



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CAMPUS CARAÚBAS
INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

RONNIS TARLES DANTAS COSTA

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE E BANCADA DE TESTE PARA SENSOR
DE VELOCIDADE DO SISTEMA DE FREIO ANTITRAVAMENTO**

CARAÚBAS – RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C838d Costa, Ronnis Tarles Dantas .
DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE E BANCADA DE TESTE
PARA SENSOR DE VELOCIDADE DO SISTEMA DE FREIO
ANTITRAVAMENTO / Ronnis Tarles Dantas Costa. -
2023.
52 f. : il.

Orientador: Dorgival Albertino da Silva
Júnior.
- Universidade Federal Rural do Semi-árido, --
Selecione um Curso ou Programa--, 2023.

1. sensores de velocidade. 2. freio
antitravamento. 3. bancada de teste. I. Júnior,
Dorgival Albertino da Silva , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

...
...
...

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RONNIS TARLES DANTAS COSTA

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE E BANCADA DE TESTE PARA SENSOR
DE VELOCIDADE DO SISTEMA DE FREIO ANTITRAVAMENTO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 10 / 03 / 2023

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 DORGIVAL ALBERTINO DA SILVA JUNIOR
Data: 18/05/2023 17:43:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Dorgival Albertino da Silva Júnior (UFERSA)

Presidente

**DIEGO DAVID
SILVA DINIZ:**
 Assinado digitalmente por DIEGO DAVID SILVA
DINIZ: 
DN: CN=DIEGO DAVID SILVA DINIZ: 
OU=UFERSA - Universidade Federal Rural Do
Semi-Árido, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2023.05.18 15:16:17-03'00'
Foxit PhantomPDF Versão: 10.1.4

Prof. Dr. Diego David Silva Diniz (UFERSA)

Membro Examinador

**ANA CLAUDIA DE
MELO CALDAS
BATISTA:**
 Assinado de forma digital por
ANA CLAUDIA DE MELO CALDAS
BATISTA: 
Dados: 2023.05.18 16:20:02 -03'00'

Prof. Dra. Ana Claudia de Melo Caldas Batista (UFERSA)

Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram e me proporcionaram chegar até esse momento da minha vida acadêmica. Não citarei nomes pois são muitos, mas lembro de cada um deles que me ajudaram e ajudam de inúmeras formas até os dias de hoje. Infelizmente com algumas dessas pessoas não poderei abraçá-las e relatar algumas de minhas conquistas, pois essas já não se encontram mas aqui.

RESUMO

O Conselho Nacional de Trânsito brasileiro (CONTRAN), estabeleceu que os veículos fabricados ou importados para o Brasil a partir do ano de 2014 devem apresentar o sistema de freio Anti-Lock Brake System (ABS). Dessa forma, é indispensável que os meios de diagnósticos para esse importante item de segurança veicular estejam em constante atualização, afim de atender as demandas desse mercado. Este trabalho descreve o desenvolvimento de um software para bancada de teste destinada a sensores de velocidade da roda do sistema de freio antitravamento. O gerenciamento da mesma deve ser feito por um Raspberry Pi e programação Python. A interface gráfica do software foi construída na plataforma Qt Designer e posteriormente integrada ao código. Os valores de controle utilizados na programação são calculados por um aplicativo desenvolvido na plataforma MIT App Inventor 2. Nos procedimentos para construção da bancada de teste, são apresentados os desenhos mecânicos do projeto e descrições dos procedimentos de confecção e montagem de todos os componentes essenciais. Além disso, é proposto um esquema elétrico de controle com especificações de componentes e configurações pertinentes aos mesmos. Por fim, são apresentadas diferentes linhas de diagnóstico usando a bancada juntamente com um scanner automotivo e osciloscópio.

Palavras-chave: sensores de velocidade; freio antitravamento; bancada de teste.

ABSTRACT

The Brazilian National Traffic Council (CONTRAN), established that vehicles manufactured or imported into Brazil from the year 2014 must have the Anti-Lock Brake System (ABS). In this way, it is essential that the means of diagnosis for this important item of vehicle safety are constantly updated, in order to meet the demands of this market. This work describes the development of a software for a test bench intended for anti-lock brake system wheel speed sensors. Its management must be done by a Raspberry Pi and Python programming. The software's graphical interface was built on the Qt Designer platform and later integrated into the code. The control values used in programming are calculated by an application developed on the MIT App Inventor 2 platform. In the test bench construction procedures, the mechanical drawings of the project and descriptions of the manufacturing and assembly procedures of all essential components are presented. In addition, an electrical control scheme with component specifications and relevant configurations is proposed. Finally, different diagnostic lines are presented using the bench together with an automotive scanner and oscilloscope.

Keywords: speed sensors; anti-lock brake; test bench.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes do sistema de freio ABS.....	22
Figura 2 – Fluxograma de execução do aplicativo para o cálculo das frequências.....	23
Figura 3 – Fluxograma de execução do aplicativo para cálculo de ajuste da frequência.....	23
Figura 4 – Tela principal Qt Designer.....	25
Figura 5 – Parâmetros do pneu.....	27
Figura 6 – Trecho A da programação em blocos desenvolvida (tela 1).....	29
Figura 7 – Trecho B da programação em blocos desenvolvida (tela 1).....	30
Figura 8 – Trecho C da programação em blocos desenvolvida (tela 1).....	30
Figura 9 – Trecho D da programação em blocos desenvolvida (tela 1).....	30
Figura 10 – Tela inicial do aplicativo desenvolvido.....	31
Figura 11 – Trecho E da programação em blocos desenvolvida (tela 2).....	32
Figura 12 – Trecho F da programação em blocos desenvolvida (tela 2).....	32
Figura 13 – Tela de ajustes do aplicativo desenvolvido.....	33
Figura 14 – Relação entre raio da roda, frequência de comando motor e RPM.....	33
Figura 15 – Aceleração do motor de passo.....	34
Figura 16 – Nome do objeto.....	34
Figura 17 – Tela principal da interface da bancada.....	35
Figura 18 – Tela contendo o campo de ajuda da interface.....	35
Figura 19 – Exemplo de um guia de diagnóstico.....	36
Figura 20 – Exemplo das velocidades que a bancada pode simular.....	36
Figura 21 – Exemplo de uma tela de ajuste da velocidade simulada.....	37
Figura 22 – Rotor.....	38
Figura 23 – Montagem do rotor.....	38
Figura 24 – Suporte do rotor.....	38
Figura 25 – Suporte do rotor (dimensões).....	39
Figura 26 – Suporte auxiliar do motor (dimensões).....	39
Figura 27 – Tensionamento da correia.....	40
Figura 28 – Sistema mecânico da bancada.....	40
Figura 29 – Esquema elétrico da bancada.....	42
Figura 30 – Esquema de ligação da bancada com o scanner.....	43
Figura 31 – Guia de diagnóstico desenvolvido e sugerido para sensores de fácil acesso.....	44

Figura 32 – Guia de diagnóstico desenvolvido e sugerido para sensores de difícil acesso.....	45
Figura 33 – Campos onde se encontra o defeito.....	46
Figura 34 – Esquema de ligação da bancada com o osciloscópio.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Componentes do rotor.....	37
Tabela 2 – Controle de PPR e corrente do driver TB6600 4A.....	41

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABS	<i>Anti-Lock Brake System</i> (Sistema de freio antitravamento)
SO	Sistema Operacional
B	Valor da banda de rodagem em milímetros
h	Percentual da banda de rodagem correspondente a altura do perfil do pneu
D	Diâmetro interno do pneu em polegadas
R_P	Raio da roda do veículo
C_P	Perímetro do pneu
RPM	Rotação Por Minuto
V_s	Velocidade simulada
P_b	Número de dentes da polia da bandeja giratória
P_m	Número de dentes da polia do motor
ω_m	Valor de RPM do motor de passo
F_c	Frequência de comando do motor de passo
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i> (modulação por largura de pulso)
n	Configuração do número de passos por volta do motor
V_{Scan}	Velocidade simulada segundo o scanner
F_{Ajus}	Frequência de comando do motor de passo ajustada
MIT	Massachusetts Institute of Technology
R	Raio do pneu no código do aplicativo
C	Perímetro do pneu no código do aplicativo
W	RPM do motor de passo no código do aplicativo

GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i> (Entradas e saídas de uso geral)
hf	Frequência de comando do motor no código Python
SAE	Society of Automotive Engineers International
PPR	Passos por revolução do motor
CAN	<i>Contoller Area Network</i> (Rede de comunicação do veículo)
GND	Referencial da diferença de potencial
VCC	Diferença de potencial

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS	13
2.1.	Geral	13
2.2.	Específicos	13
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1.	Sistema de freio	14
3.2.	Manutenção e diagnóstico veicular	16
3.3.	Plataforma MIT App Inventor 2	18
3.4.	Linguagem de programação Python	19
3.5.	Raspberry Pi	20
4.	METODOLOGIA	22
4.1.	Modelo de veículo compatível com a bancada	22
4.2.	Giro da roda fônica para a simulação de velocidade do sistema de freio <i>Anti-Lock Brake System</i> (ABS)	22
4.3.	Exemplificação dos cálculos com o aplicativo	22
4.4.	Características do código Python	23
4.5.	Descrição da interface gráfica	24
4.6.	Sistema mecânico da bancada	25
4.7.	Circuito elétrico da bancada	26
4.8.	Bancada de teste em conjunto com scanner automotivo	26
4.9.	Bancada de teste em conjunto com osciloscópio	26
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5.1.	Definição do modelo de veículo compatível com a bancada	27
5.2.	Equações para o cálculo da frequência de comando do motor	27
5.3.	Aplicativo para cálculo das frequências de comando do motor de passo	29

5.4.	Código Python	33
5.5.	Interface gráfica	34
5.6.	Componentes do projeto mecânico	37
5.7.	Constituintes do esquema elétrico	41
5.8.	Bancada de teste em conjunto com scanner automotivo	42
5.9.	Fluxogramas de diagnósticos	44
5.10	Bancada de teste em conjunto com osciloscópio.....	47
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
7.	REFERÊNCIAS	50

ARTIGOS PUBLICADOS

Costa, R. T. D., & da Silva Júnior, D. A. (2022). Desenvolvimento de um software para bancada de teste do sistema de freio antitravamento. *Conjecturas*, 22(14), 917-932.

<https://doi.org/10.53660/CONJ-1854-2N08B>

Costa, R. T. D., & da Silva Júnior, D. A. (2022). Procedimentos para a construção de uma bancada de teste para sensor de velocidade do sistema de freio antitravamento. *Conjecturas*, 22(15), 242-258.

<https://doi.org/10.53660/CONJ-1853-2N08B>

1. INTRODUÇÃO

O sistema de freio *Anti-Lock Brake System* (ABS) é um importante item de segurança veicular (PECOLT et al., 2021), onde é utilizado na indústria automotiva com o intuito de reduzir a distância de frenagem, ao passo que aumenta o controle direcional sobre o veículo (PECOLT et al., 2021). Para que isso ocorra, o ABS modula a pressão de freio através da relação de escorregamento, sendo esta uma variável de controle do sistema (KOYLU; TURAL, 2021).

Essa relação de escorregamento é calculada com base nas velocidades das rodas e do veículo em si (KOYLU; TURAL, 2021). Quando o veículo está em movimento, o sensor de velocidade da roda produz uma onda, em que a sua frequência é proporcional a sua velocidade (FERNÁNDEZ et al., 2021; PECOLT et al., 2021). Isso permite afirmar que o pleno funcionamento do sensor de velocidade da roda é essencial para o bom desempenho do sistema de freio ABS como um todo.

O principal desafio para o profissional de reparo automotivo é reduzir os subfatores sem eliminar potenciais causadores do problema (ALTINISIK; HUGUL, 2020). Pode-se citar, como método de diagnóstico, a inspeção visual, que durante as últimas décadas foram aprimoradas com a introdução de equipamentos modernos, ampliando as capacidades do procedimento (ALTINISIK; HUGUL, 2020). Diante deste cenário, uma bancada de teste para sensor de velocidade da roda do ABS amplia as possibilidades de diagnóstico nesse sistema.

Este trabalho descreve os procedimentos de construção da bancada de teste e o desenvolvimento de seu software. Tendo como finalidade ser capaz de reproduzir a faixa de operação de um sensor de velocidade da roda do ABS, para que assim, seja possível simular o valor da velocidade interpretado pela unidade eletrônica, em uma das rodas com o veículo estacionado.

Essas simulações são feitas através da rotação da roda fônica do ABS por meio de um sistema mecânico, de duas polias e uma correia, onde uma das polias é acoplada a um motor de passo e a outra é acoplada a roda fônica. Os valores de rotações do motor correspondem a valores de velocidade da roda do veículo.

Na montagem do circuito eletrônico da bancada de teste, devem ser utilizados diferentes módulos e drivers prontos. Pode-se citar como exemplo, módulos reguladores de tensão, que permite ajustar uma tensão de entrada mais alta para uma de saída mais baixa e drive que auxilia

no gerenciamento do motor de passo facilitando o controle da rotação. A utilização desses componentes tornaria a confecção e reprodução do circuito para estudo mais fácil e prática.

Para facilitar a utilização da bancada pelo usuário foi desenvolvida uma interface gráfica na plataforma Qt Designer. Essa plataforma permite a criação de interfaces através de elementos prontos como botões e caixas de texto onde se pode configurar tamanhos, formas e cores desses elementos. Com a área de interação já pronta, é possível salvá-la na forma de um arquivo e chamá-lo dentro do código escrito em Python. Onde esse código controla a bancada através de um Raspberry Pi.

Dessa forma, o usuário pode utilizar facilmente a bancada de teste para sensor de velocidade da roda do ABS. Permitindo assim, usar a bancada em conjunto com outros equipamentos de diagnóstico automotivo como scanner e osciloscópio, de forma a coletar um maior conjunto de dados para que se possa chegar a um diagnóstico mais preciso e em menos tempo. Dessa forma, tem-se que o tempo de serviço é maximizado e, com isso, o cliente passa a ter seu veículo à disposição em menos tempo.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Descrever os procedimentos para a construção de uma bancada de teste para sensor de velocidade da roda do sistema ABS juntamente com seu software. A bancada deve auxiliar no diagnóstico de falhas desse sistema de freio automotivo sendo gerenciada por um Raspberry Pi.

2.2. Específicos

- Encontrar uma relação matemática que associa os parâmetros do pneu do veículo com a frequência de comando de um motor de passo.
- Criar um aplicativo capaz de calcular as frequências de comando do motor de passo com base nos parâmetros encontrados no pneu do veículo.
- Desenvolver um código em linguagem de programação Python que atenda às funcionalidades propostas à bancada.
- Desenvolver uma interface gráfica para o código Python de modo a facilitar a utilização da bancada pelo usuário.
- Propor um sistema mecânico capaz de girar a roda fônica do veículo, para que assim, possa simular a velocidade da roda.
- Descrever os principais elementos que compõem o circuito elétrico da bancada.
- Propor linhas de diagnóstico usando a bancada de teste juntamente com um scanner automotivo e osciloscópio.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Sistema de freio

A principal função do sistema de freio automotivo consiste na redução da velocidade do veículo (MANOJ et al., 2023), onde esses veículos podem ser de diferentes categorias ou funções. Quando é pensando em veículo, geralmente é associado a automóvel de passeio, no entanto, um caminhão ou um trator também engloba na categoria automotor. Todos estes necessitam de um sistema de freio para que possam exercer sua função de auxiliar a sociedade no processo de locomoção no seu dia-a-dia.

No entanto, os sistemas de freios vão além de simplesmente reduzir a velocidade do veículo e tornar o veículo operável. Os diferentes sistemas de freios são utilizados nos automóveis para controlar a velocidade e também garantir a segurança do motorista, assim como seus passageiros (MULANI et al., 2022).

Desse modo, os sistemas de freios não são responsáveis somente por possibilitar certas operações do veículo, também são indispensáveis à segurança de quem se encontra no seu interior. Dois dos tipos de freios comumente encontrados em veículos são o freio a disco e o freio a tambor.

O sistema de freio a disco automotivo consiste em um disco que gira juntamente com o cubo da roda (LI et al., 2021). Nesse sistema as pastilhas de freio são pressionadas contra os discos, a fim de gerar torque de fricção. (LI et al., 2021). As forças utilizadas para pressionar as pastilhas contra os discos podem ser hidráulicas ou pneumáticas.

O uso de freios pneumáticos é preferível em veículos pesados e de transporte como caminhões e ônibus, devido a velocidade de acionamento ser maior do que em sistemas hidráulicos. Algumas características que as pastilhas de freios devem ter são propriedades de atrito e estabilidade sob condições diversas de velocidade e carga, além de possuir alta durabilidade e resistência a temperatura (YIGREM; FATOBA; TENSAY, 2022).

As pastilhas são os componentes mais importantes e necessários do sistema de freio de um automóvel, são elas que ajudam o veículo a parar quando pressionadas no disco de freio em rotação (BHAKUNI; MULEY; RUCHIKA, 2023). Desse modo, para garantir a eficiência do sistema de freio a disco é indispensável que as pastilhas de freio estejam em perfeitas condições de uso.

O sistema de freio a tambor tem sido amplamente utilizado como componentes de segurança dentro do automobilismo, esse sistema pode equipar desde veículos leves como os de passeio até veículos pesados como caminhões e ônibus (RAMESH; SUNDAR, 2021). De forma semelhante, ao sistema de freio a disco as lonas de freio exercem as mesmas funções das pastilhas e o tambor a mesma função do disco.

No entanto, o sistema a tambor, as lonas de freio são pressionadas contra a parede interna do tambor, para gerar o torque de fricção. Também necessita-se que as lonas de freio para o sistema a tambor, assim como as pastilhas para o sistema a disco, estejam em perfeita condição de uso para a eficiência da frenagem.

Os desgastes das pastilhas e das lonas ocorrem na superfície de contato, ou seja, na interface do disco com as pastilhas e no contato das lonas com o tambor. Em relação ao desgaste dos discos, eles ocorrem em suas laterais, já para o desgaste do tambor ocorre em sua parede interna.

O sistema de freio ABS é um importante sistema de segurança ativa em um veículo, que através do controle de patinagem da roda maximiza sua frenagem (SHIZA; SINGH, 2022). Com os avanços das tecnologias automobilísticas, esse sistema de freio tem ganhado cada vez mais eficiência. De acordo com o CONTRAN o ABS passou a ser de caráter obrigatório desde o ano de 2014, nos veículos importados, ou fabricados em território nacional.

Além desse ganho de eficiência, o sistema ABS passou a trabalhar em conjunto com outros sistemas de segurança do veículo. Um desses sistemas que trabalha em conjunto com o ABS é o sistema de controle de estabilidade do veículo, esse sistema tem a finalidade de ajudar no controle da trajetória do automóvel em situações de perda de aderência.

Os componentes mecânicos presentes no sistema de frenagem englobam itens como: pedais de freio, cilindro mestre, reservatório, linhas e mangueiras de freio, dentre outros (SHIZA; SINGH, 2022). Suas dimensões e formas desses componentes variam de acordo com o modelo do veículo.

Em um sistema ABS, além dos componentes mencionados anteriormente, apresentam outros três componentes primordiais, sendo eles um sensor de velocidade, uma roda fônica e uma unidade de controle eletrônico. O sensor de velocidade pode ser do tipo indutivo ou de efeito Hall, onde a escolha de um desses depende do projeto do veículo.

Independente do tipo de sensor de velocidade utilizado no sistema ABS, sua função é promover um sinal elétrico, que é proporcional à quantidade de giro da roda. Para cada roda do veículo é destinado um sensor de velocidade, desse modo, é possível a identificação da quantidade de giro de cada uma das rodas de forma independente.

A roda fônica do sistema de freio ABS pode apresentar furos, rasgos ou ressaltos em sua superfície. Esse componente é fabricado em metal e é justamente os picos e os vales que permitem a geração do sinal elétrico do sensor de velocidade da roda, que deve estar a uma distância especificada da superfície da roda fônica.

Com isso, à medida que a roda do veículo gira a roda fônica acoplada gira também, de modo que ambas apresentam a mesma velocidade angular. O sinal elétrico gerado pelo sensor de velocidade é então enviado à unidade de controle eletrônico do ABS. Essa unidade interpreta o sinal elétrico vindo do sensor e cruza com valores de tempo, conseguindo assim, calcular a velocidade de cada roda do veículo de forma individual.

Com isso a unidade de controle eletrônico do ABS consegue fazer o comparativo entre as velocidades das rodas do veículo e identificar quando uma ou mais roda estão paradas. Com base nesses dados a unidade controla o atuador de frenagem presente na roda de forma individual, levando em conta a situação em que a roda se encontra em determinado instante de tempo.

3.2. Manutenção e diagnóstico veicular

O Brasil é um país com um vasto território onde a principal forma de transporte de bens e pessoas são através de automóveis. Observando esse cenário, é imprescindível que esses veículos se encontrem em condições de operação de forma constante e segura. No entanto, para que esses veículos operem nessas condições é indispensável uma manutenção eficiente.

A manutenção consiste em um conjunto de procedimentos com o intuito de manter um sistema em uma operação especificada, para isso é reparando falhas ou tomando precauções para evitá-las ou minimizá-las da melhor forma possível (THEISSLER et al., 2021). Para diferentes procedimentos de manutenção existem distintos profissionais e variedades de ferramentas.

Em relação à manutenção veicular, uma das principais ferramentas da atualidade utilizadas pelos reparadores é o scanner automotivo. Esse equipamento consegue se comunicar

com as diversas unidades de controle do veículo através da tomada de diagnóstico OBD. Com o scanner é possível verificar códigos de falhas que estão presentes no veículo e códigos de falhas que ocorrem e não estão mais presentes.

As falhas não atuais são frutos de uma solução do problema sem a posterior passagem do veículo pelo scanner para apagá-las ou de um defeito intermitente em que a falha não se encontra presente naquele momento.

Outra funcionalidade bastante explorada por reparadores automotivos é a tela para visualização dos valores atuais dos sensores do veículo, onde nesse campo é possível a observação de valores vindos dos sensores do veículo (COSTA; SILVA JUNIOR, 2022). Através dessa tela, é possível a observação dos valores de temperaturas, pressões, velocidades, dentre outros, permitindo análises e diagnósticos baseados nesses valores que visualizados pelo reparador em tempo real durante determinado teste (COSTA; SILVA JUNIOR, 2022).

Outra importante ferramenta de diagnóstico veicular é o osciloscópio. Com ele é possível realizar uma análise gráfica dos comportamentos de diversos itens elétricos e eletrônicos. Os gráficos são baseados em valores de tensão em função do tempo ou de corrente em função do tempo.

Com esse dispositivo, é possível analisar atuadores, sensores e unidades de controle eletrônico. Um exemplo de atuador que pode ser analisado com esse equipamento é o bico injetor, em que é possível verificar o tempo de abertura e fechamento real do injetor. Onde a abertura e fechamento são observados em duas curvas distintas, uma de tensão em função do tempo e outra de corrente em função do tempo.

Em relação aos sensores é possível analisar diferentes tipos, como sensores de temperatura, pressão, rotação, dentre outros. Onde essas análises podem ser feitas diretamente no veículo ou em bancadas de teste apropriadas para determinado componente.

Em relação às unidades de controle eletrônico, um teste possível de ser realizado é a verificação da comunicação da rede CAN (*Controller Area Network*) entre as unidades de controle eletrônico do veículo. Tendo em vista que esses componentes compartilham informações entre si através dessa rede e que a comunicação do veículo com o scanner também acontece por meio dela, é imprescindível sua integridade, tanto para o perfeito funcionamento do veículo como para o diagnóstico com o scanner.

3.3. Plataforma MIT App Inventor 2

O uso de aplicativos e softwares se tornaram indispensáveis no cotidiano das pessoas, estes auxiliam em diferentes áreas, como na educação, no transporte e saúde, onde são utilizados desde a busca para soluções de problemas, como em verificação de localizações, ou até mesmo no auxílio de tomadas de decisões em diferentes âmbitos (LEITE et al., 2022). Com o crescente uso desses aplicativos e softwares, também cresceu a demanda por novas ferramentas e plataformas de desenvolvimento.

Diversas ferramentas e plataformas surgiram oferecendo diferentes soluções para o desenvolvimento desses aplicativos e softwares. Uma dessas plataformas é a MIT App Inventor, que é um ambiente destinado ao desenvolvimento de aplicativos, onde originalmente era fornecido pelo Google e atualmente mantido pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) (SANGEETHALAKSHMI et al., 2021).

O MIT App permite que até mesmo iniciantes na programação criem aplicativos para os sistemas operacionais Android e IOS (SANGEETHALAKSHMI et al., 2021). Isso proporciona um número maior de desenvolvedores que buscam soluções para problemas distintos, levando em conta a possibilidade de desenvolver aplicativos sem a necessidade de grande domínio em programação.

Essa plataforma permite o desenvolvimento de aplicativos através de blocos que podem ser arrastados e soltos no local desejado (AMORAN et al., 2021). Esses blocos são botões, caixas de texto, legendas, imagens, dentre outros. Para facilitar ainda mais a configuração dos *layouts* dos aplicativos é possível colocar esses blocos dentro de caixas organizadoras, que são visíveis somente no momento da confecção do aplicativo.

Com os blocos inseridos na tela de desenvolvimento do aplicativo é possível configurar suas cores, tamanhos e formas. Além dos tipos de fontes dos textos e configurações como *layout* rolável ou fixo, configurações de ícone do aplicativo, definição da versão do aplicativo, dentre outros.

A programação do aplicativo é feita em outra aba da plataforma através de blocos contendo operações matemáticas, laços de repetições semelhantes a programação convencional, blocos de decisões lógicas de verdadeiro ou falso, dentre outros. De forma que para se inserir uma equação matemática, por exemplo, esta deve ser adaptada e desmembrada de certo modo até ser possível reescrevê-la com esses blocos.

3.4. Linguagem de programação Python

A linguagem de programação Python vem sendo uma das linguagens mais utilizadas no desenvolvimento de projetos. Principalmente em projetos em que o gerenciamento é feito por um Raspberry Pi. O Python possui código aberto e compatibilidade com diversos sistemas operacionais, como Linux, macOS e Windows (MCKELVEY; GIBANICA, 2021). Com o sistema nativo do Raspberry Pi sendo uma derivação do sistema Linux, a compatibilidade ocorre sem a necessidade de procedimentos extras ou instalações de outros programas.

O Python vem crescendo em popularidade por ser uma linguagem bem documentada, suportar programação orientada a objetos e apresentar diversos pacotes disponíveis, além de ser mais fácil de ler e usar do que linguagens como C, C++ e Fortran (CHING et al., 2022; DOMÍNGUEZ et al., 2021). Pode-se citar como exemplos desses pacotes as bibliotecas *time*, *math* e *RPi.GPIO*.

A biblioteca *time* permite o controle do tempo de execução entre comandos, o que possibilita suavizar o acionamento de um motor de passo, por exemplo. Outra aplicação possível de uso dessa biblioteca é a possibilidade de trabalhar com tarefas em horários pré-determinados, como por exemplo, em um sistema de irrigação de plantas controlado através de código Python. Nessa situação o programador pode determinar que as plantas sejam regadas em um horário específico do dia durante um determinado tempo.

A biblioteca *math* está relacionada com a matemática, ela possibilita a introdução de funções como para o cálculo do seno e cosseno, cálculos envolvendo o número pi, dentre outros. Dessa forma, o uso desta dentro de códigos que contenham equações matemáticas quase sempre se torna indispensável.

A biblioteca *RPi.GPIO* é utilizada para o controle das portas de entrada e saída do Raspberry Pi. Com ela é possível comandar essas portas de duas formas distintas, a primeira delas é através da numeração dos pinos contidos na placa do Raspberry Pi e a outra é através das nomenclaturas dos pinos.

A programação Python apresenta como característica de uma linguagem interpretada de alto nível e de uso geral, sendo focada na programação eficiente por seus usuários (SCHMITT et al., 2023). O que atrai diversos desenvolvedores de softwares para o uso dessa linguagem.

Outro fato que também atrai esses desenvolvedores é a facilidade em interfacear os códigos escritos em Python através de outras ferramentas, como por exemplo, o Qt Designer. Para a integração de *scripts* em Python com essa ferramenta, basta inserir algumas bibliotecas e chamar a interface dentro do próprio código.

3.5. Raspberry Pi

O uso de dispositivos como Raspberry Pi e Arduino são encontrados frequentemente dentro de projetos de eletrônica. Esses dispositivos são usados para controlar outros componentes como lâmpadas, motores, dentre outros. Também permite a coleta de dados através de diversos sensores, como sensores de temperatura, proximidade, umidade e luminosidade.

O Raspberry Pi é um computador de placa única que possui um Sistema Operacional (SO) denominado Raspbian, contendo recursos semelhantes a um computador convencional, como processador, memória e driver gráfico (MUDALIAR; SIVAKUMAR, 2020). Uma das vantagens de trabalhar com esse dispositivo é o fato do controle de suas portas de entradas e saídas serem relativamente fáceis de controlar com programação Python, devido essa linguagem ser interpretada, proporciona a visualização dos comandos de forma mais direta sem a necessidade de compilação do código para uma posterior execução.

Outro ponto apreciável do uso de Raspberry Pi é o fato dele ser um computador em si, a programação pode ser feita diretamente nele, sem a necessidade de dispositivos extras além de um teclado, mouse e monitor, como qualquer outro computador convencional.

Esse minicomputador tem sido utilizado por diversos autores como plataforma de desenvolvimento, por ser uma ferramenta versátil e de baixo custo, além de ser compatível com diferentes linguagens de programação (URREA; KERN, 2021). O Raspberry Pi também é fortemente utilizado dentro do ensino de ciência da computação por oferecer diferentes modelos, a fim de atender as diversas necessidades (NETO; NETO; MORENO, 2022).

Tomando como exemplo o modelo do Raspberry Pi Zero, este se torna ideal para pequenos projetos de robótica devido seu tamanho mais compacto e baixo preço, por outro lado, o modelo do Raspberry Pi 4B se torna mais adequado para projetos mais sofisticados que demandam maior capacidade de processamento (NETO; NETO; MORENO, 2022).

Dessa forma, o Raspberry Pi consegue se adequar a uma gama considerável de projetos, devido apresentar diversos modelos com diferentes faixas de preço, tamanhos e capacidade de processamento. Outro ponto importante é que além do sistema operacional Raspbian ele suporta outros sistemas operacionais, facilitando assim, a utilização do usuário que prefere outro sistema operacional específico.

4. METODOLOGIA

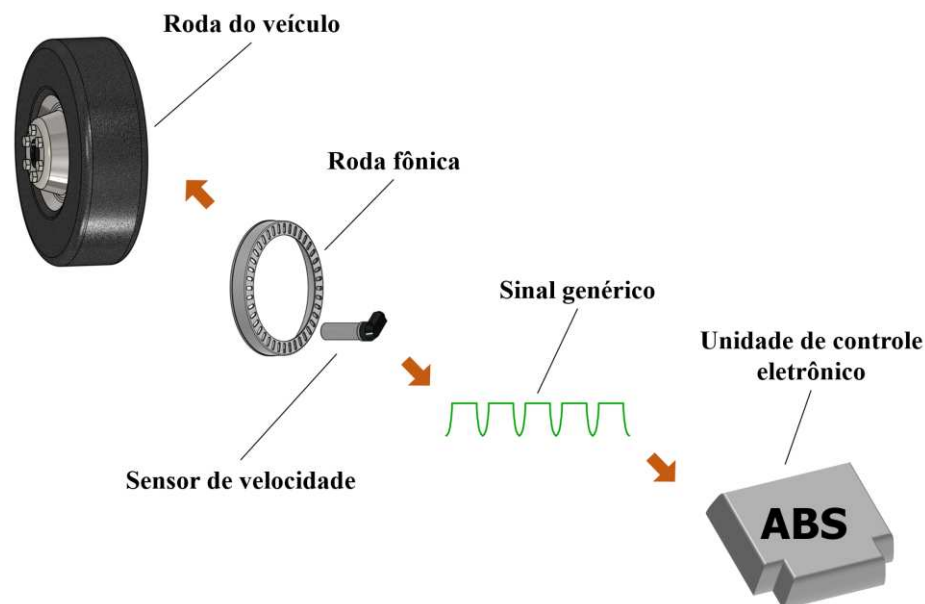
4.1. Modelo de veículo compatível com a bancada

O primeiro passo no desenvolvimento da bancada é identificar o modelo de veículo compatível com a bancada. Para isso, são analisados os componentes que compõem o sistema de freio do automóvel e a categoria na qual ele se enquadra.

4.2. Giro da roda fônica para a simulação de velocidade do sistema de freio Anti-Lock Brake System (ABS)

A primeira etapa para que a bancada simule a velocidade da roda do veículo é fazer a roda fônica do sistema ABS girar. Com o giro da roda fônica, a unidade de controle eletrônico do sistema de freio interpreta as variações de tensões do sensor de velocidade e as combina com os valores de tempo para determinar a velocidade da roda. A Figura 1 ilustra os componentes do sistema ABS.

Figura 1 – Componentes do sistema de freio ABS.



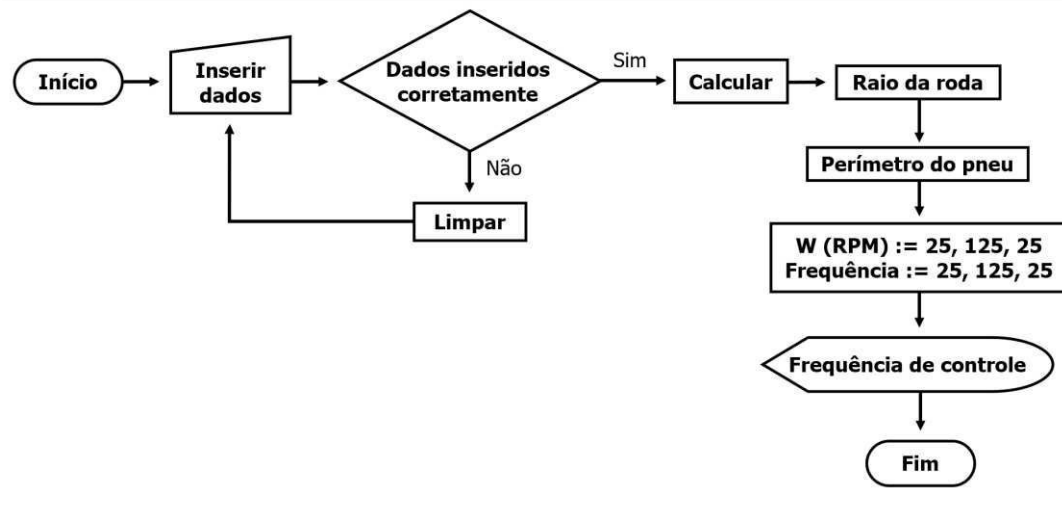
Fonte: Autor.

4.3. Exemplificação dos cálculos com o aplicativo

O veículo Accelo 815 da Mercedes-Benz é usado como exemplo nos cálculos do aplicativo. O pneu desse veículo apresenta parâmetros $B = 215$, $h = 75$ e $D = 17,5$, além disso, as velocidades de simulação que serão usadas são de 25 a 125 km/h com passos de 25 km/h. A

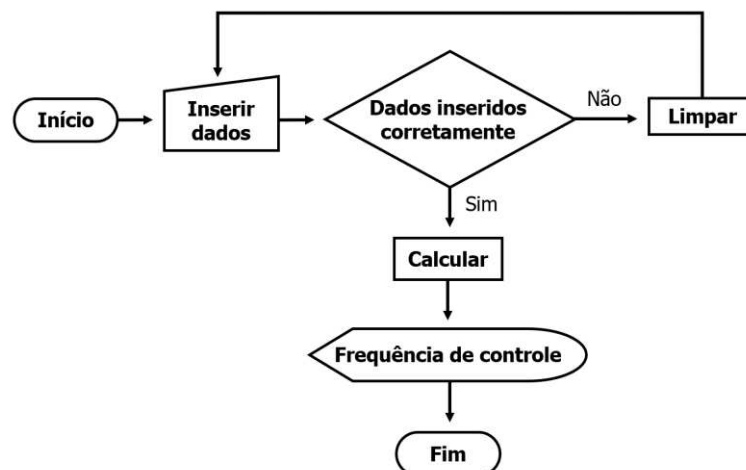
Figura 2 ilustra o fluxograma de execução para os cálculos das frequências de controle para o motor de passo enquanto a Figura 3 ilustra o fluxograma para o cálculo de ajuste dessas frequências de controle.

Figura 2 – Fluxograma de execução do aplicativo para o cálculo das frequências.



Fonte: Autor.

Figura 3 – Fluxograma de execução do aplicativo para cálculo de ajuste da frequência.



Fonte: Autor.

4.4. Características do código Python

O código a ser desenvolvido em linguagem de programação Python é responsável pelo controle da bancada e utiliza as bibliotecas *PyQt5*, *RPi.GPIO* e *time*. A primeira delas permite usar uma interface gráfica criada na plataforma Qt Designer, a segunda permite o controle da

GPIO (*General Purpose Input/Output*) do Raspberry Pi e a última permite o controle de tempo na execução de um comando.

A frequência do sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) que é utilizada para controlar o RPM (Rotações Por Minuto) do motor é o valor de uma variável nomeada como hf , onde essa tem o valor de uma lista com os valores das frequências de comando com índice igual a uma variável de incremento. Já os valores das velocidades simuladas, exibidos na tela da interface gráfica, são de uma outra lista com esses valores, com o índice igual a mesma variável de incremento.

Na administração dos valores das frequências de comando do motor e dos valores de velocidades a serem exibidos na tela são usadas duas funções conectadas a dois botões da interface. Esse controle é feito com a alteração do valor da variável de incremento, com passo igual a um, de acordo com o que é solicitado pelo usuário por meio dos botões de aumentar ou diminuir a velocidade simulada.

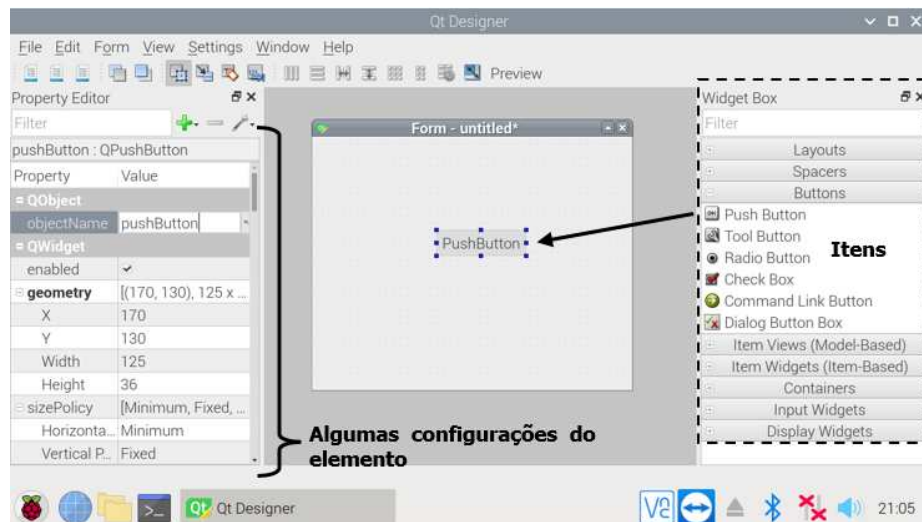
A aceleração ou desaceleração do motor é feita através de um laço de repetição. Dessa forma, quando for aumentar ou diminuir o valor da velocidade a ser simulada, é incrementado ou decrementado 1 Hz e posteriormente tem um atraso de 6 ms, repetindo esse processo até atingir o valor da frequência hf correspondente a um valor de RPM. Onde por sua vez, é correspondente a um valor de velocidade simulada. Esse atraso de 6 ms após o incremento ou decremento de 1 Hz na frequência de controle permite uma aceleração ou desaceleração do motor de passo de forma suave.

A função responsável por interromper ou parar a simulação de velocidade permite que ao clicar no botão correspondente à mesma o valor da frequência de comando (variável hf) volte ao valor zero e a variável de incremento volte a ser igual a sua condição inicial. A situação descrita, ocorre de forma gradual, seguindo os mesmos parâmetros da aceleração e desaceleração citados anteriormente.

4.5. Descrição da interface gráfica

A plataforma Qt Designer foi utilizada na construção da interface de usuário do software. Essa plataforma permite a criação de interfaces através de objetos como botões, legendas e frames, que são arrastados e soltos no local desejado. É possível alterar cores, formas e tamanhos desses objetos, tornando assim, a confecção de interfaces através dessa plataforma bem fluida, como ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Tela principal Qt Designer.



Fonte: Adaptado da tela do Qt Designer.

4.6. Sistema mecânico da bancada

Na confecção do sistema mecânico foram utilizados alguns elementos prontos e outros fabricados. Podem ser citados como exemplos de elementos prontos a roda fônica do veículo, o motor de passo e o suporte do motor. Já em relação aos elementos fabricados ou montados, podem ser citados o rotor da roda fônica, suporte do rotor e o suporte auxiliar do motor de passo.

Na montagem do rotor foram utilizados dois rolamentos, uma barra roscada, duas arruelas, duas porcas e duas polias. Onde a polia montada na parte inferior do rotor teve seu diâmetro da parte superior reduzido de modo a encaixar perfeitamente dentro do rolamento.

Na montagem do rotor no suporte, foi utilizado um mancal externo de rolamento como espaçador, com as mesmas especificações dos rolamentos do rotor. Esse mancal permitiu a elevação do rotor dentro do suporte, por esse motivo, a utilização do mancal como espaçador tornou a confecção do suporte mais simplificada.

Na fixação do rotor no suporte, foi utilizada uma braçadeira de modo a pressionar as paredes laterais do suporte sobre as partes externas dos rolamentos, isso é possível devido às aberturas encontradas nas laterais do suporte.

O suporte do rotor tem a finalidade de sustentá-lo, juntamente com a roda fônica do veículo, ao passo que possibilita o ajuste do alinhamento da correia que liga a polia do rotor à

polia do motor. O alinhamento é controlado de acordo com as alturas das porcas de ajustes encontradas próximas das junções entre duas arestas superiores da peça, onde os parafusos utilizados são de 8 mm de diâmetro e sua altura depende da altura do motor escolhido.

Na confecção do suporte do rotor, assim como no suporte auxiliar do motor, são utilizadas chapas de aço SAE 1020 de 2 mm. Onde a altura do suporte auxiliar do motor é igual a altura do motor escolhido.

O tensionamento da correia que liga a polia do motor à polia do rotor é feito de acordo com o deslocamento longitudinal do suporte do motor juntamente com o próprio motor sobre o suporte auxiliar. Onde ao encontrar o nível de tensão desejado basta fixar a posição com os parafusos e porcas que unem as superfícies dos dois suportes.

4.7. Circuito elétrico da bancada

A primeira fase do desenvolvimento do circuito elétrico da bancada é a definição de seus componentes. Em seguida, é realizada uma análise da compatibilidade dos dispositivos escolhidos e definição de suas configurações. Por fim, o circuito elétrico é montado e esquematizado.

4.8. Bancada de teste em conjunto com scanner automotivo

O scanner automotivo permite a visualização em tempo real dos valores lidos pelos sensores do veículo, como pressões, temperaturas e velocidades. Dessa forma, é possível observar os valores de velocidades da roda do veículo em km/h durante a simulação e compará-los com os valores comandados pela bancada, que são visíveis na tela do equipamento.

4.9. Bancada de teste em conjunto com osciloscópio

Para o teste individual do sensor de velocidade da roda, é necessária a utilização de um osciloscópio juntamente com a bancada, pois nessa modalidade, é analisado o comportamento do sinal elétrico gerado pelo sensor conectado à bancada.

Com o sensor acoplado à bancada e alimentado por ela, é conectado o aterramento (GND) do osciloscópio ao da bancada e a ponta de prova ao positivo (VCC). Com isso, é possível iniciar a simulação e a observação do comportamento do sinal do sensor. Para que o sensor seja considerado em bom estado, seu sinal deve apresentar algumas características.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Definição do modelo de veículo compatível com a bancada

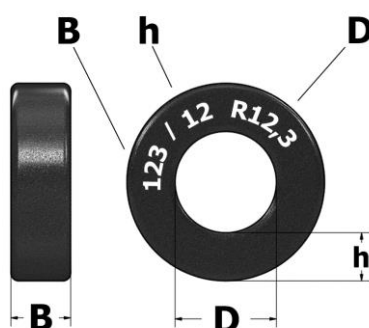
A bancada desenvolvida é aplicável a veículos de passeio ou de transporte de cargas ou até mesmo uma moto de cilindrada mais elevada. Cada modelo de veículo tem suas particularidades, no que diz respeito a suas dimensões e funcionalidades, no entanto, todos vão apresentar um conjunto de características, que de certa forma, são inerentes ao sistema ABS como roda, roda fônica e unidade de controle eletrônico, proporcionando assim, a aplicabilidade da bancada.

5.2. Equações para o cálculo da frequência de comando do motor

Para calcular as frequências de comando equivalentes a um valor de velocidade simulada em km/h, foram montadas algumas equações. Essas usam parâmetros encontrados no próprio pneu do veículo para obtenção do raio da roda, a velocidade a ser simulada pela bancada, o número de passos por revolução do motor e a relação entre o número de dentes das polias do sistema mecânico.

Os parâmetros do pneu podem ser obtidos de acordo com a Figura 5, onde B é o valor da banda de rodagem do pneu em milímetros, h é o percentual da banda de rodagem que corresponde a altura e D o valor do diâmetro interno em polegadas.

Figura 5 – Parâmetros do pneu.



Fonte: Autor.

Esses parâmetros são utilizados para determinar o valor do raio (R_p) do pneu em metros e posteriormente usar esse raio para obter o perímetro (C_p), de acordo com as Equações 1 e 2.

$$R_p = \left(\frac{Bh}{100} + \frac{25,4D}{2} \right) 10^{-3} \quad (1)$$

$$C_p = 2\pi R_p \quad (2)$$

Para determinar o número de Rotações Por Minuto (RPM) do motor de passo, foi utilizado o próprio valor de velocidade que se deseja simular, o perímetro do pneu e a relação entre os números de dentes das polias do sistema mecânico. Onde V_s é a velocidade a ser simulada em km/h, P_b é o número de dentes da polia da bandeja giratória da roda fônica e P_m o número de dentes da polia acoplada ao motor. Dessa forma, o valor de RPM (ω_m) para uma dada velocidade pode ser obtido de acordo com a Equação 3.

$$\omega_m = \left(\frac{V_s \frac{10^3}{60}}{C_p} \right) \frac{P_b}{P_m} \quad (3)$$

Com o valor de RPM e o número de passos do motor, foi calculada a frequência de comando F_C em Hertz do sinal PWM correspondente a velocidade que se deseja simular, de acordo com a Equação 4. Onde n é o número de passos por revolução do motor.

$$F_C = \frac{\omega_m}{60} n \quad (4)$$

Para um eventual ajuste na precisão da frequência de controle do motor foram desenvolvidas duas novas equações. Essas usam o valor de velocidade que se deseja simular (V_s) em km/h, o valor da frequência de controle encontrado inicialmente (F_C), a velocidade encontrada no scanner no momento de um teste prático (V_{scan}) em km/h.

A primeira delas, Equação 5, é usada pelo aplicativo quando o valor de velocidade simulada é menor que o esperado, já a segunda, Equação 6, é usada quando o valor de velocidade simulada é maior que o esperado. O fator de ajuste nessas equações corresponde a 5 % para mais ou para menos do valor de frequência anteriormente utilizado no controle do motor de passo para uma determinada velocidade simulada.

$$F_{Ajust} = \frac{V_s F_C}{V_{scan}} + \left| \left(\frac{V_s F_C}{V_{scan}} - F_C \right) 0,05 \right| \quad (5)$$

$$F_{Ajust} = \frac{V_s F_C}{V_{scan}} - \left| \left(\frac{V_s F_C}{V_{scan}} - F_C \right) 0,05 \right| \quad (6)$$

5.3. Aplicativo para cálculo das frequências de comando do motor de passo

As Equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6 foram utilizadas na programação do aplicativo. Essas foram inseridas na forma de blocos, de modo que ao clicar no botão (botão calcular) da tela inicial calculam-se as frequências correspondentes aos valores de velocidades desejados e as mostra na tela. Ao pressionar o mesmo botão, os valores inseridos pelo usuário são limpos para um novo preenchimento, caso seja necessário.

A programação em blocos da primeira tela do aplicativo apresenta quatro trechos. O primeiro deles ilustrado na Figura 6 contém a inicialização das variáveis R, C e W que representam respectivamente o raio do pneu, o perímetro do pneu e o valor de RPM do motor de passo.

Figura 6 – Trecho A da programação em blocos desenvolvida (tela 1).

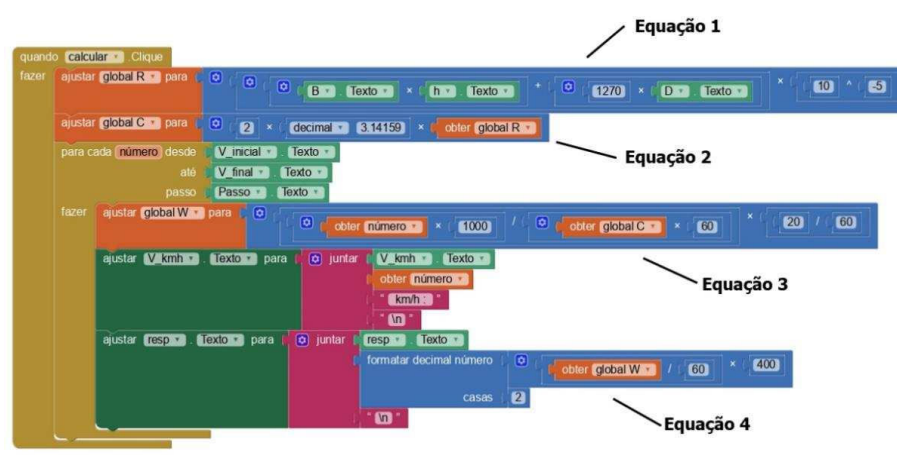


Fonte: Autor.

No trecho B ilustrado pela Figura 7, encontram-se as equações encontradas para o cálculo das frequências de comando do motor. De forma que ao clicar no botão para calcular as frequências, as Equações 1 e 2 são utilizadas uma única vez para obter os valores do raio e do perímetro do pneu. Já as Equações 3 e 4 são utilizadas para encontrar o valor de RPM do motor e a frequência de comando para as velocidades determinadas pelo laço de repetição.

O laço de repetição calcula os valores de RPM e posteriormente os valores de frequências de comando. Onde os resultados exibidos na tela do aplicativo serão os valores das velocidades a serem simuladas e as frequências de comando do motor correspondentes a essas velocidades.

Figura 7 – Trecho B da programação em blocos desenvolvida (tela 1).



Fonte: Autor.

No trecho C ilustrado pela Figura 8 do código é responsável por limpar os valores inseridos pelo usuário quando o mesmo deseja efetuar um novo cálculo ou realizou o preenchimento dos dados de entrada de forma indevida, onde basta pressionar o mesmo botão usado para calcular por alguns instantes.

Figura 8 – Trecho C da programação em blocos desenvolvida (tela 1).



Fonte: Autor.

O trecho D ilustrado na Figura 9 é responsável por abrir a segunda tela do aplicativo. Esta, é responsável por fazer o reajuste da frequência de controle caso o usuário julgue necessário.

Figura 9 – Trecho D da programação em blocos desenvolvida (tela 1).



Fonte: Autor.

A interface de usuário da primeira tela do aplicativo é constituída por quatro partes principais. Sendo elas uma imagem ilustrativa que mostra de onde se deve retirar os dados do pneu, seis caixas de entradas para receber os dados do pneu e das velocidades, dois botões, onde um deles é para calcular as frequências e para limpar os valores preenchidos e o outro direciona a segunda tela responsável pelos ajustes de frequências, além de um espaço destinado à exibição dos valores na forma de lista.

Esses valores de frequências exibidos na parte inferior da tela do aplicativo serão posteriormente inseridos no código de controle da bancada escrito em linguagem de programação Python. São esses valores que irão controlar o RPM do motor de passo para as simulações de velocidade da bancada de teste. A Figura 10 ilustra a tela inicial do aplicativo desenvolvido.

Figura 10 – Tela inicial do aplicativo desenvolvido.

The figure displays three screenshots of the application's initial screen, titled "Calculadora de Frequência Para Controle do Motor". Each screen shows a diagram of a tire with dimensions B (width), h (height), and D (diameter). The tire is labeled "123 / 12 R12,3". Below the diagram are input fields for B, h, D, V (inicial), V (final), and Passo. There are two buttons: "Ajuste" (orange) and "Calcular" (blue). Below the buttons is a section titled "Frequência de controle (Hz):" which displays a list of values for different speeds.

Screenshot 1 (Left): Shows the input fields with empty values.

Screenshot 2 (Middle): Shows the input fields with values: B = 215, h = 75, D = 17.5, V (inicial) = 25, V (final) = 125, and Passo = 25. The "Calcular" button is highlighted.

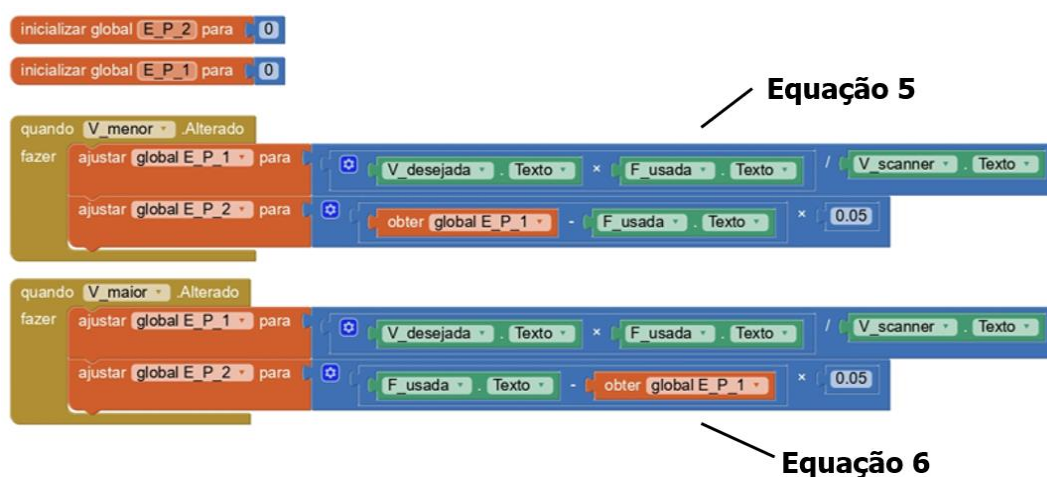
Screenshot 3 (Right): Shows the input fields with values: B = 215, h = 75, D = 17.5, V (inicial) = 25, V (final) = 125, and Passo = 25. The "Calcular" button is highlighted. Below the buttons, the "Frequência de controle (Hz):" section displays the following values:

Velocidade (km/h)	Frequência de controle (Hz)
25 km/h	384.27
50 km/h	768.53
75 km/h	1152.80
100 km/h	1537.06
125 km/h	1921.33

Fonte: Autor.

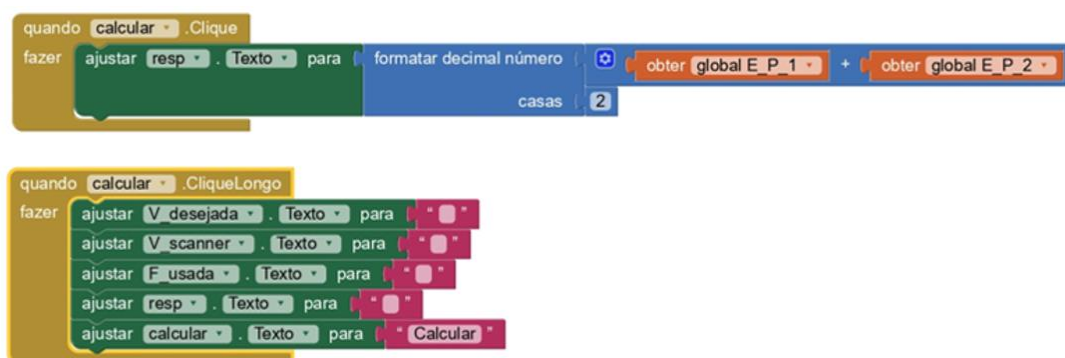
De forma análoga ao que foi feito na construção da tela inicial do aplicativo foram inseridas as Equações 5 e 6 na programação em blocos. A Figura 11 e 12 ilustram a programação em blocos da tela de ajuste.

Figura 11 – Trecho E da programação em blocos desenvolvida (tela 2).



Fonte: Autor.

Figura 12 – Trecho F da programação em blocos desenvolvida (tela 2).



Fonte: Autor.

A interface de usuário da tela de ajuste é também constituída por quatro partes principais. Sendo elas três caixas de entradas para receber os dados, duas caixas de seleção, um botão e um espaço destinado à exibição do valor de frequência ajustado.

O valor de frequência que é encontrado nesse cálculo de ajuste é inserido no código de controle da bancada escrito em linguagem de programação Python através de sua interface gráfica. Esse valor substitui um outro valor de frequência já existente no código, afim de tornar a simulação de velocidade mais precisa. A tela de ajuste é ilustrada na Figura 13.

Figura 13 – Tela de ajustes do aplicativo desenvolvido.

The figure shows three sequential screenshots of the application's adjustment screen, titled "Reajuste da Frequência Para Controle do Motor".

- Left Screenshot:** Shows input fields for "Velocidade de Simulação Desejada:" (empty), "Velocidade Encontrada no Scanner:" (empty), and "Frequência Usada" (empty). Below these is a question "O valor encontrado no scanner é menor ou maior que o desejado?" with radio buttons for "Menor" and "Maior". A blue "Calcular" button is at the bottom.
- Middle Screenshot:** Shows the same fields with values: "Velocidade de Simulação Desejada:" is 25, "Velocidade Encontrada no Scanner:" is 24, and "Frequência Usada" is 384.27. The "Menor" radio button is selected with a green checkmark. The "Calcular" button is highlighted.
- Right Screenshot:** Shows the result: "Nova Frequência:" is 401.08. The "Calcular" button is no longer visible.

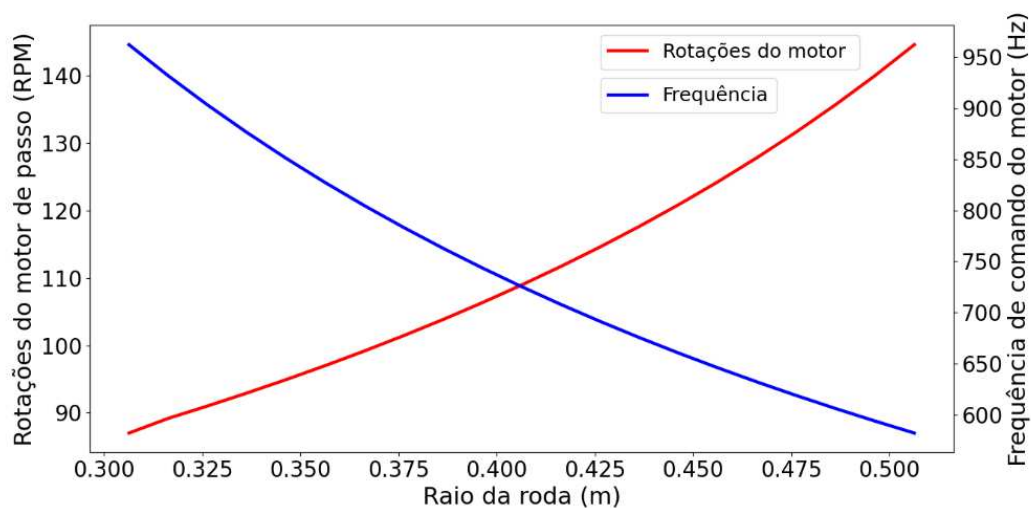
Each screenshot has a black navigation bar at the bottom with a square, a circle, and a left arrow icon.

Fonte: Autor.

5.4. Código Python

O código desenvolvido em linguagem de programação Python para a bancada apresenta as relações entre as frequências de comando, raio da roda e as rotações por minuto do motor, de acordo com o ilustrado na Figura 14.

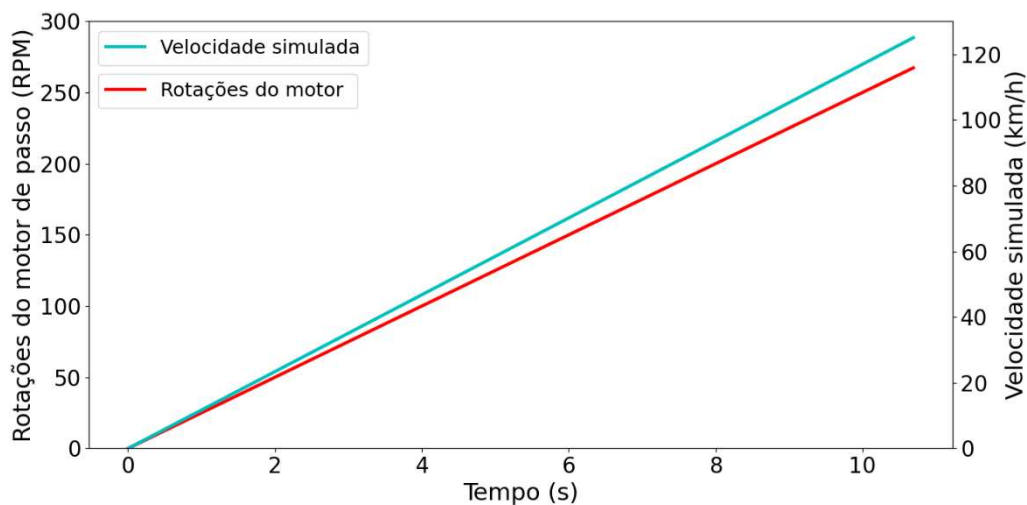
Figura 14 – Relação entre raio da roda, frequência de comando motor e RPM.



Fonte: Autor.

A aceleração e desaceleração do motor de passo de acordo com o código desenvolvido apresenta um comportamento linear e é ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Aceleração do motor de passo.

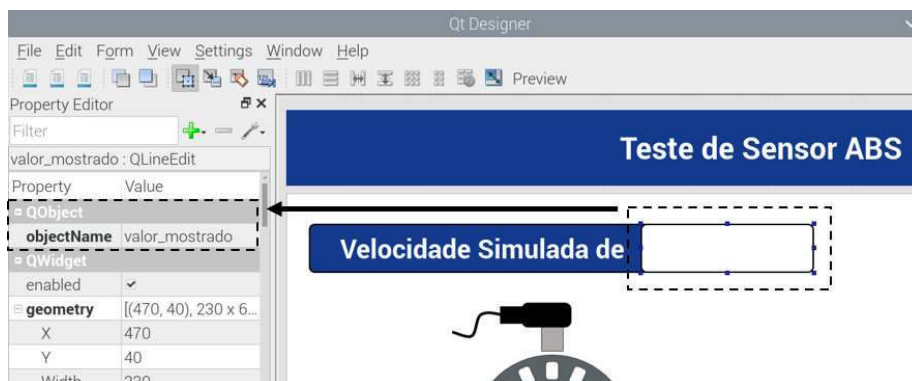


Fonte: Autor.

5.5. Interface gráfica

Os elementos que compõem a interface gráfica foram nomeados para facilitar a escrita do código Python que traz sua funcionalidade. Pois cada elemento que compõe a interface que é capaz de interagir de maneira ativa com o usuário, como por exemplo, uma caixa de texto é conectado ao código por meio de seu nome de objeto. A Figura 16 ilustra o nome dado a um dos elementos da interface.

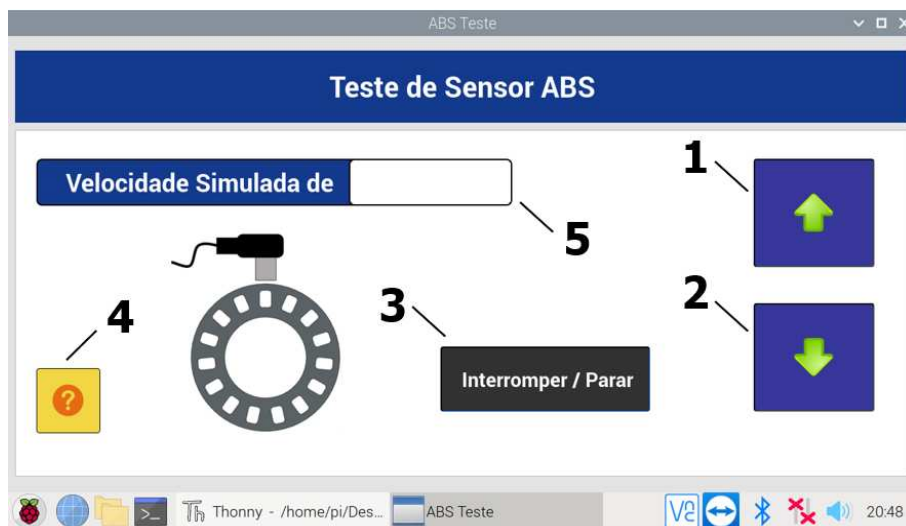
Figura 16 – Nome do objeto.



Fonte: Adaptado da tela do Qt Designer.

A Figura 17 ilustra a tela principal da interface, onde apresenta uma imagem ilustrativa, alguns textos, um campo de exibição 5 para os valores das velocidades simuladas e quatro botões. Os botões 1 e 2 são para aumentar ou diminuir a velocidade simulada, o 3 para interromper ou parar a simulação e o 4 para exibir um campo de ajuda.

Figura 17 – Tela principal da interface da bancada.



Fonte: Autor.

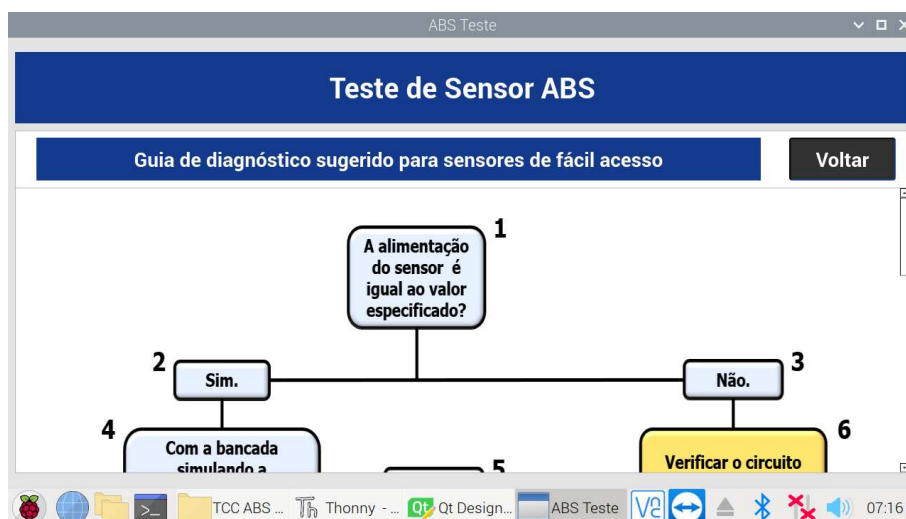
O campo de ajuda que pode ser aberto ao clicar no botão 4 é ilustrado na Figura 18. Nesta tela o usuário pode acessar possíveis guias de diagnósticos e esquemas de ligação da bancada. A Figura 19 ilustra um guia de diagnóstico.

Figura 18 – Tela contendo o campo de ajuda da interface.



Fonte: Autor.

Figura 19 – Exemplo de um guia de diagnóstico.



Fonte: Autor.

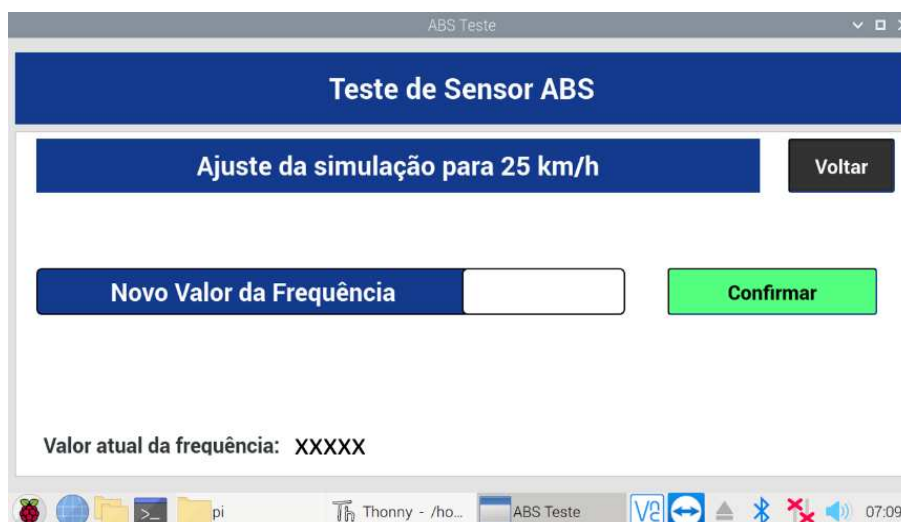
Ao clicar no botão de ajustes contidos na tela de ajuda (Figura 18), o usuário pode ajustar a precisão das simulações da bancada. Primeiramente ele é direcionado a uma tela contendo as simulações, depois deve escolher qual deseja alterar de acordo com a Figura 20. Posteriormente deve inserir o novo valor de frequência calculado com o aplicativo na tela ilustrada pela Figura 21.

Figura 20 – Exemplo das velocidades que a bancada pode simular.



Fonte: Autor.

Figura 21 – Exemplo de uma tela de ajuste da velocidade simulada.



Fonte: Autor.

5.6. Componentes do projeto mecânico

O sistema mecânico desenvolvido para a bancada de teste no que diz respeito aos componentes fabricados ou montados estão um rotor da roda fônica, um suporte do rotor e o suporte auxiliar do motor de passo. A Tabela 1 ilustra os componentes utilizados na confecção do rotor da bancada.

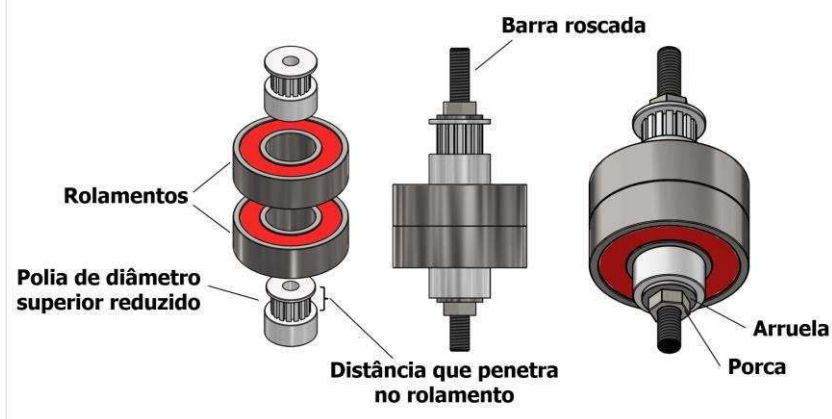
Tabela 1 – Componentes do rotor.

Componentes	Dimensões
Polia GT2 20 dentes	5x16x16 mm (dxDxA)
Rolamento 6202	15x35x11 mm (dxDxL)
Barra roscada	3/16" x 100 mm
Porca	3/16"
Arruela	5x15 mm (dxD)
d: diâmetro interno / D: diâmetro externo / A: altura / L: largura	

Fonte: Autor.

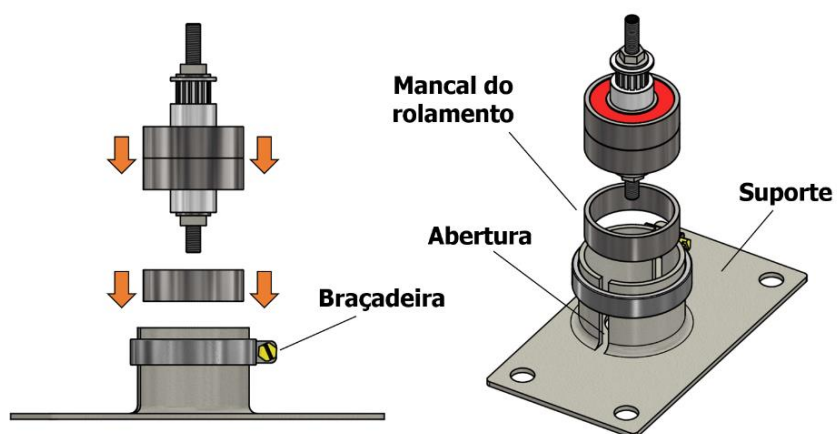
O rotor desenvolvido para a bancada é ilustrado na Figura 22, onde na ilustração estão contidos todos os componentes utilizados. O rotor deve ser montado no seu suporte de acordo com o ilustrado na Figura 23. O suporte tem a finalidade de controlar a torção e a altura da correia, como ilustrado na Figura 24.

Figura 22 – Rotor.



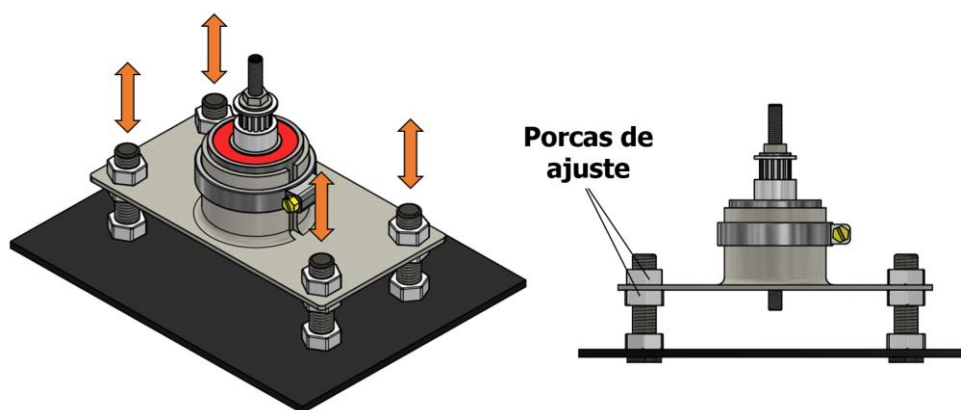
Fonte: Autor.

Figura 23 – Montagem do rotor.



Fonte: Autor.

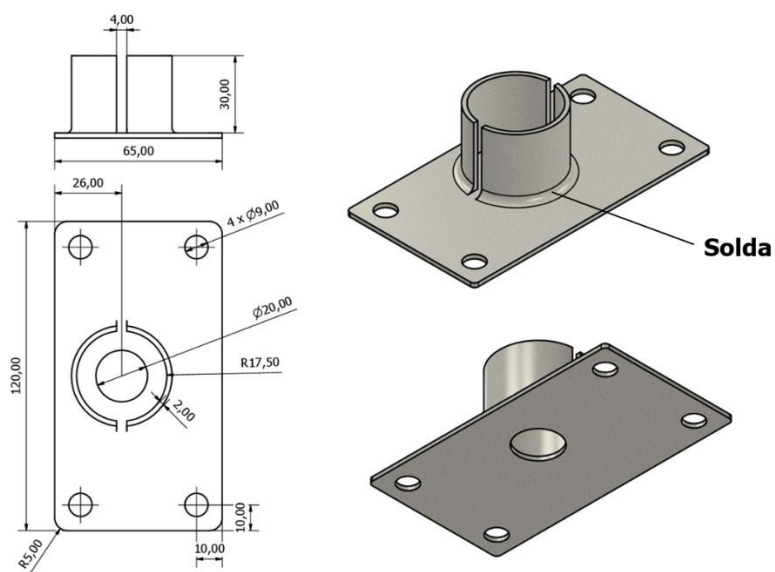
Figura 24 – Suporte do rotor.



Fonte: Autor.

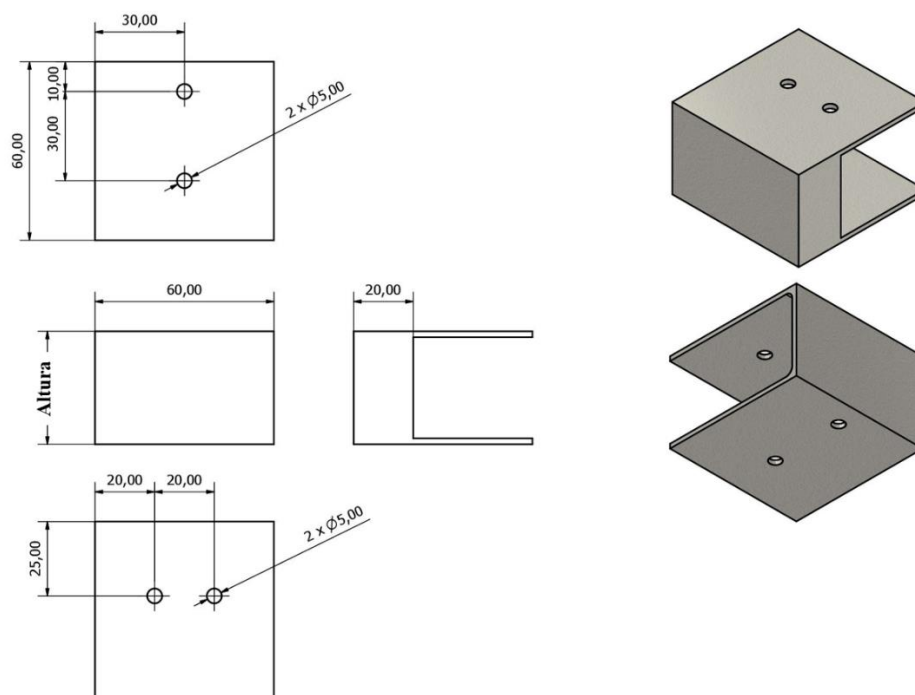
As dimensões do suporte do rotor e do suporte auxiliar do motor estão ilustradas nas Figuras 25 e 26.

Figura 25 – Suporte do rotor (dimensões).



Fonte: Autor.

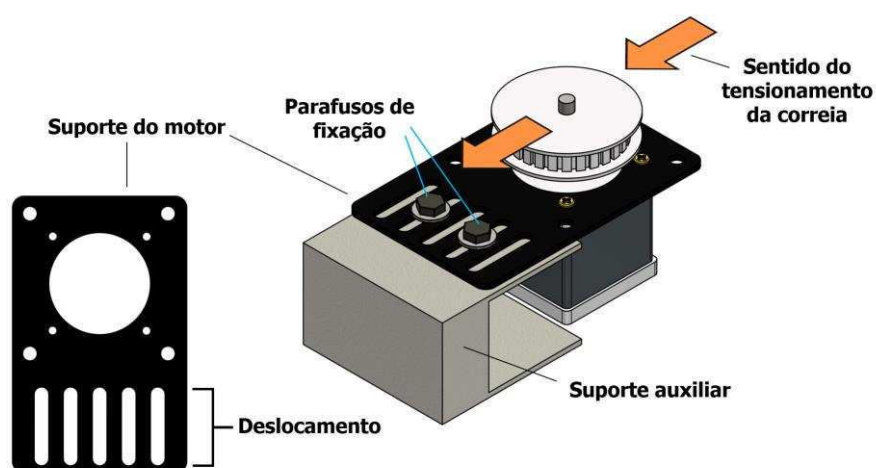
Figura 26 – Suporte auxiliar do motor (dimensões).



Fonte: Autor.

O procedimento de tensionamento da correia através do suporte auxiliar do motor é ilustrado na Figura 27.

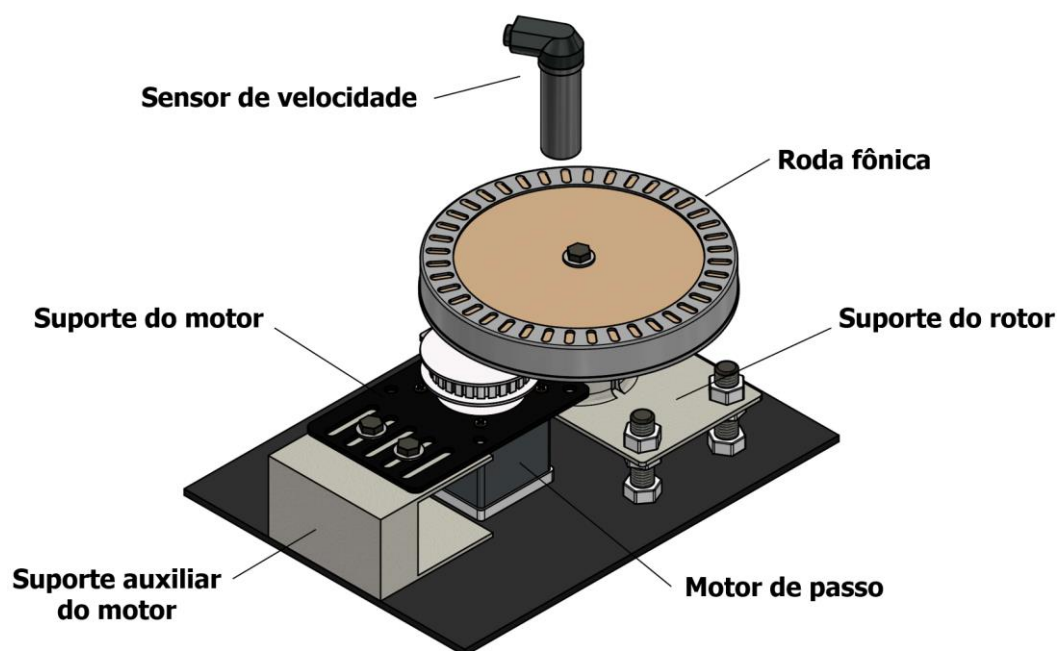
Figura 27 – Tensionamento da correia.



Fonte: Autor.

A Figura 28 ilustra o sistema mecânico montado, onde com ele é possível girar a roda fônica do sistema ABS e com isso simular a rotação da roda do veículo. A polia escolhida para o motor é uma GT2 de 60 dentes.

Figura 28 – Sistema mecânico da bancada.



Fonte: Autor.

5.7. Constituintes do esquema elétrico

O circuito elétrico proposto para a bancada de teste é formado por cinco elementos principais. Sendo eles: um motor de passo Nema 23 – 19 kg.cm / 4,2 A – Action, módulo drive de motor de passo TB6600 4A, duas fontes de tensão contínua de 19 V – 3,42 A, um módulo regulador de tensão LM2596 e o Raspberry Pi 3B+.

Esse motor de passo possui oito fios, que permitem a ligação de três formas distintas. Ele pode ser ligado na forma bipolar em série e paralelo e na forma unipolar. A opção de ligação proposta para a bancada é a bipolar em série, de forma que o consumo de corrente será de 2,1 A de acordo com o Datasheet do motor.

O driver TB6600 4A permite o controle da corrente e do número de Passos Por Revolução (PPR) do motor. Esse controle é feito através de seis interruptores, onde três deles são responsáveis pelo controle da corrente e os outros três responsáveis pelo controle do número de PPR.

Na bancada utiliza as configurações de 400 PPR e 1,5 A com corrente de pico de 2,0 A. Esse valor de corrente é escolhido por ser o valor mais próximo da corrente de trabalho do motor e com a corrente de pico menor que a mesma, já que não se tem exatamente esse valor de corrente nas possibilidades de seleção do drive. As configurações de correntes e PPR estão ilustrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Controle de PPR e corrente do drive TB6600 4A.

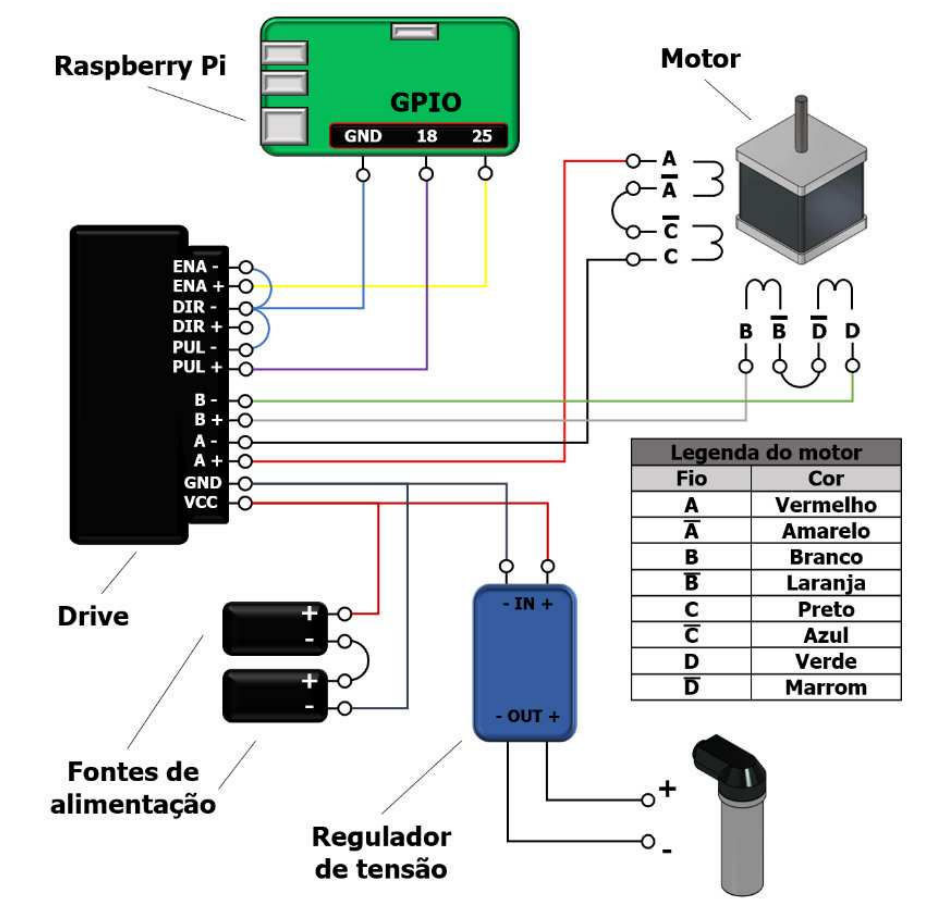
PPR	SW1	SW2	SW3	Corrente (A)	Pico (A)	SW4	SW5	SW6
200	ON	ON	OFF	0,5	0,7	ON	ON	ON
400	ON	OFF	ON	1,0	1,2	ON	OFF	ON
400	OFF	ON	ON	1,5	1,7	ON	ON	OFF
800	ON	OFF	OFF	2,0	2,2	ON	OFF	OFF
1600	OFF	ON	OFF	2,5	2,7	OFF	ON	ON
3200	OFF	OFF	ON	2,8	2,9	OFF	OFF	ON
6400	OFF	OFF	OFF	3,0	3,2	OFF	ON	OFF
-	-	-	-	3,5	4,0	OFF	OFF	OFF

Fonte: Retirado da carcaça do driver.

O driver TB6600 4A e o módulo LM2596 possuem faixas de alimentação de respectivamente de 9 a 42 V e 3,2 a 40 V. Dessa forma, as duas fontes de 19 V – 3,42 A ligadas em série que formam uma tensão de alimentação de 38 V com 3,42 A podem alimentar ambos os componentes.

O esquema elétrico desenvolvido para a bancada de teste é ilustrado na Figura 29. Nesse esquema elétrico estão contidos todos os componentes propostos juntamente com as ligações necessárias entre si.

Figura 29 – Esquema elétrico da bancada.



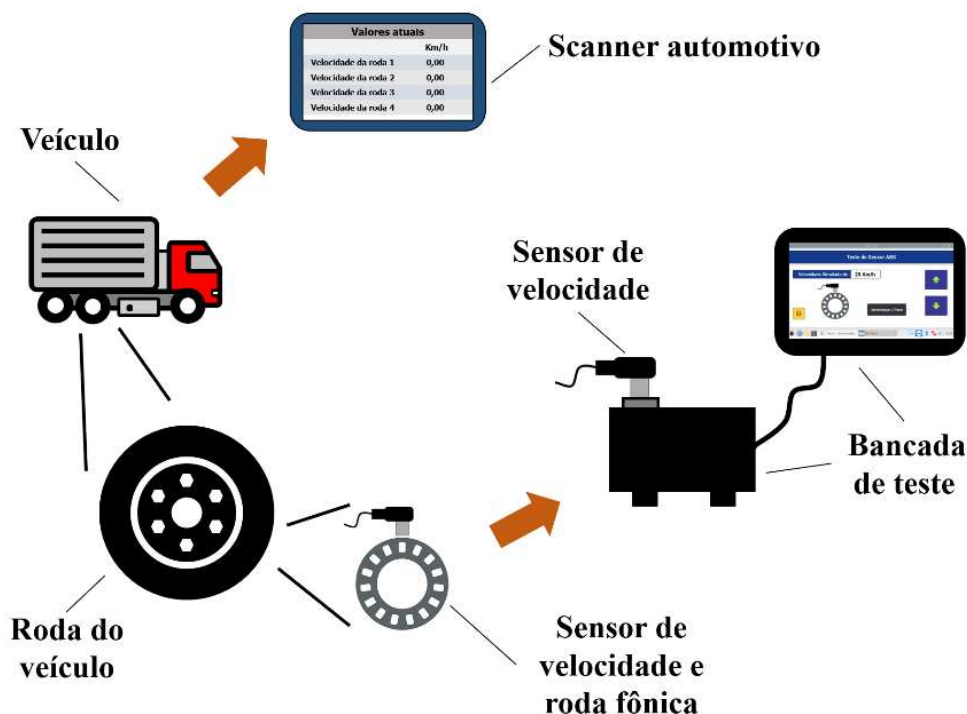
Fonte: Autor.

5.8. Bancada de teste em conjunto com scanner automotivo

O esquema ilustrado na Figura 30 mostra como deve ser feita a ligação da bancada de teste com o scanner. Com o veículo estacionado, pode-se simular a velocidade interpretada pela unidade eletrônica do ABS, acoplando o próprio sensor de velocidade da roda à bancada de simulação ou utilizando um sensor externo plugado ao chicote do veículo.

Com o sensor já conectado à bancada, o profissional de reparo automotivo pode controlar quais valores de velocidade ele deseja simular através da tela sensível ao toque do equipamento. Dessa forma, é possível utilizar estratégias de diagnósticos baseadas nas simulações de velocidades.

Figura 30 – Esquema de ligação da bancada com o scanner.



Fonte: Autor.

No entanto, para que isso ocorra, o scanner deve se comunicar corretamente com o módulo ABS. O módulo ABS não se comunica diretamente com o scanner, geralmente ele se comunica com o módulo de controle do veículo. Essa comunicação ocorre através da rede CAN, que posteriormente chega até a tomada de diagnóstico do veículo.

Por sua vez, o scanner é conectado à tomada de diagnóstico, ocasionando assim, a comunicação entre o módulo ABS e scanner. Dessa forma, para visualização dos valores atuais das velocidades das rodas do veículo, é necessária a integridade da comunicação do módulo ABS e dos elementos situados entre ele e o scanner.

Com o scanner conectado no veículo, outra condição que deve ser atendida é o reconhecimento do componente sensor de velocidade pelo módulo ABS. Pois, em algumas situações aparece uma mensagem, relatando o sinal inexistente deste componente, no campo em que deve estar a velocidade atual da roda.

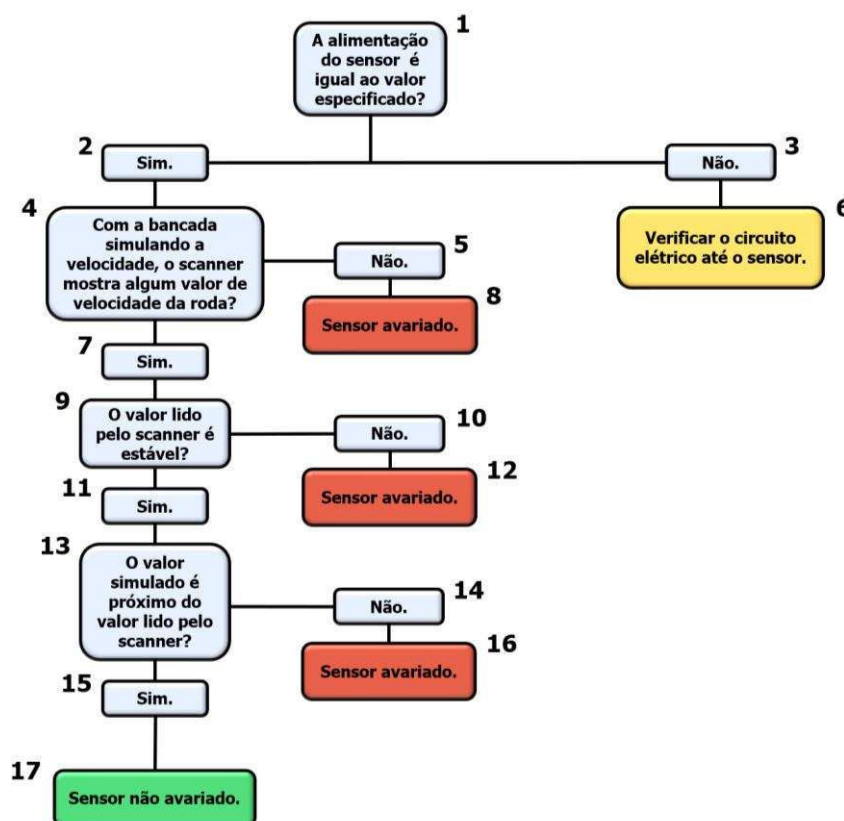
Com tais condições satisfeitas, é possível criar duas linhas de diagnósticos distintas para avaliar o estado do sensor de velocidade. A primeira delas, usa o próprio sensor do veículo, sendo mais indicada para o diagnóstico dos sensores de fácil acesso, pois assim, pode ser facilmente removido sem a necessidade da remoção da roda.

A segunda linha de diagnóstico utiliza um sensor de velocidade externo acoplado ao chicote do veículo, onde para isso, deve ser removido o sensor do veículo. Essa modalidade é mais indicada para os sensores de difícil acesso. Para uma inspeção visual, por exemplo, nessa situação é necessária a remoção da roda.

5.9. Fluxogramas de diagnósticos

O primeiro passo a ser realizado na primeira linha de diagnóstico é verificar se a tensão de alimentação está igual ao valor especificado para o componente. Se essa condição for atendida, deve-se remover o sensor e acoplá-lo à bancada, com seu chicote ligado ao veículo, e iniciar uma sequência de passos de acordo com o fluxograma desenvolvido e ilustrado na Figura 31.

Figura 31 – Guia de diagnóstico desenvolvido e sugerido para sensores de fácil acesso.



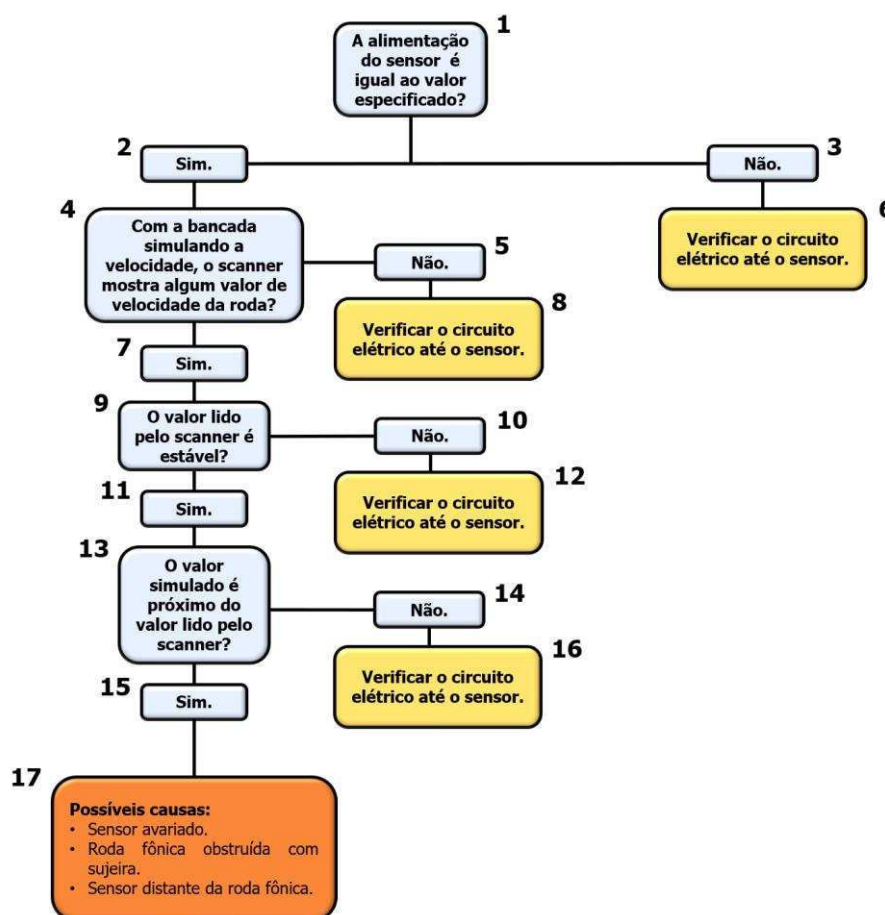
Fonte: Autor.

Com a sequência de condições ilustradas no fluxograma, pode-se observar que nos pontos 8, 12 e 16 que o profissional de reparo automotivo chega à conclusão de que o sensor de velocidade está danificado e deve ser substituído. No ponto 17, o profissional de reparo conclui que o sensor se encontra em perfeito estado de funcionamento.

Chegar à conclusão de que o sensor se encontra em perfeito estado, é um importante fator na linha de diagnóstico. Pois, mesmo que exista algum outro problema no sistema ABS, o profissional de reparo elimina um dos seus potenciais causadores e pode partir para outros procedimentos em busca da falha.

Assim como na primeira linha de diagnóstico, o primeiro passo a ser feito na segunda linha de diagnóstico é verificar se a tensão de alimentação está igual ao valor especificado para o componente. Se essa condição for atendida, deve-se conectar um sensor de velocidade externo ao chicote do veículo no conector do sensor dessa roda e iniciar uma sequência de passos de acordo com o fluxograma ilustrado na Figura 32.

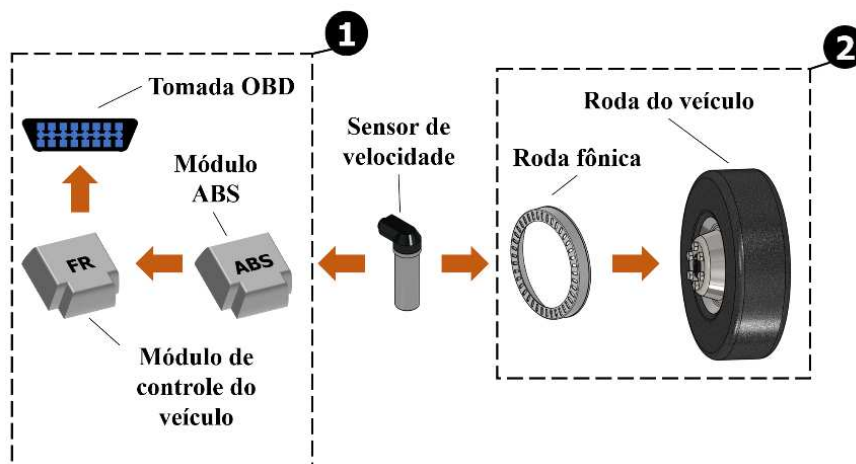
Figura 32 – Guia de diagnóstico desenvolvido e sugerido para sensores de difícil acesso.



Fonte: Autor.

Nos pontos 16 e 17 do fluxograma, tem-se o isolamento do defeito entre dois campos principais, onde esses são ilustrados na Figura 33. Dessa forma, a partir do campo que se encontra o problema, o profissional de reparo automotivo pode buscar as possíveis causas do problema de forma mais filtrada.

Figura 33 – Campos onde se encontra o defeito.



Fonte: Autor.

Supondo que o defeito esteja no campo 1, não há necessidade de remover a roda. Desse modo, evita a perda de tempo com a remoção e eventuais gastos com a troca do retentor da mesma, no momento da inspeção visual daquela área onde encontram-se o sensor e a roda fônica. Dessa forma, o profissional de reparo pode concentrar seus esforços em busca do defeito de maneira mais restrita, o que facilita o processo.

Caso o defeito esteja situado no campo 2, o profissional de reparo pode fazer a remoção da roda de forma necessária, já que, o mesmo sabe que o defeito se encontra naquela região, facilitando assim, o diagnóstico no sistema.

Com a remoção da roda, o profissional de reparo pode avaliar a roda fônica e o sensor. Caso necessário, pode fazer a substituição do sensor ou da roda fônica ou ainda a limpeza da roda fônica, tudo a depender da situação encontrada pelo reparador após a remoção da roda.

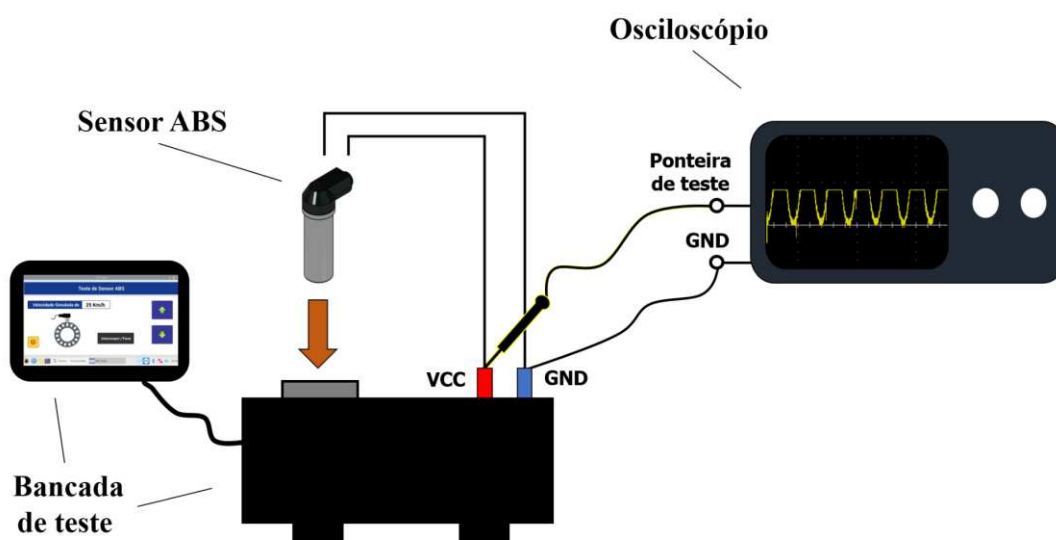
Nos pontos 6, 8, 12 (Figura 32), apesar de terem o mesmo enunciado do ponto 16, não são capazes de fazer o isolamento do defeito em dois campos principais como citado anteriormente. Pois, nesses pontos, ainda existem etapas da linha de diagnóstico a serem verificadas.

5.10. Bancada de teste em conjunto com osciloscópio

As características que o sensor de velocidade deve apresentar são sinal contínuo ao longo do teste, período e amplitude do sinal homogêneo. A não continuidade do sinal durante o teste indica um defeito intermitente, onde, em alguns momentos, o sensor apresenta características de um componente em perfeito estado e em outros momentos características de componente avariado. Nessa situação, o sensor de velocidade do veículo deve ser substituído.

Com relação ao período e amplitude do sinal, é observado a sua homogeneidade ao longo do tempo de simulação. No caso de haver variações severas nesses parâmetros, o sensor também deve ser substituído. A Figura 34 ilustra o esquema de ligação do osciloscópio com a bancada de teste.

Figura 34 – Esquema de ligação da bancada com o osciloscópio.



Fonte: Autor.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As relações matemáticas encontradas permitiram ao aplicativo desenvolvido calcular as frequências de comando para motores de passo correspondentes a valores de velocidades simuladas. Como os parâmetros contidos no pneu podem ser facilmente coletados e o restante dos valores necessários para o cálculo das frequências são as velocidades de simulação escolhidas pelo usuário, o preenchimento dos dados ocorre de maneira simples e rápida.

Dessa forma, o aplicativo efetua o cálculo das frequências de comando para qualquer veículo equipado com sistema de freios ABS. Além de efetuar o cálculo da frequência, o aplicativo pode fazer um reajuste da mesma, o que aumenta a precisão da simulação. Esse ajuste pode ser feito quantas vezes o usuário julgar necessário ou até mesmo não fazê-lo.

O código desenvolvido em linguagem de programação Python permite a simulação das velocidades com base nas frequências calculadas no aplicativo. A interface gráfica desenvolvida para o código torna o uso da bancada simples e intuitivo, além de conter funcionalidades como guias de diagnósticos e esquemas de ligações.

O sistema mecânico proposto para a bancada é capaz de girar a roda fônica do sistema de freio ABS. O conjunto foi pensado de maneira que seus componentes pudessem ser facilmente adquiridos ou fabricados, o que facilita a construção da bancada para estudo. No que diz respeito à descrição do esquema elétrico, este contém todos os elementos necessários para a bancada, no entanto pode ser facilmente adaptado para utilização de outros componentes de mesmas funcionalidades.

A bancada de teste para sensores de velocidades do sistema de freio ABS, pode ser confeccionada com base nos procedimentos descritos neste trabalho. Com a bancada sendo de fato capaz de simular a velocidade da roda interpretada pela unidade eletrônica do ABS, com o veículo estacionado, é possível propor duas linhas de diagnósticos distintas em que a bancada trabalha em conjunto com um scanner automotivo. Além de uma terceira proposta, onde a bancada trabalha em conjunto com um osciloscópio.

As linhas de diagnósticos em que a bancada trabalha em conjunto com o scanner permitem ao reparador automotivo restringir onde se encontra a falha, ao seguir os guias de diagnósticos propostos. A proposta de diagnóstico com o osciloscópio permite ao reparador analisar o componente sensor de velocidade de forma isolada e chegar à conclusão de que o

mesmo se encontra em perfeito estado de funcionamento ou não, com base na análise de seu sinal elétrico.

O software desenvolvido para a bancada que é composto pelo código e sua interface pode ser aplicado a diversos modelos, categorias e marcas de veículos. Dessa forma, a bancada de teste é capaz de proporcionar uma ampliação nas possibilidades de diagnóstico para o reparador automotivo. Permitindo assim, que o mesmo tenha acesso a um conjunto de informações maior sobre o que está acontecendo de fato no veículo avariado. Com isso, o diagnóstico tende a ser mais eficiente e preciso devido ao maior conjunto de informações que o reparador tem à sua disposição.

7. REFERÊNCIAS

ALTINISIK, A.; HUGUL, O. **The seven-step failure diagnosis in automotive industry.** Engineering Failure Analysis, v. 116, p. 104702, 2020. ISSN 1350-6307.

AMORAN, A. E. et al. **Home automated system using bluetooth and an android application.** Scientific African, v. 11, p. e00711, 2021. ISSN 2468-2276.

BHAKUNI, H.; MULEY, A.; RUCHIKA. **Fabrication, testing analysis of particulate ceramic matrix composite for automotive brake pad application.** Materials Today: Proceedings, 2023. ISSN 2214-7853.

CHING, E. J. et al. **Quail: A lightweight open-source discontinuous galerkin code in python for teaching and prototyping.** SoftwareX, v. 17, p. 100982, 2022. ISSN 2352-7110.

COSTA, R. T. D.; SILVA JUNIOR, D. A. **Procedimentos para a construção de uma bancada de teste para sensor de velocidade do sistema de freio antitravamento.** Conjecturas, v. 22, n. 15, p. 242–258, 2022.

DOMÍNGUEZ, J. et al. **Teaching chemical engineering using jupyter notebook: Problem generators and lecturing tools.** Education for Chemical Engineers, v. 37, p. 1–10, 2021. ISSN 1749-7728.

FERNÁNDEZ, J. P. et al. **Influence of tire dynamics on a braking process with abs.** Transportation Research Procedia, v. 58, p. 189–192, 2021. ISSN 2352-1465.

LEITE, J. d. J. F. M. et al. **Uso de tecnologias para apoio ao ensino da disciplina estradas: desenvolvimento de um programa computacional para o cálculo de curvas horizontais circulares e de transição.** Concilium, v. 22, n. 5, p. 1010–1016, 2022.

LI, W. et al. **Research and prospect of ceramics for automotive disc-brakes.** Ceramics International, v. 47, n. 8, p. 10442–10463, 2021. ISSN 0272-8842.

KOYLU, H.; TURAL, E. **Experimental study on braking and stability performance during low speed braking with abs under critical road conditions.** Engineering Science and Technology, an International Journal, v. 24, n. 5, p. 1224–1238, 2021. ISSN 2215-0986.

MANOJ, E. et al. **Investigation on the mechanical and tribological properties of silicon in an automotive brake pad.** Materials Today: Proceedings, 2023. ISSN 2214-7853.

MCKELVEY, T.; GIBANICA, M. **Fsid - a frequency weighted mimo frequency domain identification and rational matrix approximation method for python, julia and matlab.** IFAC-PapersOnLine, v. 54, n. 7, p. 403–408, 2021. ISSN 2405-8963.

MUDALIAR, M. D.; SIVAKUMAR, N. **IoT based real time energy monitoring system using raspberry pi.** Internet of Things, v. 12, p. 100292, 2020. ISSN 2542-6605.

MULANI, S. M. et al. **A review on recent development and challenges in automotive brake pad-disc system.** Materials Today: Proceedings, v. 56, p. 447–454, 2022. ISSN 2214-7853. International Conference on Materials, Machines and Information Technology-2022.

NETO, A. J. A.; NETO, J. A. C.; MORENO, E. D. **The development of a low-cost big data cluster using apache hadoop and raspberry pi.** a complete guide. Computers and Electrical Engineering, v. 104, p. 108403, 2022. ISSN 0045-7906.

PECOLT, S. et al. **Investigation of anti-lock braking system failures using wavelet analysis.** Procedia Computer Science, v. 192, p. 3262-3271, 2021. ISSN 1877-0509.

RAMESH, A.; SUNDAR, S. **Contributions of various non-linearities to the dynamic response of an automotive drum brake during typical braking: A theoretical study.** International Journal of Non-Linear Mechanics, v. 137, p. 103808, 2021. ISSN 0020-7462.

SANGEETHALAKSHMI, K. et al. **Hand gesture vocalizer for deaf and dumb people.** Materials Today: Proceedings, 2021. ISSN 2214-7853.

SHIZA, Noor; SINGH, Amit Kumar. **A Study on control strategies utilized for performance enhancement of antilock braking system.** Materials Today: Proceedings, 2022.

SCHMITT, U. et al. **sympy2c: From symbolic expressions to fast c/c++ functions and ode solvers in python.** Astronomy and Computing, Elsevier, v. 42, p. 100666, 2023.

THEISLER, A. et al. **Predictive maintenance enabled by machine learning: Use cases and challenges in the automotive industry.** Reliability Engineering System Safety, v. 215, p. 1107864, 2021. ISSN 0951-8320.

URREA, C.; KERN, J. **Design and implementation of a wireless control system applied to a 3-dof redundant robot using raspberry pi interface and user datagram protocol.** Computers Electrical Engineering, v. 95, p. 107424, 2021. ISSN 0045-7906.

YIGREM, M.; FATOBA, O.; TENSAY, S. **Tensile strength, wear characteristics and numerical simulation of automotive brake pad from waste-based hybrid composite.** Materials Today: Proceedings, v. 62, p. 2954–2964, 2022. ISSN 2214-7853. International Conference on Materials, Processing Characterization (13th ICMPC).