

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

PAULO ROBERTO DA SILVA ZANINI

DISPOSITIVO VEICULAR PARA AUXÍLIO DE PARTIDA EM ACLIVES

MEDIANEIRA

2025

PAULO ROBERTO DA SILVA ZANINI

DISPOSITIVO VEICULAR PARA AUXÍLIO DE PARTIDA EM ACLIVES

Vehicular device for hill-start assistance

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Alberto Noboru Miyadaira.

MEDIANEIRA

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

PAULO ROBERTO DA SILVA ZANINI

DISPOSITIVO VEICULAR PARA AUXÍLIO DE PARTIDA EM ACLIVES

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 10/fevereiro/2025

Alberto Noboru Mayadaira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Alex Lemes Guedes
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Renato Cesar Pompeu
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

MEDIANEIRA

2025

Dedico este trabalho a toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Paulo e Elidia, por todo o apoio.

Agradeço minha esposa Adriana, pelo apoio, amor e compreensão.

Agradeço ao meu irmão, Thiago, pela compreensão e empréstimo do veículo para realização dos testes.

Agradeço a minha irmã Lidiane, pelas palavras de incentivo e carinho, nos momentos de dificuldades na trajetória do curso.

Aos professores que me forneceram as bases necessárias para a formação, com admiração pelo vosso profissionalismo.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

Na maioria dos carros antigos não há nenhum tipo de sistema que auxilie o motorista, principalmente o iniciante, a sair com o veículo em uma subida íngreme. A segurança veicular é fundamental para que o motorista não seja exposto a acidentes. A primeira etapa deste trabalho foi estudar e projetar um sistema auxiliar de partida em rampa para veículos automotores. A segunda etapa foi construir o dispositivo veicular para auxílio de partida em aclive, a partir de um microcontrolador ATMEGA 328P, programado com um Arduino e um solenoide instalado em uma das linhas do freio. A terceira etapa, foi realizar o teste do mecanismo no carro Peugeot 207. Os resultados mostraram que o veículo ficou parado por 3 segundos após o condutor retirar o pé do freio, e liberando-o assim que a rotação do motor aumentou. Assim o condutor arrancou com o carro em inclinação de forma segura. O estudo dá ainda subsídio para novas propostas, sobre o baixo custo na produção do dispositivo, sendo viável a comercialização.

Palavras-chaves: freios hidráulicos; circuitos integrados; controle automático; controladores programáveis.

ABSTRACT

In most old cars, there is no system to assist the driver, especially beginners, in starting the vehicle on a steep hill. Vehicle safety is essential to prevent drivers from being exposed to accidents. The first stage of this work was to study and design an auxiliary hill-start system for motor vehicles. The second stage involved building a vehicle device to assist with hill starts, using an ATMEGA 328P microcontroller programmed with an Arduino and a solenoid installed in one of the brake lines. The third stage was testing the mechanism on a Peugeot 207 car. The results showed that the vehicle remained stationary for 3 seconds after the driver released the brake pedal, and the system disengaged as soon as the engine's RPM increased. This allowed the driver to start the car safely on an incline. The study also provides a basis for new proposals regarding the device's low production cost, making it viable for commercialization.

Keywords: hydraulic brakes; integrated circuits; automatic control; programmable controllers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Interruptor do pedal do freio	14
Figura 2 - Interruptor de marcha ré	14
Figura 3 – Sensor de velocidade.....	15
Figura 4 - Sensor de rotação.....	16
Figura 5 - Estrutura acelerômetro MEMS	17
Figura 6 - Modelo giroscópio	18
Figura 7 - Modelo acelerômetro	19
Figura 8 - Dados I2C	19
Figura 9 - Microcontroladores.....	20
Figura 10 - Sistema de freio	22
Figura 11 - Cilindro mestre simples.....	23
Figura 12 - Circuitos cilindro mestre duplo	24
Figura 13 - Cilindro mestre tandem	25
Figura 14 - Kit line-lock.....	26
Figura 15 - Solenoide	27
Figura 16 - Funcionamento solenoide instalado na linha do freio	28
Figura 17 - Fluxograma completo do sistema	29
Figura 18 - Arduino uno e modulo MPU 6050	30
Figura 19 - Ligações elétricas	31
Figura 20 - Acionamento indesejado solenoide.....	32
Figura 21 - Ligações atmega, relés e solenoide.....	33
Figura 22 - Placa de circuito impresso	34
Figura 23 - Solenoide instalado.....	35
Figura 24 - Placa instalada.....	35
Figura 25 - Testes sensores de freio e inclinação	36
Figura 26 - Teste sensor de rotação	36
Figura 27 - Teste com sistema desativado I.....	37
Figura 28 - Teste com sistema desativado II.....	38
Figura 29 - Teste com sistema ativado I	38
Figura 30 - Teste com sistema ativado II	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ECM	Engine Control Module
USB	Universal Serial Bus
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
GPS	Global Positioning System
I2C	Inter-Integrated Circuit
SDL	Serial Data Line
SCL	Serial Clock Line

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos geral e específicos	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Interruptores e sensores	13
2.1.1	Interruptor do pedal do freio	13
2.1.2	Interruptor de marcha ré	14
2.1.3	Sensor de velocidade	14
2.1.4	Sensor de rotação	15
<u>2.1.4.1</u>	<u>Tecnologia MEMS</u>	<u>16</u>
<u>2.1.4.2</u>	<u>Giroscópio</u>	<u>17</u>
<u>2.1.4.3</u>	<u>Acelerômetro</u>	<u>18</u>
<u>2.1.4.4</u>	<u>I2C</u>	<u>19</u>
2.2	Microcontroladores	20
2.3	Sistema de freio	21
2.3.1	Alavanca do pedal do freio	21
2.3.2	Servo freio	21
2.3.3	Cilindro mestre	22
<u>2.3.3.1</u>	<u>Cilindro mestre simples</u>	<u>22</u>
<u>2.3.3.2</u>	<u>Cilindro mestre duplo ou tandem</u>	<u>23</u>
2.4	Bloqueador de linha de freio	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	Sistema mecânico	27
3.2	Sistema eletrônico	30
3.2.1	Arduino e módulo MPU 6050	30
3.2.2	Prevenção contra acidentes	31
<u>3.2.2.1</u>	<u>Proteções mecânica e eletrônica</u>	<u>31</u>
4	RESULTADOS	34
4.1	Placa de circuito impresso	34
4.2	Instalação do sistema	35
4.3	Testes dos sensores	36
4.4	Testes de rua	37
5	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

As primeiras montadoras de automóveis chegaram ao Brasil no século XX. Ao longo dos anos, além do processo de montagem, o país passou a fabricar, fornecer peças e prestar serviços. O desenvolvimento da indústria de veículos proporcionou ao motorista maior conforto, melhor segurança e eficiência que muito se deve a evolução tecnológica do sistema de freios.

Este trabalho descreve o funcionamento do sistema de freios no cenário das décadas passadas, com foco nas tecnologias predominantes da época. O sistema de frenagem de veículos automotores com câmbio manual, especialmente nos modelos antigos, caracteriza-se por uma combinação de elementos mecânicos e hidráulicos que atuam em conjunto para parar ou reduzir de maneira segura a velocidade do veículo.

Um importante dispositivo automático, desenvolvido pela indústria foi o auxiliar de partida em rampa (Hill Holder). É ativado a partir da pressão realizada pelo motorista no pedal do freio enquanto o carro está parado, geralmente em uma inclinação, e uma vez ativado, ele mantém o carro parado, mesmo quando se retira o pé do pedal. Vários sensores são empregados para que esse processo funcione, incluindo sensores de ângulo, sensores de velocidade das rodas, sensores de torque e o atuador de freio. Foi projetado para facilitar as partidas em subidas, impedindo o retrocesso (Haynes, 2016).

Nos últimos anos, as montadoras têm adicionado esse dispositivo em alguns veículos de suas frotas, o que traz mais conforto aos seus consumidores na condução e por consequência agrega valor ao produto e facilita as vendas. No entanto, há uma gama de veículos que não contam com o dispositivo auxiliar de partida em rampa.

1.1 Objetivos geral e específicos

Desenvolver um protótipo para auxílio de partida em aclave, por meio da fabricação de uma placa de circuitos impresso contendo um microcontrolador Atmega328p programado com a plataforma Arduino.

Para alcançar tal propósito, tornou-se necessários adotar os seguintes objetivos específicos:

- a) Estudar e compreender o sistema elétrico e o sistema de frenagem do veículo;
- b) Estudar, compreender e aplicar técnicas existentes para efetuar a interpretação de dados seriais gerados por sensores do veículo;
- c) Programar um microcontrolador para fazer a leitura e interpretação dos sensores de rotação e velocidade, assim como a atuação do solenoide que será instalado na linha do freio;
- d) Testar e avaliar o sistema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados os conceitos fundamentais sobre o funcionamento do sistema de freio, os princípios de operação de um sistema elétrico veicular, informações relevantes sobre microcontroladores, solenoides e análise dos resultados do dispositivo veicular para auxílio de partida em aclives.

2.1 Interruptores e sensores

O interruptor é um componente utilizado para ligar ou desligar outros sistemas. Atua como um mecanismo de controle que permite ou interrompe a passagem da corrente elétrica (INTERMEC Automotive, 2024).

Por outro lado, o sensor automotivo é responsável por monitorar as condições do veículo. Sua principal função consiste em fornecer informações que garantam ao motorista uma condução mais segura. Os sensores captam dados sobre o estado do carro e, frequentemente, enviam essas informações para a central eletrônica de comando. Com base nesses dados, a central realiza os ajustes necessários para calibrar e otimizar os sistemas do veículo (INTERMEC Automotive, 2024).

2.1.1 Interruptor do pedal do freio

O interruptor de luz de freio é um dispositivo desenvolvido para aumentar a segurança no trânsito. Sua função é ativar as luzes de freio quando o pedal é pressionado, avisando aos condutores que vêm atrás sobre a redução de velocidade ou parada do veículo.

O funcionamento desse interruptor é bastante simples. Ao pressionar o pedal do freio, o interruptor é acionado, completando um circuito elétrico que acende as luzes de freio. Esse mecanismo, geralmente utiliza um sistema de pressão conectado ao pedal. Quando o pedal é liberado, o circuito se desliga, e as luzes se apagam. Essa operação rápida e eficiente é fundamental para a comunicação entre motoristas durante o tráfego (Sócarros, 2024). A figura 1 mostra um interruptor do pedal do freio.

Figura 1 - Interruptor do pedal do freio



Fonte: Autopeças Araucária (2023)

2.1.2 Interruptor de marcha ré

O interruptor de marcha de ré, conforme visualizado na figura 2, consiste em um dispositivo elétrico, desenvolvido para alertar condutores e pedestres que o veículo irá se movimentar para trás.

Figura 2 - Interruptor de marcha ré



Fonte: UMEC (2023)

Este interruptor geralmente localiza-se na caixa de câmbio do veículo. No momento em que a ré é acionada, uma haste dentro da caixa aciona uma mola, que fecha um contato existente no interruptor, assim o circuito se fecha e as luzes de ré se acendem (Rodobens, 2023).

2.1.3 Sensor de velocidade

O sensor de velocidade gera um sinal de onda cuja frequência é diretamente proporcional à velocidade do veículo, e envia essa informação ao ECM (*Engine*

Control Module). Normalmente, ele está localizado no câmbio do veículo. Quando o veículo está em movimento a uma baixa velocidade, um sinal de baixa frequência é emitido pelo sensor; conforme a velocidade aumenta, a frequência do sinal também se eleva (Fernandez et al., 2021).

Sensores, como observado na figura 3, são muito empregados em diversas aplicações. Devem ter precisão, sensibilidade, resistência a ruído, e autonomia para fornecer informações exata. Possuem diferentes tipos de configurações, como magnético, de relutância variável ou de efeito Hall.

Figura 3 – Sensor de velocidade



Fonte: Canal da peça (2018)

2.1.4 Sensor de rotação

O sensor de rotação é um componente que realiza a medição das revoluções por minuto do motor, ele envia um sinal a ECM para que o sistema de injeção eletrônica funcione de modo adequado. A figura 4 apresenta um sensor de rotação.

Um ímã acoplado ao virabrequim se movimenta em relação à bobina no interior do sensor e produz um campo magnético que varia. Uma corrente elétrica proporcional a quantidade de revoluções do motor é induzida na bobina. (Heliar, 2023).

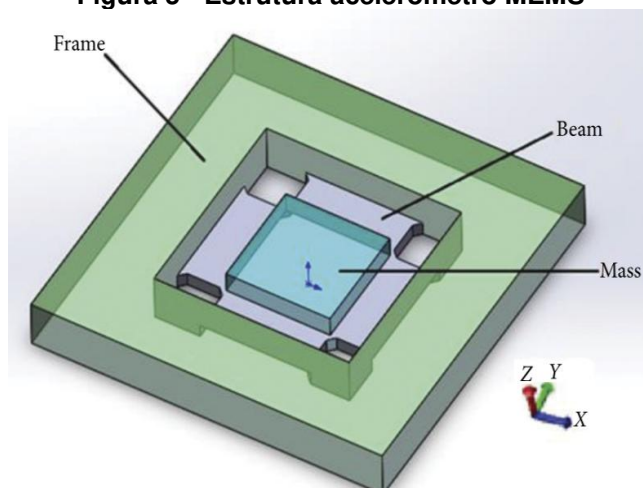
Figura 4 - Sensor de rotação

Fonte: [morelate.com](https://www.morelate.com) (2023)

2.1.4.1 Tecnologia MEMS

Avanços recentes em sistemas micro eletromecânicos (MEMS) possibilitaram o amplo desenvolvimento de sensores para uma variedade de aplicações em eletrônicos de consumo, automotivos e saúde vestível. Instrumentos altamente precisos, como o microscópio de força atômica e relógios ultra estáveis, também utilizaram avanços na tecnologia MEMS para a fabricação de transdutores sensíveis e integração de sistemas em escala de chip de precisão (Mustafasade et al, 2020).

Com o rápido progresso das tecnologias MEMS, a pesquisa sobre componentes de sensores inerciais tem se desenvolvido bem. Os acelerômetros MEMS de alta força G, são representantes destacados dos sensores inerciais. Eles não apenas superam as desvantagens dos sensores tradicionais, como grande volume e peso, mas também apresentam as características de alta eficiência, alta confiabilidade e alta sensibilidade (Cao et al, 2021). A figura 5 demonstra os princípios básicos de um acelerômetro com tecnologia MEMS.

Figura 5 - Estrutura acelerômetro MEMS

Fonte: Cao et al (2013)

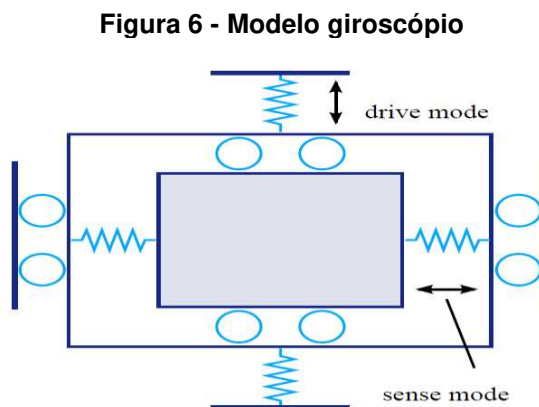
2.1.4.2 Giroscópio

O termo "giroscópio", convencionalmente referido à classe mecânica dos giroscópios, deriva da língua grega antiga, sendo a Física do "movimento de precessão", um fenômeno também observado na sociedade grega antiga (Pássaro, 2017).

A detecção de movimento rotacional é importante para os setores automotivo e de aviação, bem como para sistemas de navegação GPS e monitoramento de saúde. Hoje, os giroscópios baseados em tecnologia de sistemas micro eletromecânicos (MEMS) podem ser miniaturizados para caber em smartphones com consumo mínimo de energia. Tais sistemas monitoram o movimento de uma massa de prova vibrante, ligada a uma estrutura de MEMS semelhante a uma mola, em todas as direções espaciais. Os giroscópios de MEMS, muitas vezes, são combinados com acelerômetros, proporcionando medições tridimensionais a partir de um único dispositivo.

A massa de prova com frequência é forçada a vibrar periodicamente ao longo de uma direção usando eletrodos de acionamento (que identificam o modo de acionamento). Uma vez que o dispositivo passa por um movimento rotacional, a massa experimenta a força de Coriolis em seu plano de referência em rotação: isso se manifesta como um leve deslocamento ao longo de uma direção perpendicular àquela definida pelo modo de acionamento. A detecção da amplitude desse deslocamento (através do que é conhecido como o modo de detecção) fornece a taxa

angular de rotação. A figura 6 mostra um modelo básico de giroscópio, esse tipo de dispositivo de detecção de movimento rotacional é frequentemente utilizado (Zurich Instruments, 2015).



Fonte: Zurich Instruments (2015)

2.1.4.3 Acelerômetro

O acelerômetro, consiste em um dispositivo capaz de identificar acelerações ao qual um objeto está sendo submetido. É usado amplamente nas mais variadas aplicações como, detectar a inclinação de um telefone celular para orientar a tela adequadamente, durante a visualização de um vídeo.

O acelerômetro é capaz de medir tanto a intensidade do campo gravitacional quanto a variação de velocidade de um objeto. Isso significa que ele pode registrar não apenas as mudanças na velocidade ou aceleração do movimento, mas também a força gravitacional exercida sobre o dispositivo. Mesmo quando o dispositivo está parado em relação a referência, o acelerômetro pode captar e registrar a gravidade presente no planeta (Rocha et al, 2013).

A figura 7 apresenta o princípio de funcionamento do acelerômetro baseado na variação da capacitância, conforme as placas se movimentam.

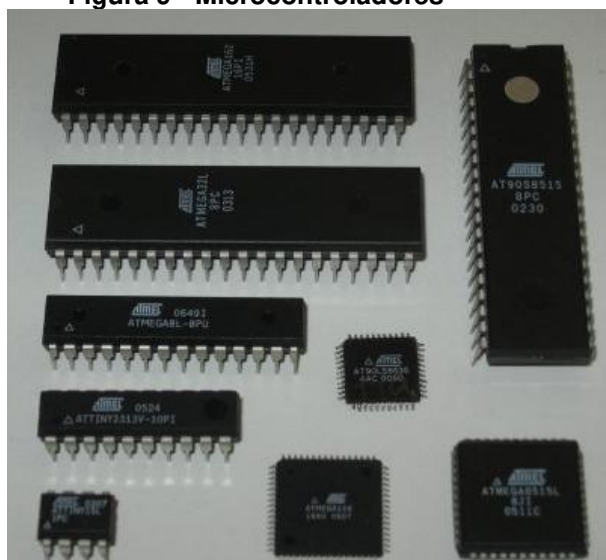
O dado transferido é inicializado a partir de um bit INICIAR (S) mostrado com SDA em borda de descida enquanto SCL continua alto. Quando o SCL em nível lógico baixo o SDA faz a mudança do nível do dado, se necessário, a leitura do bit de dado ocorre sempre quando o SCL em nível alto. O bit PARAR(P) ocorre, quando houver uma borda de subida do SDA enquanto o SCL está em nível alto (Souza, 2023).

2.2 Microcontroladores

Quando a eletrônica estava em seu início, os circuitos eram desenvolvidos a partir de componentes separados como resistores, capacitores, diodos, transistores entre outros. Na medida em que a tecnologia começou a avançar os circuitos foram ficando cada vez mais complexos. Isso dificultava e, por vezes, inviabilizava alguns projetos.

A invenção dos circuitos integrados mudou isso. Circuito integrado é um circuito eletrônico muito pequeno, com semicondutores que substituem aqueles componentes e são fabricados de um material muito fino normalmente silício. O microcontrolador é um circuito integrado que é considerado um minicomputador completo (Araujo et al, 2019). Há diversos tipos de encapsulamentos de microcontroladores, conforme observados na figura 9.

Figura 9 - Microcontroladores



Fonte: WordPress (2011)

2.3 Sistema de freio

O sistema de freios tem como função fazer com que o condutor possa diminuir a velocidade, além de possibilitar a parada total em condições normais de operação e em condições mais diversas, tais como: carga ou descarga de veículos, pista seca ou molhados, velocidades baixas ou altas, subidas ou descidas, pistas retas ou sinuosas etc. (Leal, Rosa e Nicolazzi, 2012).

Segundo Gardinalli G. (2005), os sistemas de freios consistem em sistemas de freios convencionais (mecânicos), e eletrônicos (mecânicos e eletrônicos) nos carros modernos. Nos sistemas convencionais, a força exercida pelo condutor é multiplicada e transferida para o sistema de freios do veículo. Os principais componentes em um sistema convencional, são: Alavanca Pedal do freio; Servo freio; Cilindro mestre.

2.3.1 Alavanca do pedal do freio

A alavanca do pedal do freio é um componente essencial em qualquer veículo. Por meio dela o condutor transmite a força necessária para acionar o sistema de freios com intenção de diminuir a velocidade ou parar o automóvel, sendo conectada ao servo freio.

Opera como uma alavanca de primeiro gênero, na qual o ponto de apoio está localizado entre a força aplicada e a resistência. Ao pressionar a alavanca, o motorista amplifica a força exercida, e permite que o sistema de freios entre em ação, de forma eficiente, mesmo com uma força relativamente pequena aplicada ao pedal (Kawaguchi, 2005).

Existem diferentes tipos de alavancas de pedal de freio, que variam de acordo com o tipo de veículo e de sistema de freios utilizado sendo: alavanca de freio tradicional, alavanca de freio com assistência, e alavanca de freio eletrônica.

2.3.2 Servo freio

O servo freio é um dispositivo que faz com que a força exercida pelo condutor seja multiplicada, tornando assim uma tarefa mais fácil, uma vez que sem isso a força

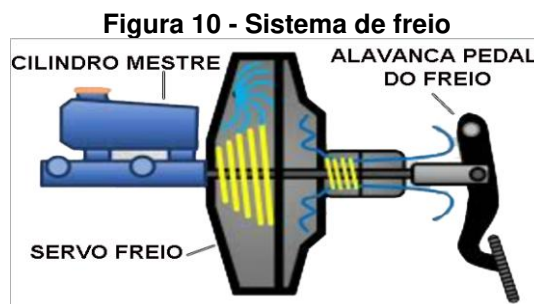
aplicada teria que ser muito maior para obter o mesmo resultado (Muller, 2009).

Kawaguchi (2005) aponta os seguintes tipos de servofreio: com assistência a vácuo, hidráulica e eletromecânica. A assistência a vácuo é a mais encontrada no mercado, já a eletromecânica tem um desenvolvimento mais recente.

2.3.3 Cilindro mestre

Componente que recebe a força aplicada através do servo freio, e a transfere pelas linhas de freio. Possui um reservatório de fluido, onde este fica armazenado, a fim de alimentar todo o sistema.

As três partes principais do sistema de freios do veículo estão demonstradas na figura 10.



Fonte: Adaptado Oficina agro (2020)

A força exercida no pedal de freio, potencializada pelo servofreio, é transformada pelo cilindro mestre em pressão hidráulica, que é distribuída pelo sistema de frenagem, acionando as pastilhas ou lonas de freio. A pressão máxima atingida nesse processo pode chegar a 180 bar (Bosch, 2011), garantindo a eficiência da frenagem.

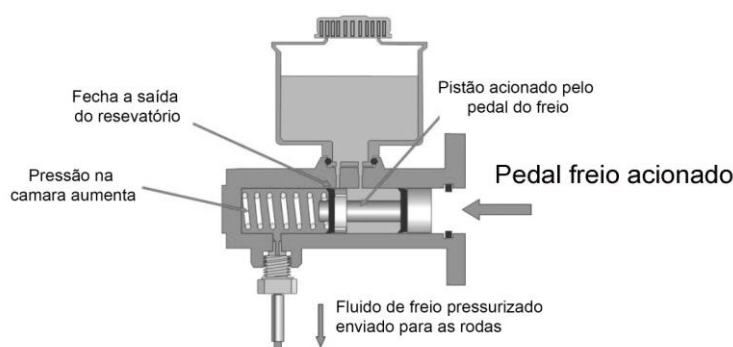
2.3.3.1 Cilindro mestre simples

Este tipo de cilindro envia toda pressão hidráulica por apenas um circuito, ou seja, as quatro linhas de freio, uma de cada roda do carro, estão interligadas. Era massivamente usada segundo Puhn (1985) até início da década de 60 nos EUA.

O cilindro de freio simples é um componente do sistema de freios a tambor que possui apenas uma câmara ou estágio. Sua função é comprimir o fluido de freio quando se é pressionado o pedal, direcionando-o para as lonas e pastilhas de freio nas rodas (Autohubpneus 2023).

A figura 11 ilustra as partes de um cilindro mestre simples. Por ser uma tecnologia mais antiga, apresenta menor segurança, já que uma falha pode resultar na perda total da capacidade de frenagem em todas as rodas.

Figura 11 - Cilindro mestre simples

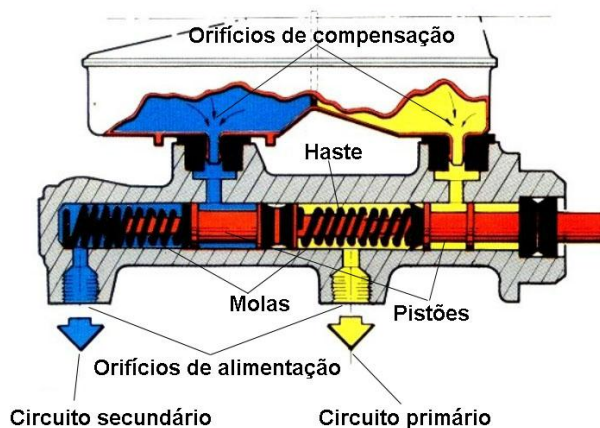


Fonte: Adaptado de Scholem (2021)

2.3.3.2 Cilindro mestre duplo ou tandem

Neste tipo de cilindro mestre, visto na figura 12, uma mola separa os pistões, mas uma haste os conecta e atua assim como um pistão. Essa configuração permite equalizar a força aplicada a ambos os pistões, embora a pressão exercida sobre o fluido possa variar, dependendo das diferenças nos diâmetros dos pistões. Em repouso, os pistões permanecem em suas posições iniciais devido à ação da mola de retorno. Nesse estado, os orifícios de alimentação estão fechados, enquanto os orifícios de compensação permanecem abertos. Assim, as câmaras de pressão estão conectadas ao reservatório de fluido de freio, mantendo uma pressão próxima à atmosférica (Carros in foco, 2016).

Figura 12 - Circuitos cilindro mestre duplo



Fonte: Carros in foco (2016)

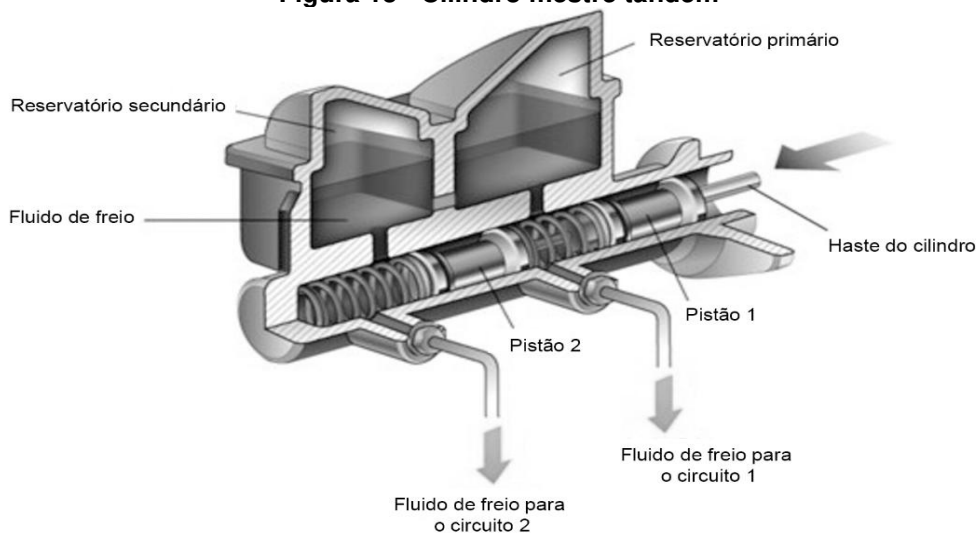
O autor ainda ressalta que, quando o pedal de freio é acionado, o pistão ligado à haste de acionamento do servofreio começa a se mover, transmitindo o movimento ao tucho até que este atinja o segundo pistão, deslocando-o também. Durante o início do deslocamento, os pistões empurram parte do fluido das câmaras de pressão de volta para o reservatório através dos orifícios de compensação. Quando os pistões fecham esses orifícios, as câmaras de alimentação permanecem conectadas ao reservatório, enquanto as câmaras de pressão são submetidas à pressão gerada pelos pistões. Nesse ponto, ambos os circuitos de freio estão devidamente pressurizados e prontos para a frenagem.

São cilindros com dois pistões em um mesmo corpo e são utilizados nos carros modernos. Introduzidos em carros de passageiros norte americanos em 1962 e em 1967 começaram a ser utilizados em veículos de vários países (Puhn, 1985).

Neste viés, Reif (2014) elenca que os regulamentos legais de diferentes países exigem que veículos sejam equipados com frenagem dupla.

Essa exigência é atendida pelo uso de um cilindro mestre tipo tandem, que consiste efetivamente em dois cilindros mestres conectados em série. Se um dos circuitos de freio falhar, a pressão total de frenagem ainda pode ser mantida no outro circuito. Porque uma possível falha no circuito de freio poderia desativar completamente os freios de circuito único mais antigos, o freio de circuito duplo foi posteriormente prescrito por lei (Reif, 2014, p.39).

Para uma observação mais detalhada de um cilindro mestre trazemos a figura 13 para ilustrar seus componentes. Tal figura consiste em um corte na peça para visualização das partes internas do cilindro.

Figura 13 - Cilindro mestre tandem

Fonte: Adaptado de Scholem (2021)

2.4 Bloqueador de linha de freio

Um dos componentes essenciais para uma passagem bem-sucedida na pista de arrancada é a aderência na linha de partida, que é mais bem alcançada após realizar uma queima de pneus em um pneu traseiro (ou dianteiro), dependendo da configuração de tração do seu veículo. O line-lock ativado fecha o circuito de freio e trava as rodas que não estão ligadas ao motor do veículo. As rodas travadas mantêm o veículo parado na área de queima de pneus para que as rodas motrizes possam realizar a queima perfeita, aquecendo os pneus e não superaquecendo os freios das rodas motrizes.

A queima de pneus perfeita na pista de arrancada é algo próximo de uma arte: ela requer a aplicação adequada — mas não excessiva — do pedal do acelerador para criar a quantidade certa de velocidade nas rodas. Um carro com transmissão automática geralmente exige que o motorista faça uma troca de marcha para manter a velocidade das rodas sem atingir o limitador de rotação. Uma vez que os pneus estejam adequadamente aquecidos, o motorista deve acelerar para sair da queima de pneus sem perder o controle do veículo.

Um line-lock simplifica o processo de queima de pneus e exclui uma das variáveis do processo. Ao manter a pressão no circuito de freio das rodas não

motrizes, o motorista pode se concentrar no restante do processo sem pisar nos freios e eliminar essa variável adicional. Além disso, o uso de um line-lock prolonga a vida útil dos freios na extremidade não motora do veículo, uma vez que os freios não são acionados durante o processo de queima de pneus (Reiss, 2023). A figura 14 mostra um kit line-lock principalmente comercializado para veículos de arrancada.

Figura 14 - Kit line-lock



Fonte: Flashsharkracing (2023)

O dispositivo é basicamente um solenoide elétrico controlado por um interruptor na alavanca de câmbio. Com os freios acionados, o motorista pressiona e mantém pressionado o interruptor e, em seguida, libera o pedal do freio. O solenoide mantém a pressão nas linhas de freio dianteiras e libera os freios traseiros, o que facilita a queima de pneus. Ao soltar o interruptor, os freios dianteiros são liberados, permitindo que o carro saia gradualmente da queima de pneus (Motortrend, 1996).

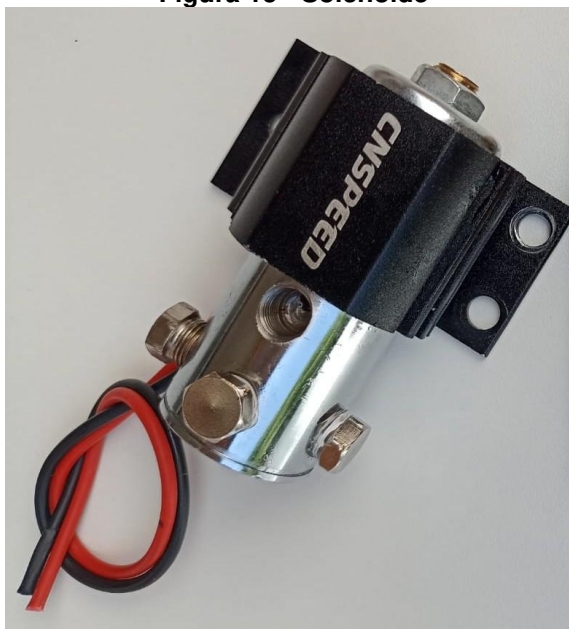
3 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto desenvolvido tem o objetivo de desenvolver um produto que possa auxiliar o condutor ao arrancar com o veículo em uma colina. Este trabalho interage com dois sistemas do veículo, o mecânico que diz respeito a parte de freios e o eletrônico ao qual a placa desenvolvida foi interligada.

3.1 Sistema mecânico

O atuador utilizado é um solenoide da marca CNSPEED apresentado na figura 15. Este aparelho quando acionado impede a passagem do fluido de freio, desta maneira quando o sistema for ativado, o fluido da roda ao qual foi instalado o solenoide, não retornará ao cilindro mestre, mantendo somente aquela roda travada, até que o sistema seja liberado.

Figura 15 - Solenoide



Fonte: Autoria própria (2023)

A instalação é feita abrindo-se uma linha que sai do cilindro mestre e vai para uma das rodas. A saída do cilindro mestre é conectada a entrada do solenoide e a

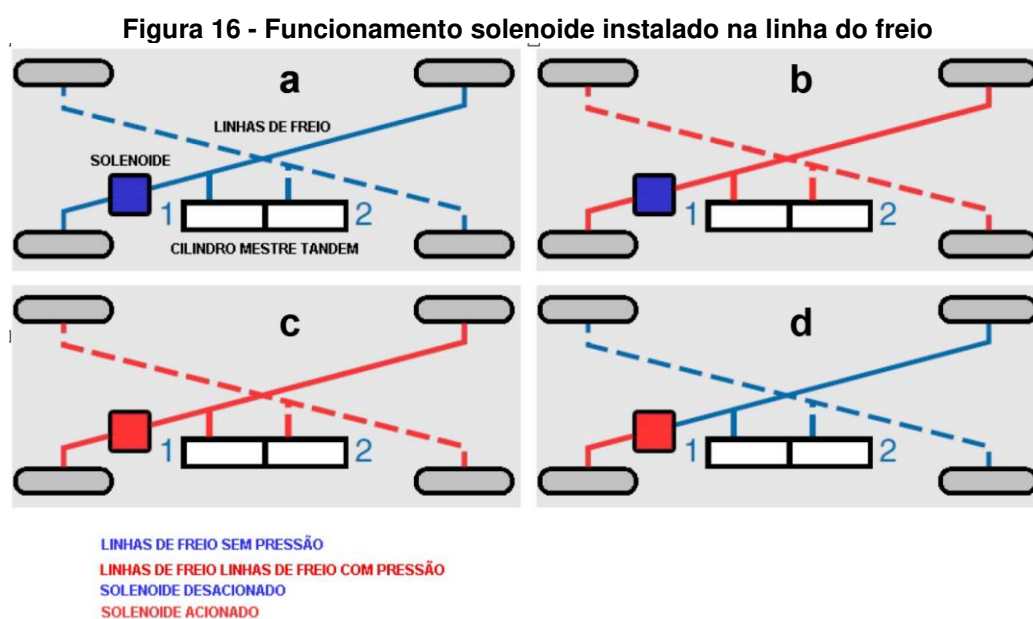
saída deste é conectada a linha que vai para a roda, fazendo com que o fluido passe pelo solenoide.

A figura 16a mostra que as linhas do freio não estão pressionadas. O veículo pode estar tanto em movimento como parado, com o freio de mão acionado.

Pode se observar na figura 16b que o freio está acionado, mas o sistema não detecta necessidade de acionamento do atuador.

Na figura 16c é possível perceber que o solenoide foi acionado, porém o condutor ainda mantém o pé no freio, já que todas as linhas estão pressionadas. O sistema está bloqueando o retorno do fluido da linha da roda dianteira esquerda, a fim de segurar o carro na rampa.

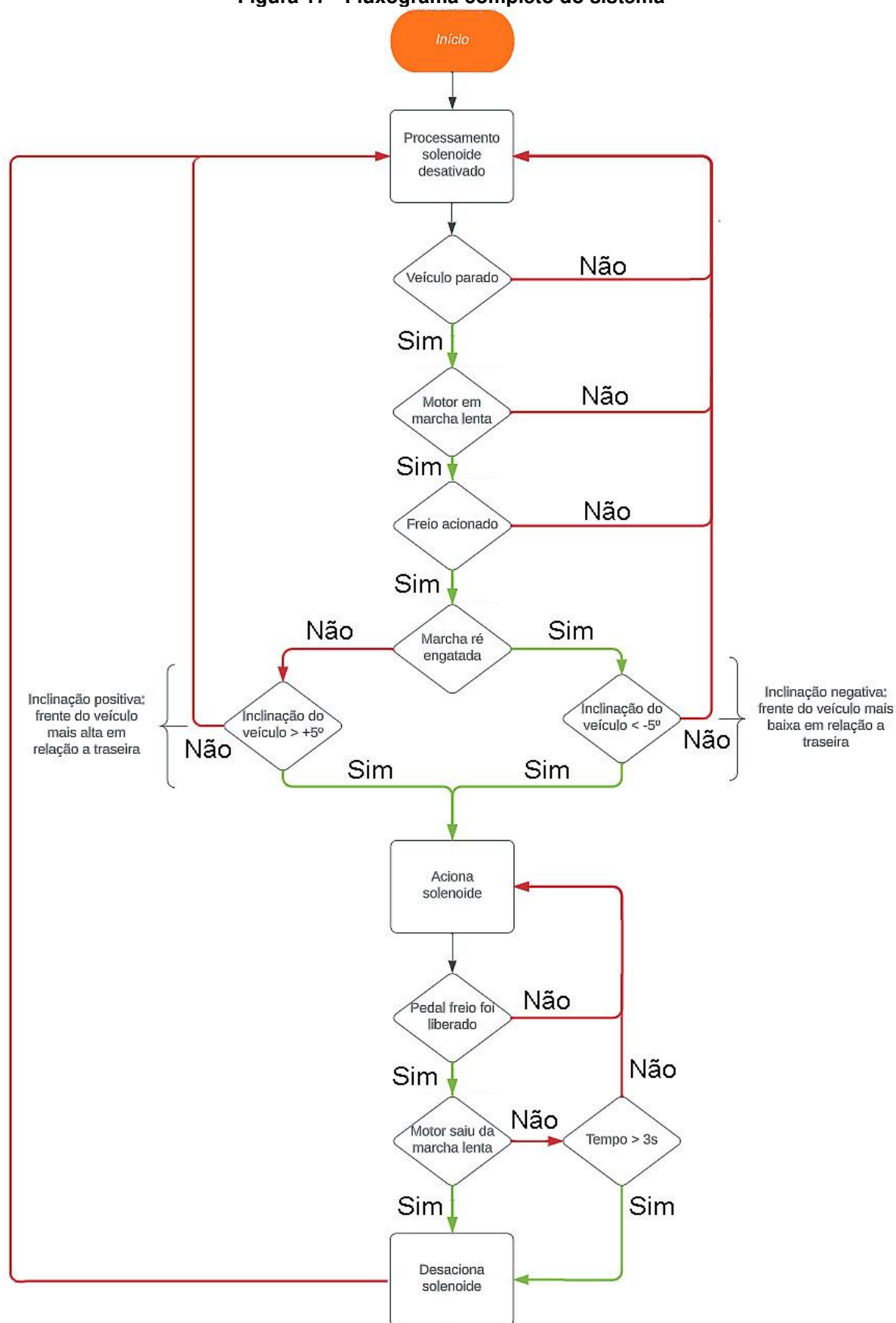
A figura 16d demonstra que o sistema, neste momento, cumpre sua função. O condutor tirou o pé do freio e assim que acelerar ou se passar mais que 3 segundos, a linha será desbloqueada.



Fonte: Adaptado Reif (2014)

A figura 17 mostra um fluxograma detalhando todas as ações.

Figura 17 - Fluxograma completo do sistema



3.2 Sistema eletrônico

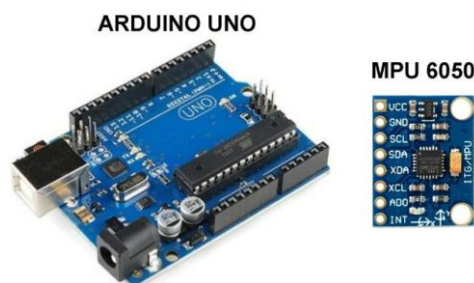
3.2.1 Arduino e módulo MPU 6050

O Arduino Uno é uma placa baseada no Atmega328p. Tem catorze pinos que podem se tornar entradas ou saída, seis dessas ainda possuem a função de pwm. Existem ainda outros seis pinos para saídas e entradas analógicas (Datasheet Arduino Uno, 2023).

A plataforma Arduino uno foi utilizada para o desenvolvimento do *software*, e gravação deste no microcontrolador ATMEGA 328P, que controla todas as entradas saídas do sistema.

O circuito integrado MPU-6050 que contém um giroscópio e acelerômetro de 3 eixos cada, faz parte deste projeto, pois é necessária a determinação do ângulo de inclinação do veículo. Este C.I. utiliza o protocolo de comunicação I2C, a figura 18 mostra o Arduino uno e o módulo MPU 6050.

Figura 18 - Arduino uno e modulo MPU 6050

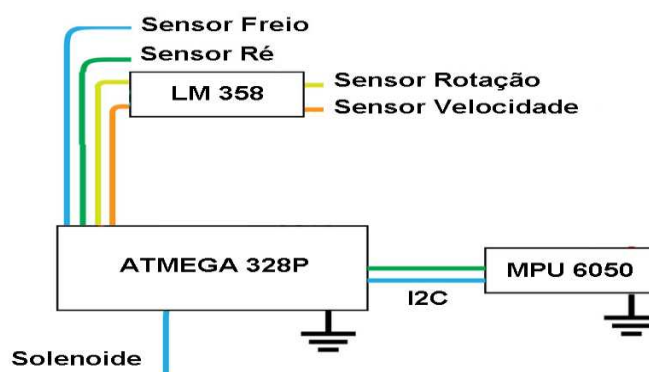


Fonte: Autoria própria (2023)

O programa desenvolvido neste trabalho também faz a leitura dos sinais dos interruptores de freio e de ré e ainda dos sensores de velocidade e de rotação, que neste caso é necessário o uso de um amplificador operacional LM 358, pois a alta impedância de entrada, que é característica deste tipo de circuito integrado, evita com que ocorram interferências nas leituras realizadas pelos módulos do veículo.

A figura 19 retrata as conexões de entradas e saídas do sistema eletrônico.

Figura 19 - Ligações elétricas



Fonte: Adaptado instructables.com (2020)

3.2.2 Prevenção contra acidentes

Uma parte crítica deste trabalho está no fato de se adicionar um solenoide a linha de freio do veículo. Todos os dispositivos estão suscetíveis a falha, por este motivo desenvolveu-se soluções, tanto na parte mecânica quanto na parte eletrônica, a fim de reduzir a probabilidade de mau funcionamento que possam causar acidentes.

3.2.2.1 Proteções mecânica e eletrônica

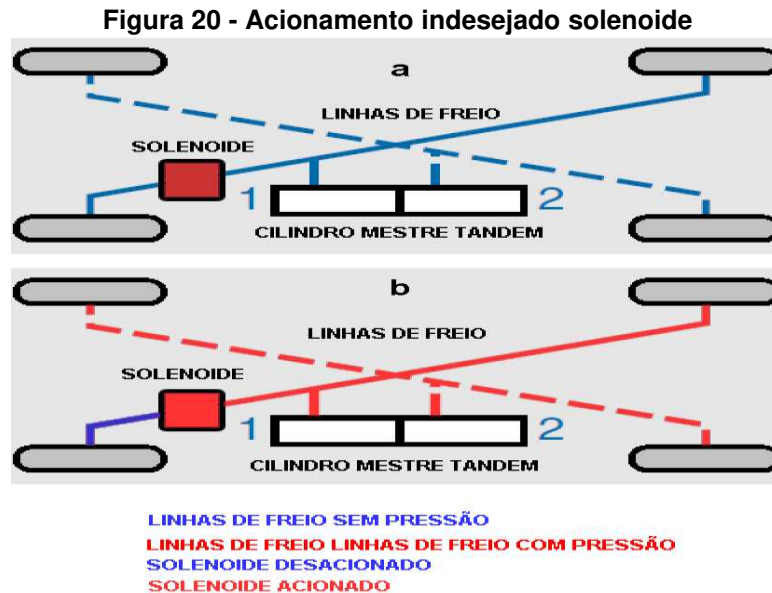
Um acionamento indesejado pode acontecer e ativar o dispositivo com o carro em movimento. Neste caso se tivesse sido escolhido um atuador que freia o veículo, haveria problemas, pois este travaria as rodas podendo causar um grave acidente.

O solenoide em si não é capaz de frear o veículo, mas somente mantém freado após o pedal do freio ser liberado.

Pode-se perceber que na figura 20a ocorreu uma falha no sistema, já que o solenoide foi acionado e o pedal do freio não está fazendo pressão na linha. Percebe-se que nenhuma roda foi travada, o que está correto do ponto de vista da condução do veículo, uma vez que o motorista não está pisando no freio.

Já na figura 20b vê-se que o veículo necessita ser parado, porém o mau funcionamento reduz a ação do freio, pois somente 3 das rodas freiam. Como especificado no item 2.3.3.2 os automóveis devem ser capazes de frear utilizando somente um circuito. Neste projeto em um caso extremo de falha, tem-se ainda a ação

de um circuito completo e a metade do outro circuito, sendo assim capaz de parar o veículo sem maiores problemas.



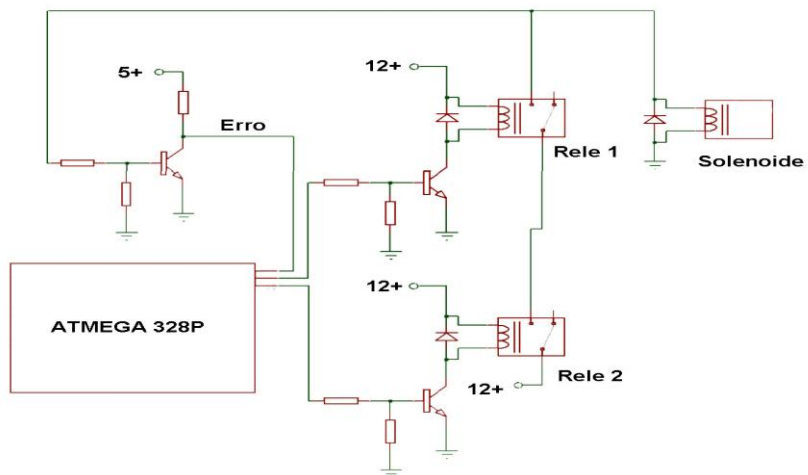
Fonte: Adaptado Reif (2014)

Para uma maior segurança do sistema, foi implementado um sistema paralelo de lógica E, utilizando-se dois relés em vez de um.

A figura 21 indica que os relés serão acionados por saídas diferentes, assim se um curto ocorrer em uma delas a outra impedirá o acionamento indesejado do atuador. No fluxograma da figura 17 é mostrado que o solenoide será acionado se quatro condições forem satisfeitas: Veículo parado, motor em marcha lenta, veículo inclinado (depende da marcha que está engatada) e pedal do freio acionado.

Uma saída digital aciona o relé 1, outra aciona o relé 2 e uma entrada digital faz a leitura para verificar se o solenoide foi acionado ou não. Se a leitura for diferente dos comandos enviados para as saídas dos relés, indica que algum componente não está operando corretamente. Neste caso, o sistema entra em modo de erro e aciona um sinal sonoro intermitente, para avisar o condutor que há um mau funcionamento no sistema.

Figura 21 - Ligações atmega, relés e solenoide



Fonte: Autoria própria (2023)

4 RESULTADOS

Esta sessão apresenta os resultados obtidos, a confecção da placa de circuitos impresso, os componentes utilizados, a instalação no veículo e os testes finais.

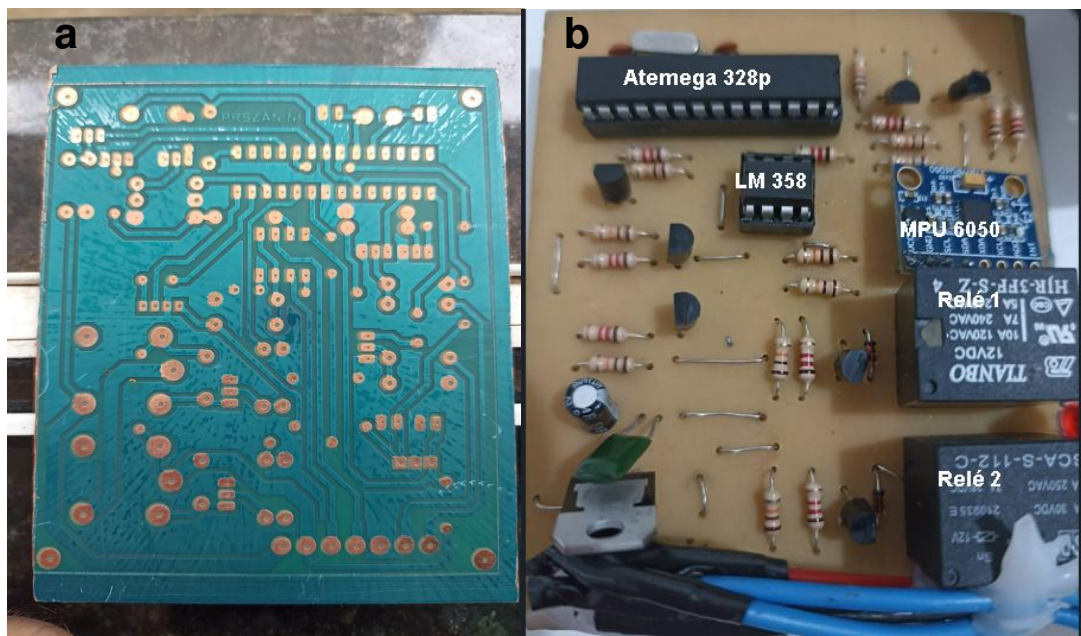
4.1 Placa de circuito impresso

Para o protótipo deste trabalho foi confeccionada uma placa de circuito impresso, ao invés de se usar diretamente o Arduino.

Foi utilizada uma placa de fenolite e realizado um método de impressão com tinta fotossensível.

A figura 22a mostra a placa durante o processo de fabricação. Já a figura 22b, pode se observar a placa final com os componentes soldados.

Figura 22 - Placa de circuito impresso



Fonte: Autoria própria (2024)

4.2 Instalação do sistema

O sistema foi instalado em um veículo Peugeot 207 branco ano 2012. A figura 23 mostra o cofre do motor onde está instalado o solenoide, próximo ao cilindro mestre.

Figura 23 - Solenoide instalado



Fonte: Autoria própria (2024)

Placa conectada ao veículo perto da caixa de fusíveis, embaixo da coluna de direção, observa-se na figura 24.

Figura 24 - Placa instalada

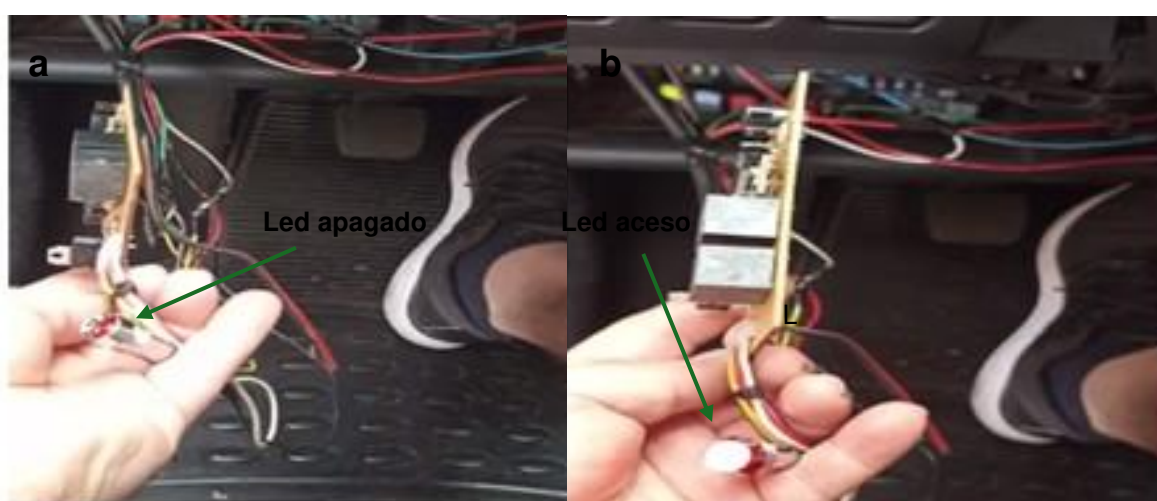


Fonte: Autoria própria (2024)

4.3 Testes dos sensores

Realizando os testes dos sensores, simulando uma inclinação negativa, como se o veículo estivesse em uma colina, vê-se na figura 25a, que ao se pisar no freio o led apagado indicando que o solenoide não foi acionado. Na figura 25b a placa foi inclinada de uma forma a simular uma inclinação positiva, neste caso o led aceso indica o acionamento do solenoide.

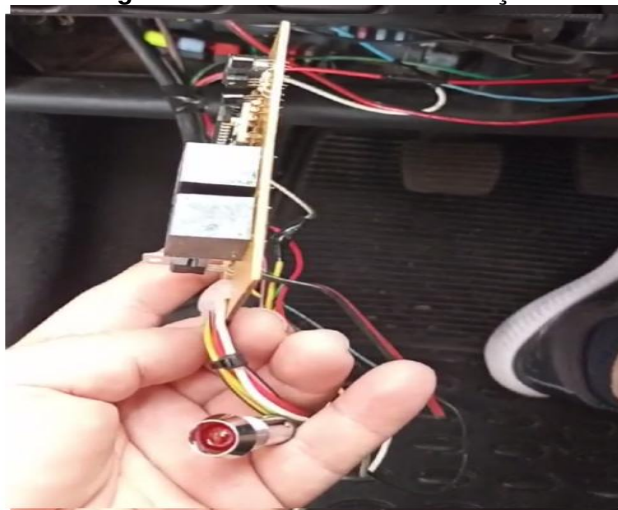
Figura 25 - Testes sensores de freio e inclinação



Fonte: Autoria própria (2024)

O teste do sensor de rotação, está demonstrado na figura 26. Ao se pisar no acelerador o solenoide é desativado.

Figura 26 - Teste sensor de rotação



Fonte: Autoria própria (2024)

4.4 Testes de rua

Foram realizados testes de campo para avaliar o funcionamento do sistema. A rua onde foram efetuados possui um ângulo de inclinação de aproximadamente 6°.

Uma marcação foi feita na rua, com faixas separadas de 5 em 5 cm, a fim de medir quanto o veículo volta antes de iniciar a subida.

Pode-se ver uma progressão da saída da figura 27a até a figura 27f. Percebe-se que até a figura 27c o veículo ainda está voltando, e na figura 27d, está o máximo ponto de retorno antes de começar a subida. Neste teste ele voltou mais de 15 cm.

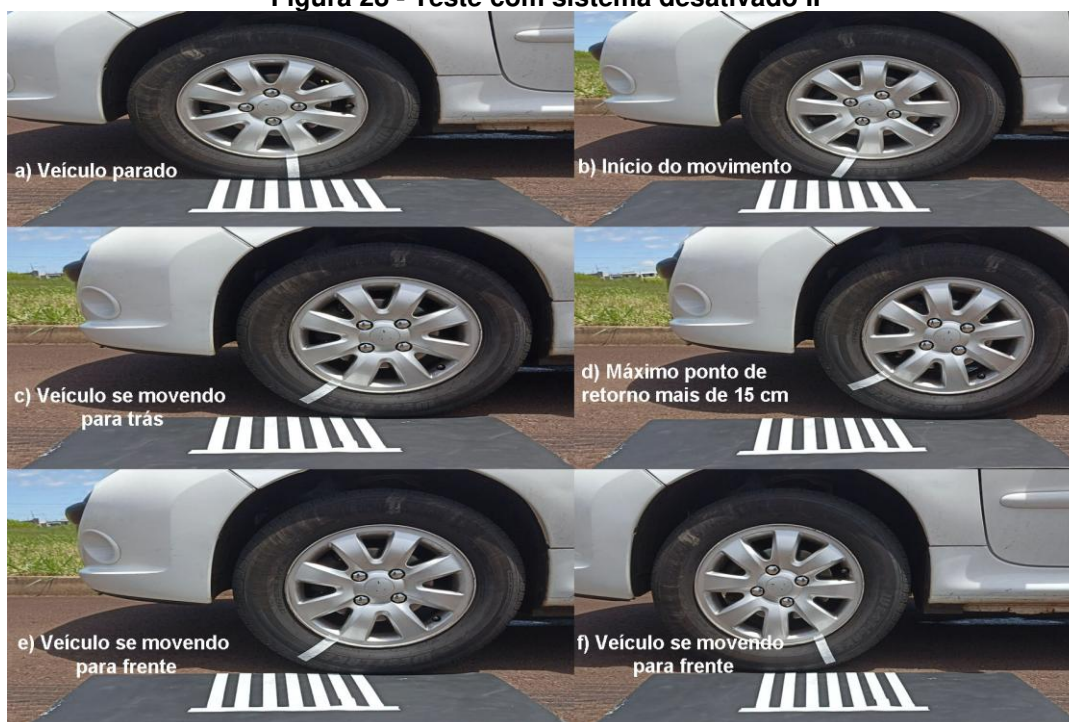
Figura 27 - Teste com sistema desativado I



Fonte: Autoria própria (2024)

Neste outro teste, ainda realizado com o sistema desativado, percebe-se na figura 28d que o carro retornou também mais de 15 cm. Estes valores variam muito pois dependem somente da habilidade do condutor, uma vez que não há nenhum sistema auxiliar.

Figura 28 - Teste com sistema desativado II



Fonte: Autoria própria (2024)

Nas figuras 29a até 29f vê-se a evolução do teste com o sistema ativado. A figura 29b mostra o ponto máximo de retorno com aproximadamente 5 cm.

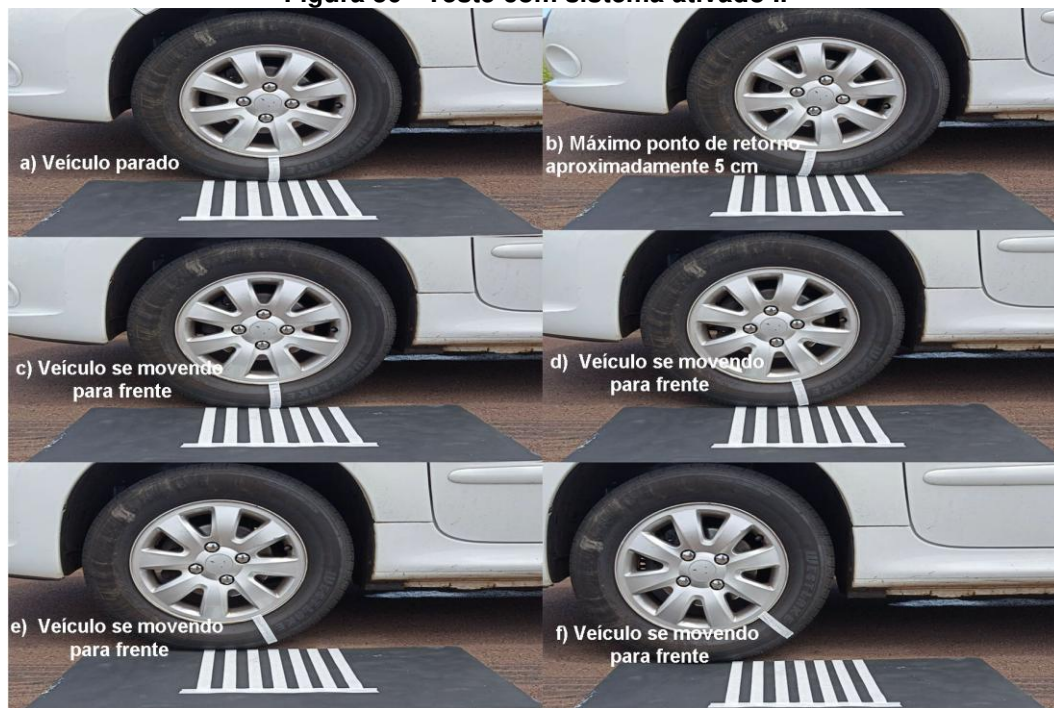
Figura 29 - Teste com sistema ativado I



Fonte: Autoria própria (2024)

Neste segundo teste visualiza-se através da figura 30b que também o veículo retornou aproximadamente 5 cm.

Figura 30 - Teste com sistema ativado II



Fonte: Autoria própria (2024)

5 CONCLUSÃO

A indústria de veículos desde sua criação teve avanços significativos na fabricação, a partir da utilização de recursos tecnológicos para a automatização da empresa em sua linha de produção quanto nos dispositivos que compõem os carros. São notórias as diferenças em veículos produzidos há mais de vinte anos com os disponibilizados no mercado atualmente.

Nos veículos modernos, os aperfeiçoamentos de equipamentos tecnológicos vão desde a parte estrutural, mecânica, elétrica, de conforto, e segurança aos condutores e passageiros. Um elemento importante na segurança é o sistema de freios. Este projeto tornou possível o desenvolvimento de um protótipo para auxílio de partida em aclave para veículos da frota antiga, por meio da fabricação de uma placa de circuitos impresso contendo um microcontrolador Atmega328p programado com a plataforma Arduino.

Para a obtenção dos resultados dividiu-se o processo em partes. A primeira consistiu na confecção da placa de circuitos eletrônicos. A segunda na realização dos testes dos sensores e do solenoide. A terceira, foi a instalação do protótipo em veículo para realização dos testes de rua, os quais podem ser visualizados entre as figuras 22 à 30. Efetuados o total de quatro testes, sendo dois com o sistema desativado e com o sistema ativado.

Durante a realização dos testes, o sistema se mostrou capaz de reduzir consideravelmente quanto o veículo retorna a se retirar o pé do pedal do freio. Com o sistema ativado a quantidade de centímetros que o carro desce não depende somente da habilidade do condutor, embora a rapidez com que se alivia a embreagem seja parte importante do funcionamento.

Portanto, os resultados demonstraram a viabilidade e a eficácia no funcionamento do sistema de partida em aclives para veículos, especialmente para aqueles que não possuem essa tecnologia de fábrica. Ademais, o dispositivo proposto, além de facilitar a vida dos condutores, contribui para aumentar a segurança viária, reduzindo o risco de acidentes causados por falhas humanas na aplicação do freio de estacionamento em locais de aclave. A simplicidade da instalação, torna a solução atrativa tanto para consumidores quanto para oficinas mecânicas.

Por fim, a análise do mercado revelou uma lacuna no atendimento à frota mais antiga, o que justifica a criação de uma solução inovadora e acessível. Com isso, o mercado de automóveis mais velhos apresenta um grande potencial, mas com uma base considerável de veículos em circulação e uma demanda crescente por modernização e segurança, este presente estudo apresenta uma proposta acessível e facilitada para pessoas que buscam mais segurança. Ao oferecer um produto que possa ser facilmente instalado nesses veículos.

Durante a fase de testes dos sensores, foi tentado se utilizar o sensor do corpo de borboleta do veículo para verificar se este estava em marcha lenta ou acelerado, uma vez que a programação seria mais simples, porém no peugeot 207 esta ligação interferiu na leitura da ECU, fazendo com que desligasse o motor.

Desta forma se recomenda para trabalhos futuros utilizar a rede de comunicações CAN do veículo para a aquisição dos dados dos sensores, podendo assim usar os dados do sensor do corpo de borboleta.

REFERÊNCIAS

AMAZON. PQY. **Front Brake Line Lock Kit Heavy Duty Type Roll Control Hill Holder Kit Black.** AMAZON, 2023. Disponível em: https://www.amazon.com/PQYRACING-Front-Brake-Control-Holder/dp/B07PNF6WG6/ref=sr_1_1_sspa?keywords=line2Block&qid=1699117518&sr=8-1-spons&sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9hdGY&th=1. Acesso em: 3 set. 2023.

ARDUINO E ELETRÔNICA. **MPU 6050.** ARDUINO E ELETRÔNICA, 2023. Disponível em: <https://arduinooeletronica.com.br/produto/giroskopio-acelerometro-mpu-6050/>Acesso em: 9 dez. 2023.

AUTOHUBPNEUS. **Cilindro mestre de freio: a importância da manutenção.** AUTOHUB, 2023. Disponível em: <https://autohubpneus.com.br/importancia-da-manutencao-no-cilindro-mestre-de-freio/#:~:text=Cilindro%20mestre%20simples&text=Ele%20funciona%20pressionando%20o%20fluido,frenagem%20em%20todas%20as%20rodas>. Acesso em 10 dez. 2023.

AUTO PEÇAS ARAUCARIA. **Interruptor pedar do freio.** AUTO PEÇAS ARAUCARIA, 2023. Disponível em: <https://www.autopecasaraucarias.com.br/interruptor-freio-marflex-mfx7421?srsId=AfmBOopSyOv2T9B-8EkdJOLeqEkBvnoN8ewUR95SrhPJ0U4QONotjajs> Acesso em 1 out. 2023.

BANZI, Massimo. **Primeiros passos com o Arduino.** São Paulo: Novatec Editora, 2011. 20 p.

BOSCH. **Automotive Handbook.** 8. ed. Plochingen: Robert Bosch GmbH, 2011.

CAO, Huiliang. et. al. **A New Joint Denoising Algorithm for High-G Calibration of MEMS Accelerometer Based on VMD-PE-Wavelet Threshold.** 2021. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/sv/2021/8855878/>. Acesso em: 10 out. 2023.

CARROS IN FOCO. **O automóvel explicado do pneu a carroceria.** CARROS IN FOCO, 2016. Disponível em: <https://carrosinfoco.com.br/2016/03/funcionamento-e-detalhes-do-cilindro-mestre/>. Acesso em: 1 out. 2023.

CANAL DAS PEÇAS. **Como funciona o sensor de velocidade?** CANAL DAS PEÇAS, 2018. Disponível em: <https://www.canaldapeca.com.br/blog/>. Acesso em: 5 out. 2023.

CARVALHO, Vicente Bueno. **Desenvolvimento e Teste de um Monitor de Barramento I2C para Proteção Contra Falhas Transientes.** 87 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016.

DATASHEET MCP 2015. **Stand-Alone CAN Controller with SPI Interface,** 2019. Disponível em: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP2515-Stand-Alone-CAN-Controller-with-SPI-20001801J.pdf>. Acesso em: 17 set. 2023.

DATASHEET ARDUINO UNO. **Arduino® UNO R3**. 2023. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf> Acesso em: 01 de Nov. de 2023.

FLASHARKRACING. **Line Lock Roll Control Brake Lock, Universal**. 2023. Disponível em: <https://flasharkracing.com/products/flashark-line-lock-roll-control-brake-lock-universal-launch-line-lock-kit-for-brakes-electric-solenoid-kitblack>. Acesso em: 05 de Out. de 2023.

GARDINALLI, Geraldo José. **Comparação do desempenho de frenagem simulada x experimental de um veículo de passeio com freios hidráulicos e ABS**. 96 f. Dissertação (Mestrado profissionalizante) – Programa Pós-Graduação Engenharia Automotiva, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

HAYNES. **What is a hill holder (and what does it do)?**, 2016. Disponível em: <https://haynes.com/en-au/tips-tutorials/what-hill-holder-and-what-does-it-do>. Acesso em: 1 out. 2023.

HELIAR. **Sensor de rotação do carro: o que é e qual sua importância?** HELIAR, 2023. Disponível em: <https://www.heliar.com/blog/heliar-blog/sensor-de-rotacao#:~:text=O%20sensor%20de%20rota%C3%A7%C3%A3o%20fornece,suave%20e%20potente%20do%20motor> Acesso em: 30 set. 2023.

INSTRUCTABLE. **Tachometer/Scan Gauge Using Arduino, OBD2, and CAN Bus**. 2021. Disponível em: <https://www.instructables.com/TachometerScan-Gauge-Using-Arduino-OBD2-and-CAN-Bu/>. Acesso em: 27 set. 2023.

INTERMEC. **Catálogo em PDF**. INTERMEC Automotive, 2024. Disponível em: <https://www.intermecautomotive.com.br/catalogo-intermec.pdf> Acesso em: 17 dez. 2024.

KAWAGUCHI, H. **Comparação da Análise de Conforto de Frenagem Subjetiva x Objetiva de Um Veículo de Passeio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 101 p., 2005.

LACERDA, Marina; ALVES, Tamine; NASCIMENTO, Yan. **Rede Can**, 2023. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2019-1/vf/can/arquitetura.htm>. Acesso em: 01 nov 2023.

LEAL, L.M., da ROSA, E., NICOLAZZI, L.C. **Uma introdução a modelagem quase-estático de veículos automotores de rodas**. UFSC, Florianópolis, 2001.

MORALATE. **Sensor Rotação Motor Man D08**. MORALATE, 2023. Disponível em: <https://www.morelate.com.br/sensor-rotacao-motor-man-d08>. Acesso em: 14 set 2023.

MOTORTREND. **Install a Brake Line-Lock: How to Do It**. MOTORTREND, 1996. Disponível em: <https://www.motortrend.com/how-to/49619-brake-line-lock-install/>. Acesso em: 25 set. 2023.

MÜLLER, M. B. **Proposta de Uma Metodologia Para Desenvolvimento de Novo Fornecedor de Freios Traseiros a Tambor Para Veículos Já em Produção.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 71 p., 2009.

MUSTAFASADE, Arif. et. al. **A vibrating beam MEMS accelerometer for gravity and seismic measurements,** 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-67046-x>. Acesso em: 09 set. 2023.

OFICINA AGRO. **Servo Freio - Funcionamento do Freio Hidráulico.** You tube, 9 de nov. de 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=A-pDYPIMCzM>. Acesso em: 09 out. 2024.

PASSARO, Vittorio M.N. et al. **Gyroscope Technology and Applications: A Review in the Industrial Perspective.** 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/10/2284>. Acesso em: 13 set. 2023.

PIETRO, R. D. **Freios Hidráulicos: Da Física Básica à Dinâmica Veicular, Do Sistema Convencional aos Sistemas Eletrônicos.** São Paulo: Senai-SP Editora, 2014.

PIZYBLSKI, Manoela Gonçalves. **Estudo de ferramentas de comunicação de dados para medição, calibração e testes em sistemas veiculares.** 57p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Eletrônica) - Departamento Acadêmico de Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

PUHN, Fred. **Brake Control and Driver Assistance Systems.** Disponível em: <https://archive.org/details/BrakeHandbookFredPuhn/page/n49/mode/2up>. 1985. Acesso em: 11 set. 2023.

REIF, Konrad. **Brakes, brake control and driver assistance systems: Function, Regulation and Components,** 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-03978-3>. Acesso em: 10 set. 2023.

REISS, Jason. **What is line-lock, and how does it work?** 2023. Disponível em: https://www.holley.com/blog/post/what_is_line-lock_and_how_does_it_work_/#:~:text=The%20activated%20line%2Dlock%20closes,brakes%20on%20the%20driven%20wheels. Acesso em: 15 set. 2023.

ROCHA, Fábio Saraiva da. et. al. **Acelerômetro eletrônico e a placa Arduíno para ensino de Física em tempo real.** 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2014v31n1p98>. Acesso em: 05 nov. 2023.

RODOBENS. **Interruptor de Luz de Ré - 3-RHO - 4425 – Unitário.** RODOBENS, 2023. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/35587/1/estudocurtocircuitounidade.pdf> Acesso em: 15 set. 2023.

SCHOLEM, Bob. **Classic Car Brake Master Cylinder Types**. 2021. Disponível em: <https://classicautoadvisors.com/2021/05/17/classic-car-brake-master-> Acesso em: 23 set. 2023.

SÓCARROS. **O que é Interruptor de Luz de Freio**. SÓCARROS, 2024. Disponível em: <https://corollaimportado.com.br/glossario/o-que-e-interruptor-de-luz-de-freio/> Acesso em: 03 jun. 2024.

SOUZA, Fabio. **Comunicação I2C**. 2023. Disponível em: <https://embarcados.com.br/comunicacao-i2c/>. Acesso em: 5 set. 2023.

UMEC. **Interruptor de Marcha Ré**. UMEC, 2023. Disponível em: Disponível em: <https://umec.com.br/re>. Acesso em: 15 ago 2023.

WORSPRESS. **Microcontroladores**. Disponível em: <https://organizaodecomputadores.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/08/microcontroladores1.png>. Acesso em: 9 jan. 2025.

YOSHIOKA, Leopoldo. **Rede de Comunicação CAN (Controller Area Network)**. 2018. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7759043/mod_resource/content/1/Aula%20-%20-%20Rede%20CAN%20%20ver_2023.pdf. Acesso em: 9 out. 2023.

ZURICK INSTRUMENTS. **Application Note: Control of MEMS Coriolis**. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/321567176>. Acesso em: 21 set. 2023.