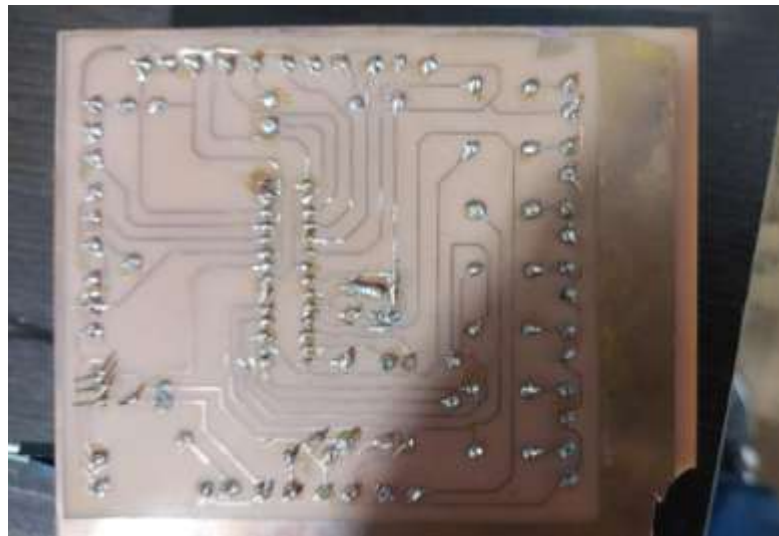


Figura 27. PCB após ser retirada do percloroeto de ferro

Fonte: (Confeccionado pelo grupo)

Por fim, os componentes eletrônicos do circuito do painel foram soldados na PCB, assim finalizando a parte do hardware do painel.

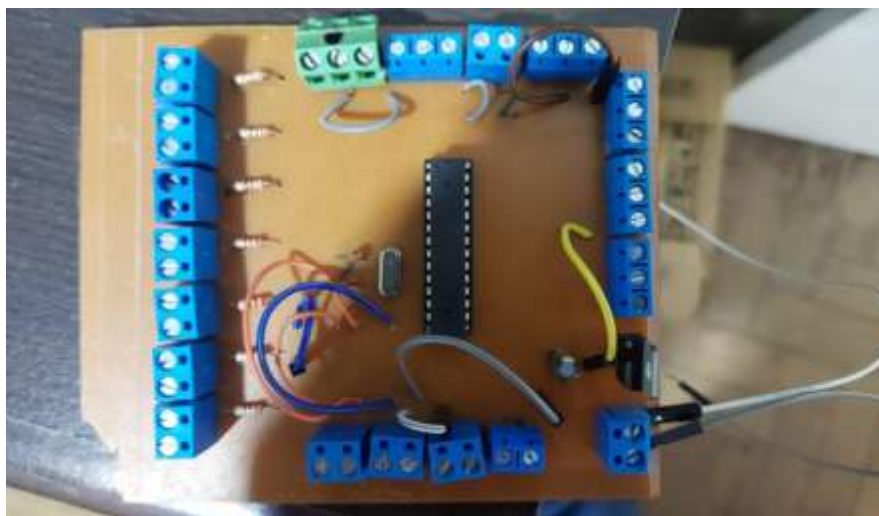


Figura 28. Hardware do painel finalizado

Fonte: (Confeccionado pelo grupo)

3.4.4 Gravação do programa no ATmega328p

Como foi decidido pelo grupo, o hardware do painel usaria apenas o microcontrolador do Arduino Uno, o ATmega328p. Para isso, como o microcontrolador foi comprado separadamente de um Arduino, ou seja, virgem, o grupo teve que gravar o bootloader do chip antes que ele pudesse ser usado para gravar o software do painel.

Para isso foram necessários dois Arduinos, um com slot para inserção do ATmega328p e um outro qualquer, apenas para realizar o procedimento. Conectando o Arduino qualquer no outro Arduino na qual o microcontrolador é virgem, e carregando no primeiro Arduino o código de bootloader que a IDE (integrated development environment, ambiente de desenvolvimento integrado) fornece como exemplo, ocorre uma comunicação entre os dispositivos que segue o protocolo de comunicação ISP, que resulta no chip do grupo ficar preparado para gravar o software do painel.

3.4.5 Sensor Hall no Sistema de Medição de Velocidade

Para o velocímetro foi utilizado um sensor Hall KY-003. O sensor Hall detecta a presença de um campo magnético gerado pela passagem de um ímã acoplado ao eixo ou à roda do sistema. Cada vez que o ímã passa diante do sensor, é gerado um pulso digital na saída do dispositivo. O microcontrolador (Arduino) realiza a contagem desses pulsos em um intervalo de tempo definido e, a partir dessa informação, aplica uma equação previamente estabelecida para determinar a velocidade linear, expressa em quilômetros por hora (km/h).

Com o valor de velocidade calculado, o Arduino envia um sinal de controle ao servo motor responsável pelo velocímetro. Esse sinal posiciona o ponteiro do instrumento de acordo com a velocidade medida, permitindo a indicação em tempo real do deslocamento do sistema.

Como o componente do sensor Hall não existe no software do Tinkercad, os testes foram realizados direto em uma protoboard. O sensor, juntamente com a programação do Arduino, realizou corretamente suas funções.

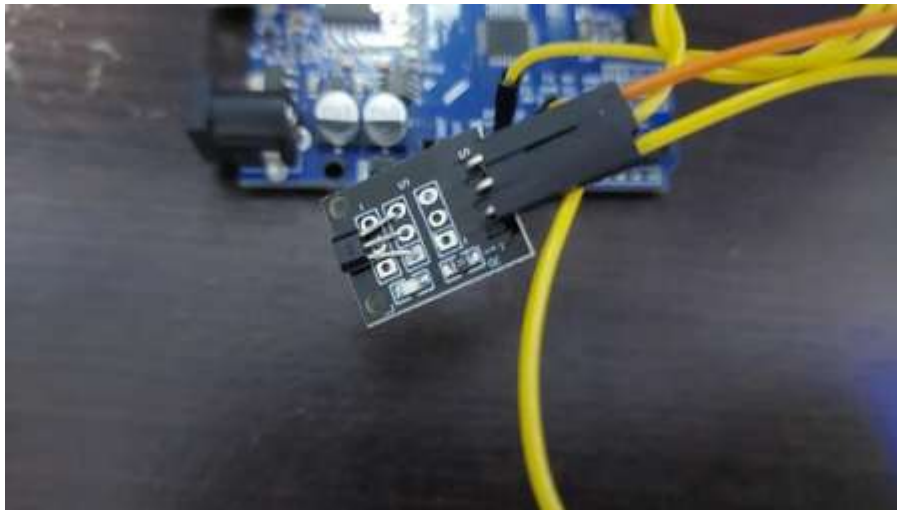


Figura 29. Sensor Hall KY-003
 Fonte: (Confeccionado pelo grupo)

4. CUSTOS

seções do TCC	Preço
Inversor	R\$ 260
Painel	R\$ 180
Estrutura	R\$ 205

Figura 30. Tabela de custos por seção do projeto
 Fonte: (Confeccionado pelo grupo)

5. CONCLUSÃO

Com a placa do painel confeccionada, com os materiais para a estrutura, com o inversor, o motor, e a parte elétrica em mãos, e com o software do painel sendo finalizado, o grupo decidiu unificar todas as montagens em novembro, acreditando que não haveria grandes complicações. O que estava em planejado era apenas pegar a estrutura do veículo pronta e, nessa reta final, realizar todas as ligações elétricas para apenas serem corrigidos alguns problemas de circuito ou de programação.

No entanto, quando foi iniciada a finalização das montagens, descobrimos que faltavam muitas partes de estrutura que ainda precisavam ser resolvidas. Isso apertou com o cronograma e planejamento da equipe, que passou a ter que usar seus esforços muito mais na parte mecânica do projeto do que estava previsto que gastaríamos.

Com isso, iniciou-se um efeito bola de neve, pois tentando resolver os problemas que já eram para estar resolvido, o tempo que tínhamos para resolver os problemas que foram planejados para ser resolvidos do circuito elétrico e do painel do veículo ficou muito encurtado. Tal prejuízo levou o grupo a considerar muitos cortes de projeto, principalmente do que se diz do painel, na qual não conseguimos testa-lo direito e, por conta da pressa de ter que resolver logo a parte mecânica, ocorreu falhas em seu circuito que ocasionaram na perda do painel.

O grupo ainda sim conseguiu realizar montagens de sistemas elétricos mais simples, incluindo o motor, mas mesmo o motor teve um problema de não aguentar corretamente a carga que ele puxaria porque passamos muito tempo sem o projeto mecânico pronto para identificarmos esse tipo de problema, assim como já estava planejado no cronograma do grupo.

Por fim, apesar de muitos cortes de projeto, e de algumas simplificações gerias do trabalho, foi possível realizar um protótipo do projeto que, apesar de ter alguns problemas com a carga no motor, quando o motor está sem carga, ele não para por nada, demonstrando que sua montagem juntamente com o circuito elétrico do veículo funciona.

REFERÊNCIAS

1 RICH, Oliver; CHAPMAN, William. *Three-Level PWM DC/AC Inverter Using a Microcontroller*. Worcester: Worcester Polytechnic Institute, 2012. **MQP Terms A-B-C 2011-2012**. Advisor: Stephen J. Bitar. Sponsor: NECAMSID. Disponível em: <*Three_Level_PWM_DC_AC_Inverter_Using_a_M.pdf*>. Acesso em: **20 jan. 2025**.

2 INFINEON TECHNOLOGIES. *IR2110/IR2113 – High and Low Side Driver*. Data Sheet No. PD60147 rev. V, 2019. Disponível em: <*IR2110.PDF*>. Acesso em: **17 mai. 2025**.

3 INTERNATIONAL RECTIFIER. IRF3205 — HEXFET Power MOSFET. El Segundo, CA: International Rectifier, 2001. Datasheet. Disponível em: <*IRF3205.PDF*>. Acesso em: **17 mai. 2025**.

4 TEXAS INSTRUMENTS. NA555, NE555, SA555, SE555 — Precision Timers. Dallas, TX: Texas Instruments, 1973. Revisado em 2006. Datasheet técnico. Disponível em: <*NA555.PDF*>. Acesso em: **17 mai. 2025**.

SÃO BRASIL. Fórmula SAE Brasil. Disponível em: <https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/formula-sae-brasil/>. Acesso em: 3 mar. 2025

APÊNDICE

Código Painei:

```
#define bsetaesq 6
#define bsetadir 7
#define ledseta 3
#define setaesq 2
#define setadir 4
#define bfarol 10
#define farol 8
#define hall 12

void setup() {
  pinMode(bsetaesq, INPUT_PULLUP);
  pinMode(bsetadir, INPUT_PULLUP);
  pinMode(ledseta, OUTPUT);
  pinMode(setaesq, OUTPUT);
  pinMode(setadir, OUTPUT);
  pinMode(bfarol, INPUT_PULLUP);
  pinMode(farol, OUTPUT);
  pinMode(hall, INPUT_PULLUP);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  ///// seta esquerda

  if(digitalRead(bsetaesq)==LOW)
  {
    digitalWrite(ledseta, HIGH);
    digitalWrite(setaesq, HIGH);
    delay(500);
    digitalWrite(setaesq, LOW);
    delay(500);
  }
```

```
else if(digitalRead(bsetaesq)==HIGH)
{
  digitalWrite(ledseta, LOW);
}
```

```
///// seta direita
```

```
if(digitalRead(bsetadir)==LOW)
{
  digitalWrite(ledseta, HIGH);
  digitalWrite(setadir, HIGH);
  delay(500);
  digitalWrite(setadir, LOW);
  delay(500);
}
else if(digitalRead(bsetadir)==HIGH)
{
  digitalWrite(ledseta, LOW);
}
```

```
////////// farol
```

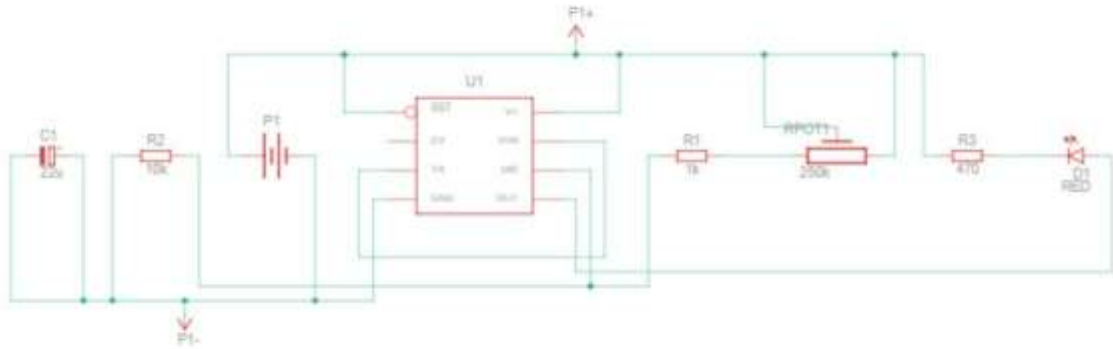
```
if(digitalRead(bfarol)==HIGH)
{
  digitalWrite(farol, HIGH);
}
if(digitalRead(bfarol)==LOW)
{
  digitalWrite(farol, LOW);
}
```

```
////////// velocimetro
```

```
//Serial.write(digitalRead(hall));
```

```
}
```

Esquema elétrico dos sistemas de luzes:



Circuito dos sistemas de luzes:

