



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PABLO RAMON FERNANDES DE OLIVEIRA

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA A MEDIÇÃO DE NÍVEL DE
COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS *OFF-ROAD* BAJA

CARAÚBAS / RN

2024

PABLO RAMON FERNANDES DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA A MEDIÇÃO DE NÍVEL DE
COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS *OFF-ROAD* BAJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharias – DE da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Walber Medeiros Lima

Coorientador: Prof. Dr. Diego David Silva Diniz

CARAÚBAS / RN

2024

© 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.

0048d Oliveira, Pablo Ramon Fernandes de.
Desenvolvimento de sistema para a medição de
nível de combustível em veículos off-road baja /
Pablo Ramon Fernandes de Oliveira. - 2024.
65 f. : il.

Orientador: Walber Medeiros Lima.
Coorientador: Diego David Silva Diniz.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2024.

1. Baja. 2. Sensor. 3. Tanque de Combustível.
4. Medição. I. Lima, Walber Medeiros, orient. II.
Diniz, Diego David Silva, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

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.

PABLO RAMON FERNANDES DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA A MEDIÇÃO DE NÍVEL DE
COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS *OFF-ROAD* BAJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Departamento de Engenharias – DE da Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA como
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Walber Medeiros Lima

Coorientador: Prof. Dr. Diego David Silva Diniz

APROVADA EM: 19/ 04/2024

BANCA EXAMINADORA

WALBER MEDEIROS

LIMA: [REDACTED]

Assinado de forma digital por WALBER
MEDEIROS LIMA: [REDACTED]
Dados: 2024.04.23 20:17:24 -03'00'

Prof. Dr. Walber Medeiros Lima - UFERSA

Presidente

**DIEGO DAVID SILVA
DINIZ:** [REDACTED]

Assinado digitalmente por DIEGO DAVID SILVA DINIZ [REDACTED]
DN: CN=DIEGO DAVID SILVA DINIZ, [REDACTED], OU=UFERSA,
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA, C=BR
[REDACTED]
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2024.04.24 09:56:07 -03'00'
Font: PhantomPDF Versão: 10.1.5

Prof. Dr. Diego David Silva Diniz - UFERSA

Primeiro Membro

Documento assinado digitalmente



FRANCISCO DAS CHAGAS BARBOSA DE SENA

Data: 23/04/2024 20:09:11-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Francisco das Chagas Barbosa Sena - UFERSA

Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Sempre em primeiro lugar, agradeço a Deus por nunca ter desistido de mim, mesmo quando eu desisti. Mesmo sendo onipotente e onipresente, nunca deixou de amar e cuidar deste filho pecador, que é insignificante comparado à sua grandeza. De forma sobrenatural, me deu forças e motivos para seguir em frente e batalhar pela vida. Sem o Senhor, eu não estaria aqui e nada disso seria possível. Obrigado, meu Deus e Pai!

Em seguida, agradeço a meus pais por terem investido tanto da vida deles em mim. Graças a vocês, me tornei um homem que busca conquistar aquilo que é seu, sem tomar nada de ninguém. Me ensinaram os caminhos corretos da vida e por isso estou aqui. Mãe e pai, os senhores são meus exemplos. Essa conquista é para vocês. Obrigado, meus “véis”!

Tenho que agradecer, também, a avós, avô, tios, tias, primos e primas. Sempre desejaram o meu melhor. Sofreram e se alegraram comigo na vida. Vocês sempre serão o motivo da minha pessoa querer fazer este mundo melhor e do homem que quero me tornar. Obrigado, família!

Agradeço aos meus orientadores (e amigos) por todo auxílio e confiança. Me ajudaram bastante no desenvolvimento deste trabalho e na minha jornada acadêmica. Os momentos de ensinamento, descontração, brincadeiras e todo apoio foram essenciais. Obrigado, Doutores!

Durante a jornada da vida, se conhece pessoas que vêm e que ficam, outras que vêm e passam. Portanto, é impossível esquecer os amigos se tornaram família ao longo da jornada da vida, proporcionando momentos de alegrias. Obrigado, irmãos.

Agradeço a todos aqueles que me ajudaram de alguma forma. Muitos são os que querem ver o fracasso das pessoas, mas vocês não são esse tipo de gente. Saibam que têm minha gratidão. Obrigado!

E obrigado a você, leitor. Que por algum motivo está lendo esse texto. Espero que você encontre o que procura e que este TCC lhe ajude. Fique com Deus!

“Eu disse essas coisas para que em mim vocês tenham paz. Neste mundo vocês terão aflições; contudo, tenham ânimo! Eu venci o mundo”.

(João 16:33)

RESUMO

A importância dos sistemas embarcados e dos sensores eletrônicos na indústria automotiva tem se destacado progressivamente ao longo dos anos, especialmente no contexto da medição de dados veiculares em diversos subsistemas dos veículos. Nas competições da Baja SAE BRASIL, a medição precisa dos níveis de combustível nos veículos baja desempenha um papel crucial para assegurar um controle eficaz, uma logística precisa e um planejamento adequado para as equipes competidoras. Em eventos anteriores, a equipe Caraubaja recorria a sensores indutivos para a medição da quantidade de gasolina, dada a composição do reservatório em polímero. No entanto, com a substituição deste por um reservatório de metal da marca Pyrotec, o sensor indutivo revelou-se inadequado, já que não mais conseguia realizar medições. Isso motivou a necessidade de desenvolver um novo sistema de medição que não demandasse a perfuração do tanque de gasolina e que estivesse em conformidade com as normas da competição. Com foco nas competições da Baja SAE BRASIL, o objetivo principal deste estudo consiste no desenvolvimento de um novo sistema de medição de nível de gasolina em veículos *off-road* baja, respeitando todas as exigências regulamentares das competições. O trabalho foi dividido em duas etapas principais: a caracterização dos possíveis sensores a serem empregados, por meio de testes, e a aplicação do sensor de efeito Hall em um protótipo de sistema de medição de nível. Para isso foi necessário a utilização de *softwares* para a produção do *desing* da placa e a utilização de componentes eletrônicos para o funcionamento. Ao término da montagem e dos testes do sistema completo, foram obtidos resultados sólidos e uma base promissora para futuras implementações e refinamentos do protótipo, pois o protótipo funcionou de forma adequada para o propósito ao qual foi projetado.

Palavras Chave: Baja; Sensor; Tanque de Combustível; Medição.

ABSTRACT

The importance of embedded systems and electronic sensors in the automotive industry has been progressively highlighted over the years, especially in the context of vehicle data measurement across various vehicle subsystems. In Baja SAE BRASIL competitions, precise measurement of fuel levels in baja vehicles plays a crucial role in ensuring effective control, accurate logistics, and proper planning for competing teams. In previous events, the Caraubaja team relied on inductive sensors for measuring gasoline quantity, given the composition of the polymer reservoir. However, with the replacement of this reservoir by a metal one from the Pyrotec brand, the inductive sensor proved inadequate as it could no longer perform measurements. This prompted the need to develop a new measurement system that did not require drilling the gasoline tank and complied with competition regulations. Focused on Baja SAE BRASIL competitions, the main objective of this study is to develop a new gasoline level measurement system for off-road baja vehicles, respecting all competition regulatory requirements. The work was divided into two main stages: characterization of possible sensors to be used through testing, and application of the Hall effect sensor in a prototype level measurement system. This required the use of software for PCB design and electronic components for operation. At the end of the assembly and testing of the complete system, solid results were obtained, providing a promising foundation for future prototype implementations and refinements, as the prototype performed adequately for its intended purpose.

Keywords: Baja; Sensor; Fuel Tank; Measurement.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação entre sistema automatizado e características humanas.....	15
Tabela 2: Diferenças entre Sensores Analógico e Digital.....	16
Tabela 3: Especificações do Sensor de Pressão.....	32
Tabela 4: Especificações do Sensor de Efeito Hall A3144.....	33
Tabela 5: Valores de Tensão e Altura (4,1 m) – Transdutor de Pressão.....	39
Tabela 6: Valores de Tensão e Altura (65 cm) – Transdutor de Pressão.....	40
Tabela 7: 1º Teste do Sensor Hall.....	41
Tabela 8: 2º Teste do Sensor Hall.....	42
Tabela 9: 3º Teste do Sensor Hall.....	43
Tabela 10: 4º Teste do Sensor Hall.....	43
Tabela 11: 5º Teste do Sensor Hall.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tanque de alumínio Baja SAE (Pyrotect).....	11
Figura 2: Sistema de Distribuição Elétrica.....	13
Figura 3: Diagrama elétrico do sistema 12 V / 14 V.....	14
Figura 4: Exemplo de um Sinal Analógico.....	17
Figura 5: Exemplo de um Sinal Digital.....	18
Figura 6: Representação do princípio de funcionamento do sensor boia.....	19
Figura 7: Princípio de funcionamento do sensor indutivo.....	20
Figura 8: Aspecto de um sensor de pressão capacitivo.....	21
Figura 9: Sensor de Nível de Água Usando um Fio Esmaltado.....	22
Figura 10: Capacitor cilindro.....	23
Figura 11: Deformação do sensor de pressão.....	25
Figura 12: Força de Lorentz.....	26
Figura 13: Funcionamento do sensor ultrassônico.....	27
Figura 14: Modelo Arduino Mega 2560 Rev3.....	29
Figura 15: 28ª COMPETIÇÃO BAJA SAE BRASIL – ETAPA NACIONAL.....	30
Figura 16: Sensor Industrial de Pressão (0 à 5 psi).....	34
Figura 17: Sensor de efeito Hall A3144.....	35
Figura 18: Curva Característica do Sensor Industrial de Pressão (4,1 m).....	39
Figura 19: Curva Característica do Sensor Industrial de Pressão (65 cm).....	40
Figura 20: Esquemático do Protótipo.....	45
Figura 21: Modelo 3D da Placa (Todas as Faces).....	46
Figura 22: Modelo Impresso da PCB.....	46
Figura 23: Acelerômetro mma7361.....	47
Figura 24: Elementos da Bancada de Testes.....	47
Figura 25: Bancada de Teste em Simulação.....	48
Figura 26: Sistema sem Mudança de Estado (Ângulo Maior que 12°).....	48
Figura 27: Sistema com Mudança de Estado (Ângulo Dentro do Intervalo).....	49

LISTA DE SIGLAS

ABS – *Anti-lock Braking System*

BCD – *Binary Coded Decimal*

CC – Corrente Contínua

C/ – com

CLP – Comando Lógico Programável

GND – *Ground*

IDE – *Integrated Development Environment*

PCB – *Printed Circuit Board*

RATBSB – Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE BRASIL

SAE – *Society of Automotive Engineers*

SI – Sistema Internacional de Unidades

S/ – sem

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

VCC – *Voltage Common Collector*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS GERAIS	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.3 ESCOPO DO TRABALHO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 INSTRUMENTAÇÃO ELÉTRICA AUTOMOTIVA	13
2.2 SENSORES	14
2.2.1 Sensores analógicos	16
2.2.2 Sensores digitais	17
2.3 SENSORES DE NÍVEL	18
2.3.1 Sensor boia	18
2.3.2 Sensor indutivo	19
2.3.3 Sensor capacitivo de pressão	21
2.3.4 Sensor de pressão	23
2.3.5 Sensor de efeito Hall	25
2.3.6 Sensor ultrassônico	27
2.4 ARDUINO	28
2.5 BAJA	30
2.5.1 Regulamento SAE BRASIL	30
3 METODOLOGIA	32
3.1 ESCOLHA DOS POSSÍVEIS SENSORES À SEREM UTILIZADOS NO BAJA	32
3.2 TESTES PARA A CARACTERIZAÇÃO DOS SENSORES	33
3.2.1 Sensor de pressão	34
3.2.2 Sensor de efeito Hall	35
3.2.2.1 Projeto do sistema de medição de nível	36
4 RESULTADOS	38
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SENSORES	38
4.1.1 Sensor de pressão	38
4.1.2 Sensor de efeito Hall	41
4.2 DETERMINAÇÃO DO TIPO DE SENSOR	44
4.3 PROTÓTIPO DO SISTEMA UTILIZADO	45
5 CONCLUSÃO	50

REFERÊNCIAS.....	52
APÊNDICE A – Algoritmo Utilizado no Sensor de Pressão.....	56
APÊNDICE B – Algoritmo Completo do Protótipo Final.....	57
ANEXO A – Normas do RATBSB (Emenda 5).....	63

1 INTRODUÇÃO

Os veículos automotivos são compostos por diversos sistemas, como: transmissão, chassi, freios, carenagem, suspensão, direção e elétrico. É comum no sistema elétrico a integração de componentes eletrônicos para a coleta de dados do veículo. Essa prática é amplamente impulsionada pela presença e funcionalidade dos sistemas embarcados, os quais desempenham um papel significativo na capacidade de monitoramento e controle dos diversos aspectos operacionais dos veículos.

Os sistemas embarcados ou embutidos (*embedded systems*) são computadores autônomos e especializados que apresentam algumas características como: economia de energia, dimensões reduzidas, capacidade de processamento otimizada e execução de tarefas em tempo real. Esses sistemas são desenvolvidos para realizações de tarefas específicas. Controle de *hardware*, processamento de sinais, coleta e processamento de dados, comunicação, interface de usuário, segurança, controle de tempo real, controle de energia, gerenciamento de energia, dentre outras. O sistema embarcado está diretamente integrado ao dispositivo que está sendo controlado (CARRO e WAGNER, 2003).

Com o avanço tecnológico, os sistemas embarcados foram ainda mais incorporados aos automóveis para a realização de determinadas funções essenciais. Por exemplo, os indicadores de alerta do painel eletrônico do carro são sinais de atuação de um sistema embarcado. A leitura do nível de combustível e sua demonstração no painel é devido a atuação de um desses aparelhos embarcados. A captação dos dados físicos, que serão processados, é realizada através de sensores eletrônicos ligados ao sistema embarcado (CUNHA, 2007).

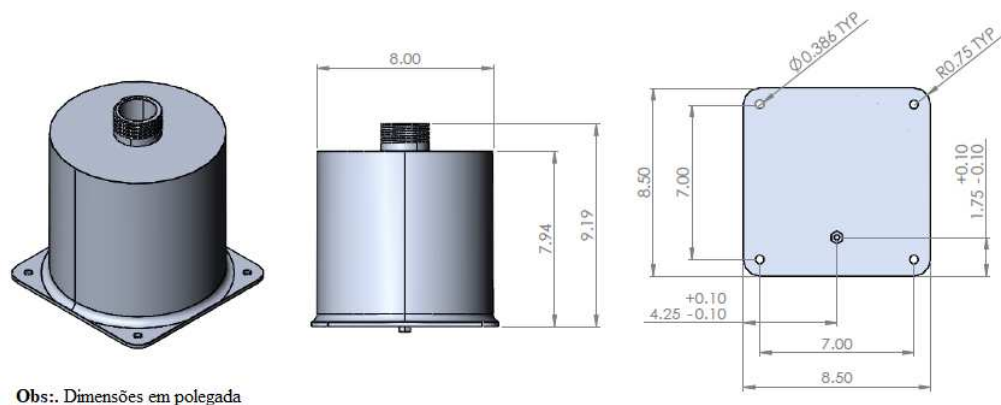
De acordo com Wendling (2010), os sensores são sensíveis a diversas formas de energia, tais como energia térmica, cinética, luminosa, etc. Os sensores estabelecem uma relação entre a forma de energia captada e uma grandeza física específica que necessita ser mensurada. Essas grandezas podem ser temperatura, pressão, corrente, velocidade, aceleração, posição, entre outras. Existem situações em que a leitura desses dados são vitais para o funcionamento correto do sistema. Nos automóveis, por exemplo, o monitoramento dessas grandezas físicas são de suma importância para a visualização do comportamento e do controle do veículo, bem como a manutenção de sua integridade. Sejam veículos domésticos ou aqueles utilizados em competições.

A equipe Caraubaja SAE, formada por estudantes de engenharia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Caraúbas, foi criada em 2015 com o objetivo

de competir em eventos promovidos pela SAE Brasil, tanto em nível regional quanto nacional. Em competições como as da Baja SAE BRASIL, a fiscalização dos níveis de combustível nos veículos baja é crucial para a realização das provas, pois a ausência de uma medição adequada pode comprometer a logística e o planejamento da equipe. A falta de combustível pode resultar na desclassificação do veículo, destacando a importância de desenvolver um sistema que realize essas medições de acordo com as regras estabelecidas pelo evento.

Durante a realização das provas do evento, deve-se ter controle sobre o nível de combustível do veículo para a realização de abastecimentos. Em eventos anteriores, era possível a utilização de sensores indutivos para a aferição da quantidade de gasolina, pois o reservatório era composto por um polímero. Com a substituição do reservatório, por um outro de metal, o sensor indutivo tornou-se inviável, pois o mesmo não tinha mais capacidade de realizar as medições. A Baja SAE BRASIL, também, impôs uma regra no regulamento das competições na qual é proibida a perfuração do reservatório. O novo tanque utilizado no veículo é o tanque de alumínio Baja SAE Spec 6061.125 com anteparo, bocal de alumínio de 2,5", tampa de abastecimento Kelch 225 com ventilação e conexão de mangueira de 3/16" (PYROTECT, 2024), ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Tanque de alumínio Baja SAE (Pyrotect).



Fonte: Adaptado de Pyrotect (2024).

Diante da necessidade de medir a quantidade de combustível no tanque em um veículo *off-road* do tipo baja, buscou-se realizar um estudo para fornecer meios que possibilitem a realização da medição dos níveis de gasolina nesse tipo de veículo, sem a necessidade de perfuração do reservatório e sem haver condutores elétricos dentro da mangueira de alimentação de combustível do veículo. Esses, e outros requisitos técnicos, são determinados pelo regulamen-

to da Baja SAE BRASIL e, portanto, devem ser respeitados e seguidos para que o carro esteja apto a participar das competições efetuadas pela corporação regulamentadora.

Dessa forma, o presente trabalho desenvolveu uma forma de medição do nível de combustível de acordo com as regras da Baja SAE BRASIL.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolvimento de um sistema de medição de nível de gasolina num tanque de veículo *off-road* baja de acordo com as regras estabelecidas pela Baja SAE Brasil.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar o regulamento da SAE BRASIL;
- Construir referência bibliográfica referente a sensores de nível;
- Desenvolver uma bancada de testes;
- Desenvolver um *firmware* na plataforma Arduino IDE;
- Calibrar os sensores utilizados na bancada de testes;
- Realizar o comportamento estáticos e dinâmico do sistema;

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

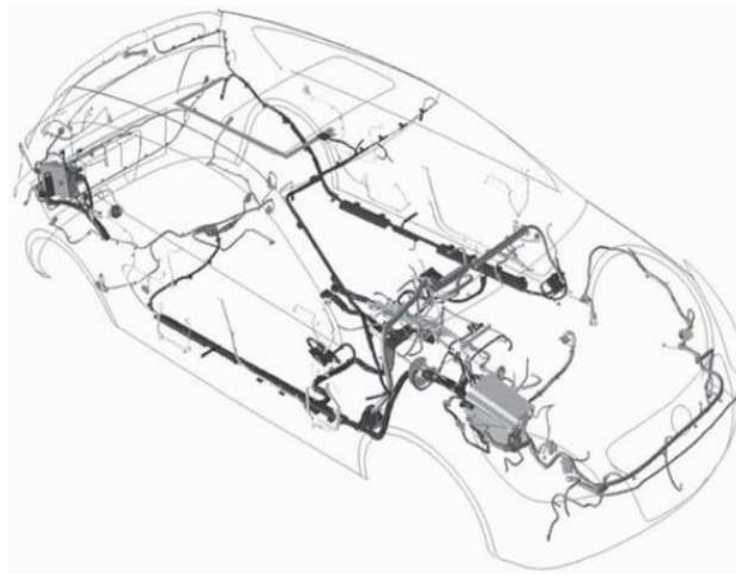
Para um melhor entendimento do conteúdo deste trabalho, a sua estrutura foi disposta em cinco capítulos. O capítulo 1 explana a parte introdutória do trabalho e descreve conceitos prévios abordados ao longo do trabalho, assim como os objetivos do estudo. O capítulo 2 aborda conceitos teóricos sobre os dispositivos eletrônicos e as regras do regulamento serão demonstrados, de forma mais abrangente, no referencial teórico, tomando outras pesquisas como referência. O capítulo 3 expõe o processo da metodologia, em que será listado todos os métodos e técnicas utilizadas para a execução dos testes e da confecção do protótipo final. Os resultados mostram todas as informações, valores, dados e gráficos obtidos durante a realização do projeto, sendo apresentado no capítulo 4. No capítulo 5 é assimilada toda informação alcançada ao longo da pesquisa. Por fim, a listagem dos trabalhos utilizados ao longo deste trabalho está presente nas referências bibliográficas desta monografia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INSTRUMENTAÇÃO ELÉTRICO AUTOMOTIVO

Os estudos para desenvolvimento de sistemas elétricos automotivos cresceram rapidamente após a Segunda Guerra Mundial, devido à adição de vários acessórios funcionais ao veículo como, por exemplo, rádio, para-brisas com variações de velocidade, vidros elétrico, dentre outros. Isso ocorreu devido a busca por segurança, conectividade e conforto dos condutores e passageiros. Consequentemente, o número de aparelhos embarcados nos veículos aumentou expressivamente. Para satisfazer a alimentação das cargas elétricas adicionadas, a tensão e a carga do sistema geral necessitou ser aumentada (TAVARES, 2014). A Figura 2 apresenta um sistema elétrico usual encontrado em um automóvel.

Figura 2 – Sistema de Distribuição Elétrica.

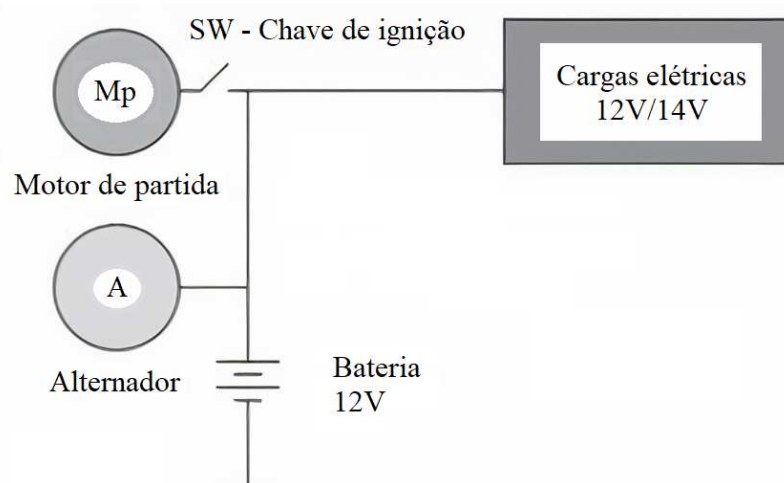


Fonte: Guimarães (2007).

As arquiteturas elétricas dos veículos possuem modelos variados. Algumas buscam simplicidade da estrutura elétrica em relação aos sistemas mais complexos, outras utilizam quantidades e tensões de barramentos diferentes devidos aos elementos elétricos/eletrônicos adicionados. Existem casos em que essas arquiteturas diferem entre si em relação ao número de baterias e suas tensões. Também, há situações em que são adicionados ou excluídos alguns componentes do sistema elétrico. Por exemplo, a adição de um conversor CC-CC para

diminuir a quantidade de baterias com diferentes tensões. Porém, apesar das diferentes arquiteturas, todas elas apresentam componentes essenciais na sua composição como: bateria, alternador, motor de partida e dispositivos elétricos, como ilustrado na Figura 3. Em alguns modelos, o alternador e o motor de partida são integrados (SANTOS, 2005).

Figura 3 – Diagrama elétrico do sistema 12 V / 14 V.



Fonte: Adaptado de Guimarães (2007).

2.2 SENSORES

Com o avanço da tecnologia, ocorreu o surgimento de novas técnicas de monitoramento para serviços automatizados e controlados. No âmbito comercial, esse monitoramento pode ser visto mediante dispositivos sensoriais de tempo real. Um exemplo bastante comum é a utilização de câmeras capazes de detectar movimentação em uma área limitada (BOBSIN, 2020). Esses sensores têm a função de detectar variações físicas de uma determinada aferição de valores para que, em determinados casos, possam ser tomadas decisões e ações específicas a respeito da atividade monitorada.

Podemos observar que os dispositivos de sensoriamento desempenham um papel semelhante aos sentidos do corpo humano. Assim, enquanto os sentidos humanos percebem estímulos no ambiente, os sensores captam variações físicas e energéticas ao seu redor. Fazendo uma analogia com o corpo humano, os dispositivos de sensoriamento seriam os sentidos e o sistema de controle seria o cérebro. Os sensores são capazes de captar variações físicas no ambiente em que estão inseridos, podendo captar algum tipo de energia (cinética,

luminosa, térmica, etc.). Dessa forma, os dispositivos geram informações para o sistema em que estão integrados. Com a captação da variação da energia, torna-se possível transformar essas leituras em sinais, no qual, esses últimos, serão convertidos em dados (NEXXTO, 2020). A Tabela 1 apresenta uma relação didática entre os componentes de um sistema automatizado e algumas características humanas.

Tabela 1 – Comparação entre sistema automatizado e características humanas.

Controlador	Cérebro
Programas e bases de dados	Conhecimento
Sensores	Órgãos dos sentidos
Atuadores	Membros inferiores e superiores
Rede de comunicação	Sistema nervoso central
Energia do sistema	Alimentação
Condutores de energia	Sistema sanguíneo
Estrutura mecânica	Esqueleto

Fonte: Adaptado de Brito (2017).

Em meio ao mercado mundial, existe a comercialização de módulos sensores habilitados a medir variadas grandezas físicas, em condições adequadas. Esses módulos, normalmente, são regidos por microcontroladores capazes de processarem informações. Os dados processados por esses módulos podem ser valores matemáticos, conversão entre sinais analógicos e digitais (GUADAGNINI, 2013). A caracterização desses sensores é realizada pelo comportamento dos sinais de saída.

De forma introdutória, sensores analógicos geram uma saída contínua, ao passo que sensores digitais produzem uma saída discreta. A escolha entre um ou outro depende das exigências específicas da aplicação, levando em consideração fatores como resolução, precisão e a natureza da informação a ser medida. A Tabela 2 apresenta um resumo abrangente das principais diferenças entre os sensores. Essas características podem variar conforme o tipo de sensor e a aplicação em questão.

Tabela 2 – Diferenças entre Sensor Analógico e Digital.

Característica	Sensor Analógico	Sensor Digital
Tipo de Saída	Contínua (tensão ou corrente)	Discreta (geralmente binária)
Representação	Proporcional à mudança contínua na grandeza medida	Mapeada para níveis discretos relacionados à grandeza medida
Precisão	Geralmente alta resolução contínua	Precisão em termos de níveis discretos
Sinal de Saída	Varia infinitamente entre os limites mínimo e máximo	Apresenta valores discretos, frequentemente em bits (ex.: 8 bits, 16 bits)
Uso Típico	Medidas precisas e contínuas em ambientes controlados	Aplicações digitais, controle lógico, comunicação com sistemas digitais
Suscetibilidade a Ruídos	Mais suscetível devido à natureza contínua	Menos suscetível, geralmente devido à natureza discreta
Exemplo Comum	Sensor de temperatura analógico	Sensor de presença digital

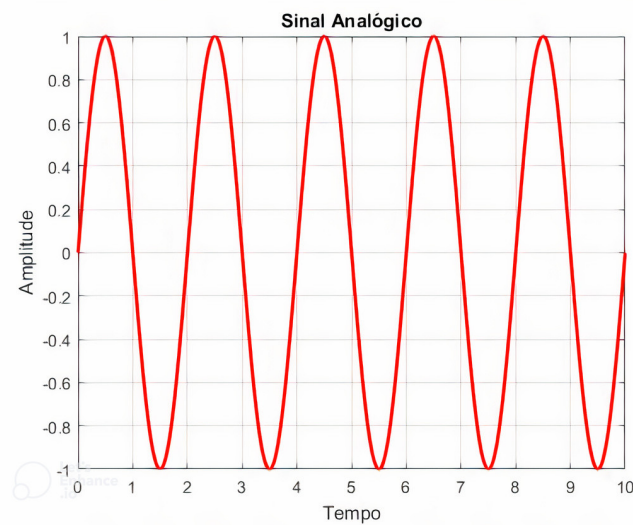
Fonte: Autoria Própria.

2.2.1 Sensores analógicos

Segundo Thomazini e De Albuquerque (2015, p. 18), o sensor analógico pode variar continuamente em sua saída ao longo do tempo, desde que permaneça dentro de sua faixa de operação. Além disso, várias grandezas físicas, como pressão, temperatura, velocidade, umidade, vazão, força, ângulo, distância, torque, luminosidade, dentre outras, podem assumir valores variáveis ao longo do tempo. Essas variáveis são detectadas por dispositivos sensíveis que estão conectados a circuitos eletrônicos com não digitais.

Um sensor que se encaixa na categoria analógico é o transdutor de pressão. Também conhecido por transmissor de pressão, esse dispositivo converte a pressão de um ambiente em um sinal elétrico analógico. Resumidamente, os sinais dos sensores analógicos são contínuos e variam os seus valores dentro de um intervalo específico ao longo do tempo, como ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Exemplo de um Sinal Analógico.



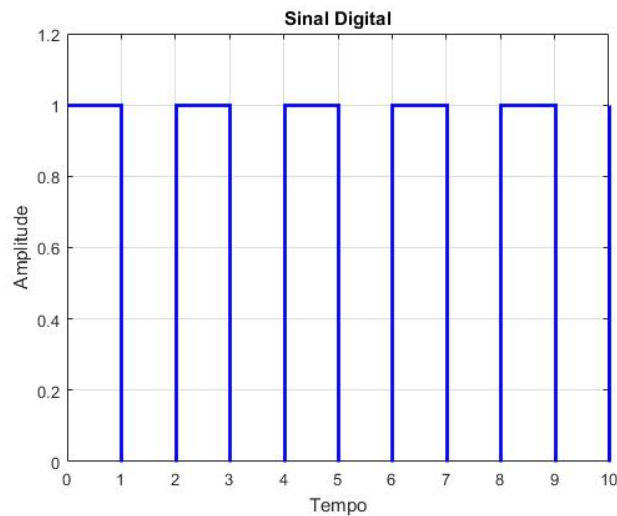
Fonte: Autoria Própria.

2.2.2 Sensores digitais

Dando continuidade, ao raciocínio de Thomazini e De Albuquerque (2015, p. 18), para manter uma mesma linha lógica de pensamento em relação aos sensores analógicos, os autores afirmam que um sensor digital possui apenas dois estados em sua saída ao longo do tempo, representados como zero ou um: desligado (*OFF*) ou ligado (*ON*). Não existem grandezas físicas que adotem esses valores de forma natural. Esses valores são interpretados pelo sistema de controle após serem convertidos pelo circuito eletrônico dos sensores, como pressostatos, termostatos ou chaves de nível, ou por transdutores, como *encoders* para determinação de posição ou velocidade. A saída desses dispositivos é geralmente em forma de pulsos (*encoders* incrementais) ou códigos binários (BCD, *Gray*, etc.), no caso de *encoders* absolutos.

No grupo de sensores digitais, por exemplo, encontra-se o sensor de efeito Hall, no qual é capaz de identificar a presença de um campo magnético no ambiente através do efeito Hall. Com a realização da leitura, o sensor envia um sinal de nível lógico alto ou baixo (sinal digital), apresentado na Figura 5, a um dispositivo eletrônico no qual utilizará essa informação em algum processo.

Figura 5 – Exemplo de um Sinal Digital.



Fonte: Autoria Própria.

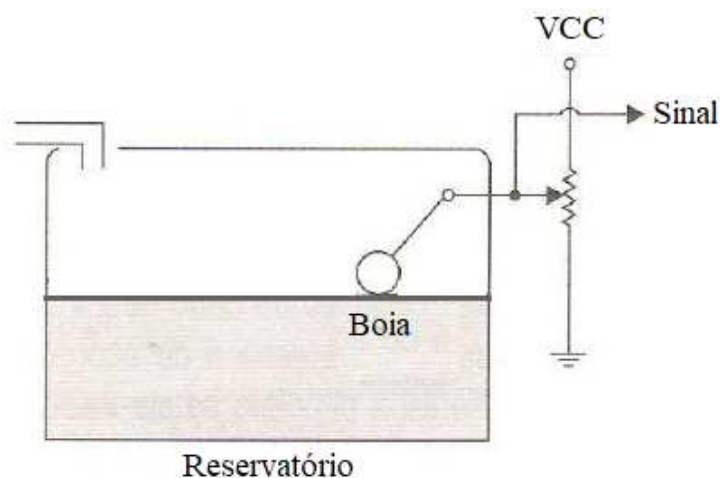
2.3 SENSORES DE NÍVEL

Tais dispositivos, sejam analógicos ou digitais, são projetados para mensurar e indicar o nível de um determinado líquido ou sólido granular em um reservatório. Esses sensores são utilizados em diversas aplicações industriais. Também podem ser encontrados no setor residencial para monitorar e controlar o nível de substâncias, por exemplo, em tanques e demais recipientes. Existem diferentes tipos de sensores que são capazes de realizar essas medições.

2.3.1 Sensor boia

Este dispositivo, cujo princípio de funcionamento está representado na Figura 6, é um sensor empregado para o controle e monitoramento do nível de fluidos em reservatórios. A boia opera semelhante a um relé convencional, funcionando como um interruptor eletrônico. O sensor opera de maneira simples e eficaz: a boia flutua na superfície do líquido, e quando atinge um determinado nível, aciona uma haste ou outro mecanismo que registra ou transmite a informação de que o nível foi alcançado. Esse tipo de sensor é amplamente utilizado em diversas aplicações, proporcionando um método confiável e preciso de monitoramento de níveis de líquidos (THOMAZINI e DE ALBUQUERQUE, 2015).

Figura 6 – Representação do princípio de funcionamento do sensor boia.



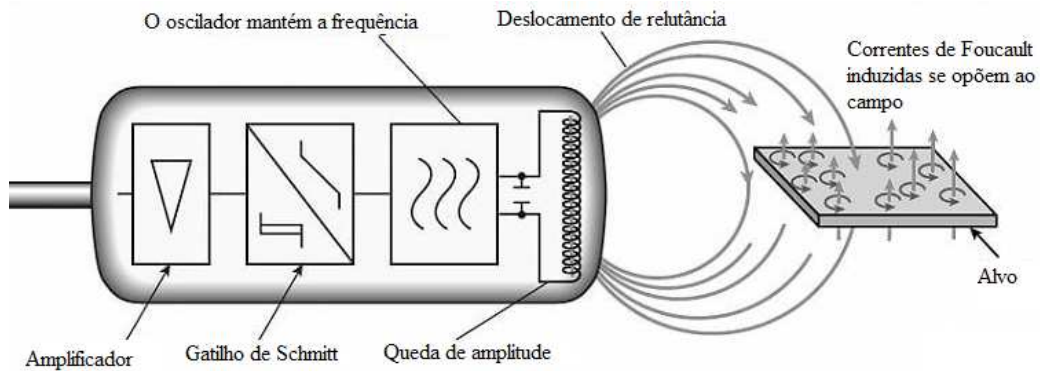
Fonte: Adaptado de Thomazini e De Albuquerque (2015).

Quando a boia atinge um determinado nível, um sinal será enviado para algum dispositivo de controle para o acionamento ou interrupção de um equipamento. Esse é o funcionamento padrão desses sensores, porém existem algumas diferenças características entre os modelos de sensores boias. As principais diferenças encontradas são a adição de particularidades e funções específicas em cada modelo.

2.3.2 Sensor indutivo

Os sensores indutivos funcionam por corrente contínua e são construídos em material metálico com formato cilíndrico, sendo que parte desse cilindro possui uma rosca métrica. Seu princípio de funcionamento está fundamentado nos efeitos do campo magnético, sendo capazes de detectar materiais metálicos, como ilustra a Figura 7. A identificação do objeto metálico ocorre quando este se aproxima do sensor a ponto de modificar o campo magnético gerado na face do sensor. Nesse momento, o sensor envia um sinal a um dispositivo, o qual executa uma ação conforme a lógica programada no equipamento. As variações entre os diversos tipos de sensores indutivos dizem respeito principalmente à eficiência, alcance e valores, visto que o princípio de funcionamento é o mesmo para todos (SILVA; GALDINO; FERNANDES, 2016).

Figura 7 – Princípio de funcionamento do sensor indutivo.



Fonte: Adaptado de OMCH (2021).

Esta alteração do fluxo magnético leva a modificação da permeabilidade efetiva do circuito magnético, o que depende do tipo de material analisado. (ROACH, 1998). Dessa forma, o valor da relutância magnética (R_m) altera-se. A forma geral da relutância magnética é dada por:

$$R_m = \frac{l}{\mu_r \mu_0 A_b} \quad (1)$$

onde:

R_m = Relutância magnética [Ae/Wb];

l = Comprimento médio do percurso do fluxo [m];

A_b = Área da seção transversal da bobina [m²];

μ_r = Permeabilidade magnética relativa do material; e

μ_0 = Permeabilidade do vácuo [H/m].

Com a alteração da relutância, tem-se uma alteração no valor da indutância, pois o valor da indutância L [H] é dado pela relação de número de espiras N ao quadrado dividido pela relutância magnética R_m , como apresentado na Equação 2.

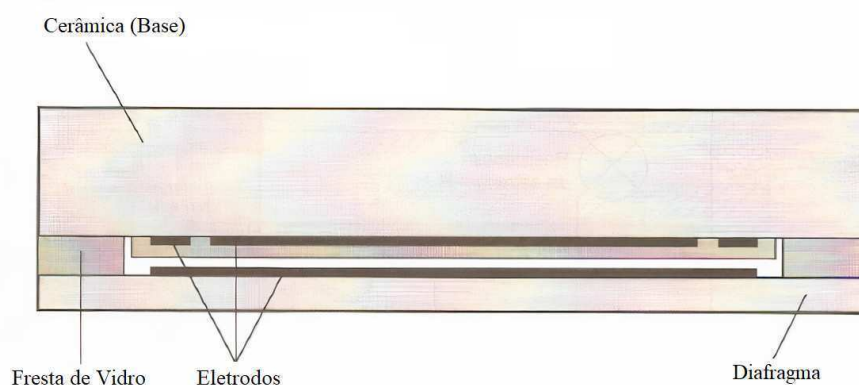
$$L = \frac{N^2}{R_m} \quad (2)$$

Segundo Martinelli (2022), a longa durabilidade desse sensor é assegurada pelo fato de não possuir componentes móveis e de operar sem a necessidade de contato direto para detectar informações. Suas principais utilizações incluem a medição de velocidade e posição de partes em movimento, especialmente no sistema de ignição e no sistema de freios antibloqueio (*Anti-lock Braking System – ABS*).

2.3.3 Sensor capacitivo de pressão

Os sensores capacitivos, ilustrado na Figura 8, são projetados para operar gerando um campo eletrostático e detectando mudanças nesse campo. Esses sensores possuem modelos com características distintas e diferentes aplicabilidades. Thomazini e De Albuquerque (2015) conceituam um sensor de pressão capacitivo por uma estrutura composta por uma base e um diafragma. No momento em que uma determinada pressão é aplicada ao sensor, o diafragma se contrai, aproximando-se da base. Essa alteração da distância entre o diafragma e a base resulta em uma variação na capacitância do sensor. Em outras palavras, o diafragma e a base atuam como as placas condutoras de um capacitor, fazendo o sensor operar de modo semelhante ao mesmo. Ao detectar essa variação na capacitância em relação a um referencial estabelecido, é possível realizar a medição da pressão aplicada. Além disso, ao utilizar materiais específicos, como cerâmica, na sua construção, o sensor pode adquirir propriedades mecânicas como elasticidade, estabilidade térmica e alta resistência. Contribuindo para a estabilidade e prolongando a vida útil do dispositivo.

Figura 8 – Aspecto de um sensor de pressão capacitivo.



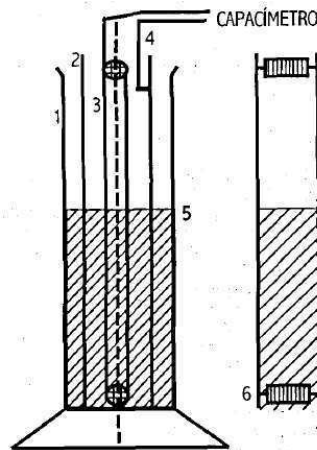
Fonte: adaptado de Thomazini e De Albuquerque (2015).

Análogo a um capacitor, os parâmetros de relevância são as áreas das placas condutoras A [m²], a distância entre essas placas d [m] e a constante elétrica do material armazenado ϵ [F/m]. A capacitância C [F] de um capacitor de placas paralelas é dada por:

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d} \quad (3)$$

Uma aplicação prática desse fenômeno é vista no trabalho de Carneiro et al. (1997). Os autores desenvolveram um sensor de nível de água usando um fio esmaltado, no qual a água e o cobre atuam como placas de capacitores com o esmalte como dielétrico. Nove sensores foram fabricados, cada um com fios de diferentes diâmetros e materiais isolantes, e foram individualmente ajustados, como ilustrado na Figura 9. Foram inseridos diferentes níveis de água para ter as oscilações dos valores da capacitância. Assim foi possível utilizar o método da regressão linear para ajustar as medidas das capacitâncias elétricas e os níveis de água de cada sensor, obtendo-se a curva de calibração.

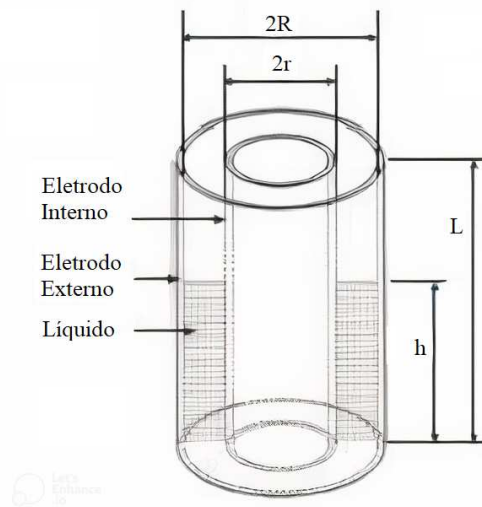
Figura 9 – Sensor de Nível de Água Usando um Fio Esmaltado.



Fonte: Carneiro et al. (1997).

Já Patil et al. (2019) propõem um método para criar um sensor de nível de combustível utilizando o princípio capacitivo. O sensor opera com dois cilindros concêntricos funcionando como um capacitor, como ilustrado na Figura 10. As mudanças no material entre as placas, conhecido como dielétrico, são detectadas por um circuito eletrônico, que converte a capacitância resultante em um nível de líquido correspondente.

Figura 10 – Capacitor cilíndrico.



Fonte: Adaptado de PATIL et al. (2019).

2.3.4 Sensor de pressão

Neste tópico será abordado, especificamente, sobre os transdutores de pressão, que são dispositivos eletromecânicos criados para converter valores de pressão em tensões através de uma carga de alta impedância.

De forma resumida, a pressão é uma grandeza escalar dada pela divisão do módulo da força aplicada pela unidade de área da superfície, como é apresentado na Equação 4. Esse sensor é utilizado, comumente, no estudo e análises de fluidos, como gases e líquidos. A unidade que representa essa grandeza física no Sistema Internacional de unidades (SI) é o Pascal (Pa). O Pa consiste numa força de 1 N sobre uma área de 1 m².

$$P = \frac{F}{A} \quad (4)$$

A propriedade de pressão do fluido pode ser expressada de duas formas: absoluta e manométrica. A medição da pressão absoluta tem como referência a pressão de zero absoluto, enquanto a pressão manométrica é referenciada pela pressão atmosférica (VILANOVA, 2011).

Aprofundando um pouco mais sobre o tema pressão, tem-se contato com a Equação de Bernoulli. Essa equação é utilizada em fluidos ideais para determinar valores de pressão em

determinado ponto de escoamento. A equação demonstra que o trabalho realizado pelo fluido circundante em uma unidade de volume de fluido (dW) é equivalente à soma dos diferenciais das energias cinética (dK) e potencial (dU) que ocorrem na unidade de volume durante o escoamento (YOUNG e FREEDMAN, 2016). Matematicamente descrita pela Equação 5:

$$dW = dK + dU = (P_1 - P_2) dV \quad (5)$$

Desenvolvendo a equação, tem-se outra maneira de caracterizar a mesma. A Equação 6 explicita as variáveis em dois diferentes pontos de um sistema, em termos das pressões.

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (y_2 - y_1) \quad (6)$$

Assim, tem-se que a diferença de pressão em entre dois pontos ($P_1 - P_2$) é dada por dois termos. O termo em função da velocidade (v) é a diferença de pressão associada à variação da velocidade do fluido. Já o termo em função da diferença de altura de dois níveis (y) é a pressão adicional associada ao peso. Para um fluido estático, a velocidade é nula, portanto, em um sistema manométrico, a equação de Bernoulli se resume a Equação 7:

$$P = \rho gh \quad (7)$$

Onde:

P = Pressão no ponto [Pa ou N/m²];

ρ = Densidade volumétrica do fluido [kg/m³];

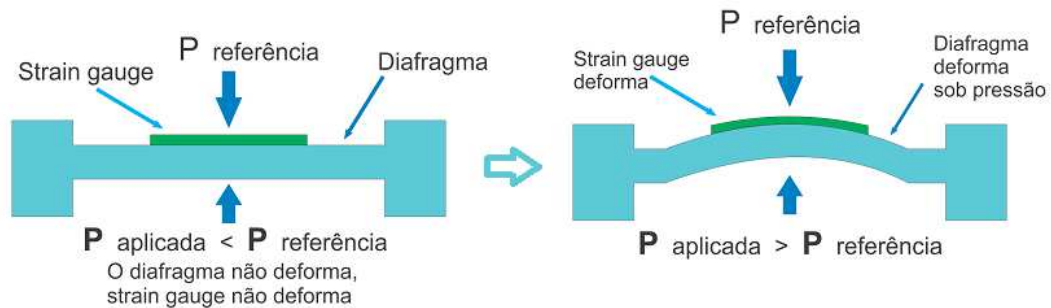
g = Aceleração da gravidade [m/s²]; e

h = Altura do ponto [m].

Os transdutores de pressão utilizam desses conceitos físicos para a realização de suas medições, como ilustrado na Figura 11. Existem três tipos diferentes desses dispositivos, divididos entre os tipos resistivos, capacitivos e indutivos. O transdutor de pressão resistivo emprega calibradores de tensão conectados ao material deformável. Assim, qualquer mudança na deformação resulta em alteração na resistência elétrica de cada calibrador de tensão, passível

de ser mensurada por meio de uma ponte de Wheatstone. Por outro lado, no transdutor de pressão capacitivo, a variação na pressão é avaliada na capacitância entre duas placas capacitivas. Uma placa é fixada ao lado deformável do material elástico, enquanto a outra é aderida à superfície não pressurizada. Por último, no transdutor de pressão indutivo, a deformação do material elástico é utilizada para gerar um movimento linear em um núcleo ferromagnético. Esse movimento linear ocasiona variação na corrente alternada induzida (CITISYSTEMS, 2018).

Figura 11 – Deformação do sensor de pressão.



Fonte: Adaptada de Alfacomp (2020).

2.3.5 Sensor de efeito Hall

Edwin H. Hall realizou sua primeira observação desse fenômeno em 1879, fundamentando-se em um efeito da Força de Lorentz. O Efeito Hall descreve a resposta de uma corrente elétrica em um condutor linear quando exposta a um campo magnético perpendicular à direção dessa corrente. Esse fenômeno possibilita a determinação da carga positiva ou negativa dos portadores em um condutor (HALLIDAY e RESNICK, 2009).

De acordo com o sistema da Figura 12, a expressão matemática da Força de Lorentz (F) no material devido ao movimento dos elétrons pode ser obtida por:

$$\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (8)$$

onde:

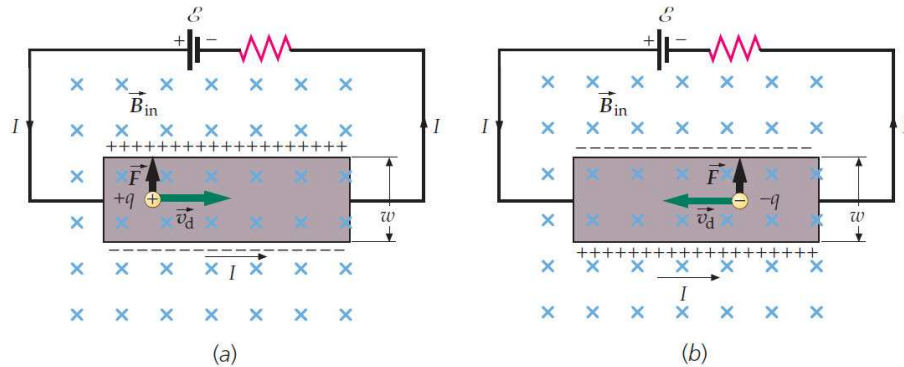
F = Força de Lorentz [N];

q = Carga do Elétron [C];

v = Vetor velocidade média das cargas [m/s]; e

B = Vetor densidade de fluxo magnético [T ou N/A·m].

Figura 12 – Força de Lorentz.



Fonte: Tipler e Mosca (2008).

Devido a Equação 8 ser um produto vetorial, a força é perpendicular tanto ao fluxo de corrente quanto ao campo magnético. Porém, caso haja um fluxo de corrente de um material influenciado por um campo magnético perpendicular, o ângulo do fluxo da corrente é alterado pelo campo. Esse ângulo é chamado de Ângulo Hall e é intrínseco ao material, sendo determinado pela mobilidade dos elétrons que determinam o coeficiente Hall. Consequentemente, as linhas equipotenciais ao longo do comprimento do material são inclinadas, dando origem a uma tensão conhecida como Tensão de Hall. Assim, tem-se uma tensão proporcional ao campo magnético aplicado (HASANUSTA; SERTELLER; BIRBIR, 2016).

Equacionando a teoria do funcionamento do sensor Hall, tem-se a seguinte equação para a determinação da tensão Hall (V_{Hall}):

$$V_{Hall} = \frac{RH}{d} \times i \times B \quad (9)$$

onde:

RH = Constante de Hall do Material [m^3/C];

d = Espessura do Material [m];

i = Módulo da Corrente Conduzida [A]; e

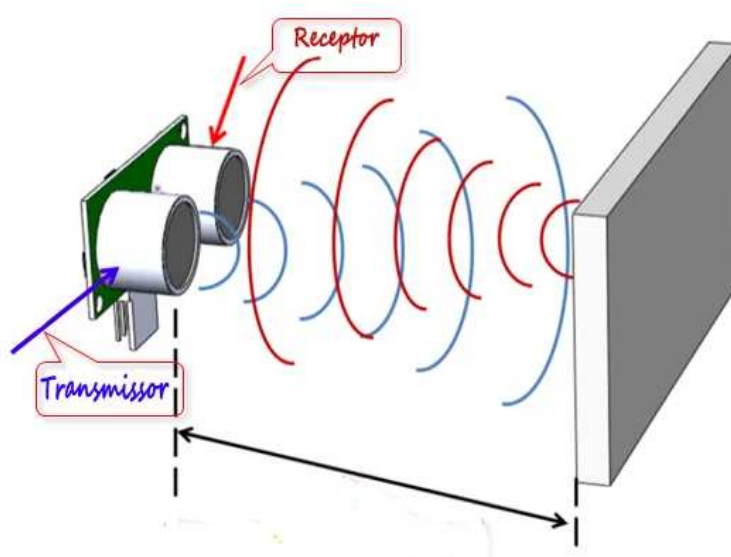
B = Módulo do Campo Magnético Aplicado [T ou $N/A \cdot m$].

Utilizando desses conceitos, é possível calibrar uma fita de cobre comum ao medir a tensão de Hall para corrente e campo magnético conhecidos. Dessa forma, a fita pode ser posteriormente utilizada para a medição de um campo magnético desconhecido ao avaliar a tensão de Hall para uma corrente conhecida (TIPLER e MOSCA, 2008).

2.3.6 Sensor ultrassônico

As oscilações que compõem uma onda senoidal possuem valores específicos para a amplitude e a frequência. O som, resumidamente, é uma onda longitudinal que percorre um meio físico. O termo “ultrassom” refere-se a oscilações em que a frequência é superior ao intervalo detectável pelo ouvido humano, sendo, portanto, maior que 20 kHz. Na propagação de uma onda ao encontrar um obstáculo que separa dois meios distintos, essa porção da onda experimentará fenômenos como reflexão, refração, difração, interferência e ressonância (PASSOS, 2017).

Figura 13 – Funcionamento do sensor ultrassônico.



Fonte: Adaptado de Eletronicaparatodos (2017).

O sensor ultrassônico opera por meio da reflexão da onda, também conhecida como reflexão sonora. Esse fenômeno, segundo Passos (2017), ocorre quando a onda se encontra com superfícies e, logo após, essa onda retorna fracionada, como é ilustrado na Figura 13.

Esses transdutores são empregados para emitir e captar pulsos ultrassônicos em uma frequência específica. Os sensores ultrassônicos são compostos por dispositivos eletrônicos conhecidos como transdutores ultrassônicos. Os mesmos não requerem informações específicas sobre as propriedades das superfícies dos objetos, podendo detectar objetos, como metal, madeira, concreto, plásticos, produtos à base de borracha e objetos transparentes. Sendo comumente empregados na medição de distâncias e detecção de obstáculos, tanto em estados físicos líquidos quanto sólidos. O processo de medição se inicia quando o sensor emite um sinal de pulso sonoro na direção do objeto. Em resposta a esse estímulo sonoro, o sensor recebe um sinal que corresponde à reflexão dessa onda na superfície do objeto (THOMAZINI e DE ALBUQUERQUE, 2015).

O sensor ultrassônico pode ser utilizado para algumas aplicações específicas. Por exemplo, Cruz et al. (2016) utilizaram um controlador de malha fechada, como aplicação prática desse sensor. O sistema utilizava um sensor ultrassônico para fazer a medição do nível do reservatório. No projeto, o sinal de saída é comparado com um sinal de referência (*setpoint*) e o desvio (erro). Estes sinais são utilizados para determinar o sinal de controle que deve ser aplicado. Assim, o sinal de controle é determinado, corrigindo o erro entre a saída e o sinal de referência, ativando a bomba para o sistema ficar no nível desejado.

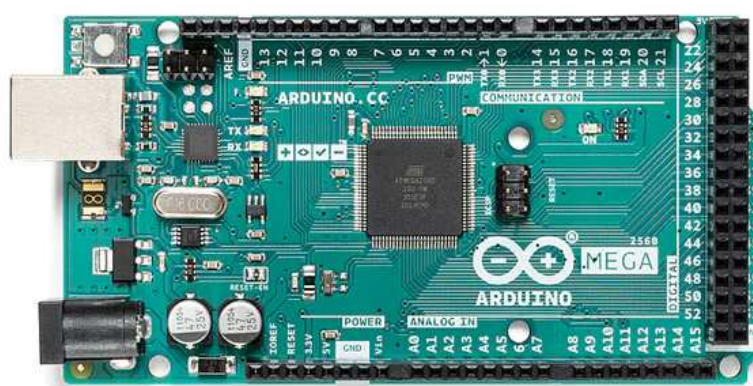
2.4 ARDUINO

Como citado na introdução deste documento, um sistema embarcado refere-se a um sistema de computação dedicado e incorporado em um dispositivo específico para executar funções designadas. Por exemplo, a leitura e controle dos sensores. Esses sistemas diferem dos computadores de propósito geral, pois os sistemas embarcados são projetados de forma otimizada para a realização de tarefas específicas, sendo diretamente integrados no *hardware* do dispositivo ao qual estão atribuídos. A plataforma de prototipagem eletrônica Arduino, criada na Itália em 2005, se encaixa nessa categoria, fazendo uso de microcontroladores para realizar tarefas particulares.

A plataforma Arduino é direcionada para as áreas de automação e robótica, sendo uma *open-source* embasada tanto em *hardware* quanto *software*. A plataforma é licenciada pela

Creative Commons, e é permitido o uso em contextos pessoais, comerciais e para criação de trabalhos derivados, desde que seja atribuído crédito ao Arduino e que os projetos derivados sejam disponibilizados sob a mesma licença. Essa plataforma utiliza um microcontrolador AT-MEGA, um chip programável encarregado de receber e processar informações de forma controlada por meio de *software*. A linguagem de programação do Arduino é baseada em funções da linguagem C/C++, com modificações sutis (SILVA et al., 2014).

Figura 14 – Modelo Arduino Mega 2560 Rev3.



Fonte: Arduino (2022).

Existe uma variedade de modelos da família Arduino. Dentre os modelos estão: a família Nano (Arduino Nano 33 IoT, Arduino Nano RP2040 Connect, Arduino Nano ESP32, Arduino Nano 33 BLE Sense, Arduino Nano 33 BLE, Arduino Nano Every, Arduino Nano e Arduino Nano Motor Carrier), a família MKR (Arduino MKR 1000 WiFi, Arduino MKR WiFi 1010, Arduino MKR FOX 1200, Arduino MKR WAN 1300, Arduino MKR 1310, Arduino MKR GSM 1400, Arduino MKR NB 1500, Arduino MKR Vidor 4000 e Arduino MKR Zero), a família Classic (Arduino UNO R4 Minima, Arduino UNO R4 WiFi, Arduino UNO R3, Arduino Leonardo, Arduino UNO Mini Limited Edition, Arduino Micro, Arduino Zero e Arduino UNO WiFi Rev2) e a família Mega (Arduino Mega 2560 Rev3, ilustrado na Figura 14, Arduino Due, Arduino GIGA R1 WiFi e Arduino GIGA Display Shield). Cada um desses modelos possuem suas próprias características e são projetados para atender a diferentes necessidades e aplicações (ARDUINO, 2022).

2.5 BAJA

O Programa Baja SAE teve início sob direção do Dr. John F. Stevens em 1976 na Universidade da Carolina do Sul, Estados Unidos. Porém, a SAE do Brasil veio iniciar suas atividades somente em 1991, lançando, o Programa Baja SAE BRASIL no ano de 1994. A primeira competição nacional foi realizado na pista Guido Caloi, bairro do Ibirapuera, cidade de São Paulo, em 1995. A instituição também apoia a realização de eventos regionais, em vários estados do país, desde 1997, por meio de suas Seções Regionais (SAE BRASIL, 2023b).

O Programa é um desafio estudantil que tem como objetivo promover aos participantes uma experiência de aplicar na prática seus conhecimentos acadêmicos, representado na Figura 15. A participação dos estudantes se dá na formação de equipes que representarão a Instituição de Ensino Superior à qual estão vinculados. Anualmente, estas equipes são desafiadas a participarem e promover uma avaliação dos projetos de forma comparativa. No Brasil a competição nacional recebe o nome de Competição Baja SAE BRASIL. As competições regionais são nomeadas como Etapa Sul, Sudeste e Nordeste (SAE BRASIL, 2023b). Os dois eventos ocorrem anualmente em períodos diferentes entre si, sendo regidas por um conjunto de regras.

Figura 15 – 28ª COMPETIÇÃO BAJA SAE BRASIL – ETAPA NACIONAL.



Fonte: Adaptado de SAE Brasil (2023a).

2.5.1 Regulamento SAE BRASIL

O Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE BRASIL (RATBSB) constitui-se como o conjunto normativo que delimita o escopo do Programa Baja SAE BRASIL e suas ati-

vidades correlatas. Sua elaboração é atribuída à Gerência de Associação, Programas Estudantis e Seções Regionais da SAE BRASIL, bem como ao Comitê BAJA SAE BRASIL. Emendas futuras ao RATBSB devem receber aprovação conjunta da Gerência de Associação, Programas Estudantis da SAE BRASIL e do Comitê BAJA SAE BRASIL (SAE BRASIL, 2023b).

Adicionalmente, o regulamento estipula que a correta interpretação e compreensão do RATBSB são de inteira responsabilidade das equipes competidoras. Em casos de incerteza quanto ao cumprimento das normas em determinadas ações, é facultado às equipes contestar as soluções adotadas por meio de procedimentos de prova.

3 METODOLOGIA

3.1 ESCOLHA DOS POSSÍVEIS SENSORES À SEREM UTILIZADOS NO BAJA

Nesta etapa, realizou-se a escolha dos sensores a serem utilizados no protótipo final. Os sensores devem ter a tensão de alimentação igual ou inferior à tensão da bateria (12 V) e serem capazes de identificar as variações de níveis do tanque de combustível nas condições de prova. Entre os sensores analisados, os que mais se adequaram a essas características foram os sensores de pressão e os sensores de efeito Hall, especificados na Tabela 3 e Tabela 4, respectivamente.

Tabela 3 – Especificações do Sensor de Pressão.

ESPECIFICAÇÕES	
Material	Corpo em aço inoxidável 316L.
Sinal de entrada	0-5 psi (vide pressão manométrica em outras unidades neste anúncio)
Sinal de saída	0.5 a 4.5Vcc (É linear com o sinal de entrada, 0 psi =0.5V, 5 psi =4.5V
Precisão	+/-0.5% FS (FS= Fundo de escala = 5PSI)
Conector	Tipo <i>plug-in</i> incluído;
Alimentação	+5Vcc
Temperatura de trabalho	-40 a +120°C
Compensação de Temperatura	-20 a +80°C
Classe de Proteção(apenas o circuito interno)	IP67; (Proteção contra poeira e imersão em água)
Substância pressurizante	Gás ou líquido compatível com o corpo do sensor (aço inox 316L)

Fonte: Adaptado de Mercado Livre (2024).

Tabela 4 – Especificações do Sensor de Efeito Hall A3144.

Características elétricas com VCC = 8 V ao longo da faixa de temperatura de operação.						
Características	Símbolo	Condições de teste	Limites			
			Min.	Typ.	Max.	Unidade
Tensão de Alimentação	V _{CC}	Operacional	4,5	-	24	V
Tensão de Saturação da Saída	V _{OUT(SAT)}	I _{OUT} = 20 mA, B > B _{OP}	-	175	400	mV
Corrente de Alimentação	I _{CC}	B < B _{RP} (Output OFF)	-	4,4	9,0	mA
Tempo de Subida da Saída	t _r	R _L = 820 Ω, C _L = 20 pF	-	0,04	2,0	μs
Tempo de Descida da Saída	t _f	R _L = 820 Ω, C _L = 20 pF	-	0,18	2,0	μs

Fonte: Adaptado de Allegro MicroSystems (2005).

As características que tornam o sensor de pressão viável são a faixa de medição de pressão adequada ao tanque e a tensão de alimentação ser inferior à tensão da bateria. Outras características são a adequação do sensor às temperaturas do veículo, em condições de prova, e a possibilidade de funcionamento em meio a poeira e água. Já o sensor de efeito Hall possui uma aplicação menos complexa e sua tensão de alimentação está dentro da permitida pelo regulamento. Sua aplicação torna-se viável, também, pela ausência da necessidade de adaptações abruptas do veículo.

3.2 TESTES PARA CARATERIZAÇÃO DOS SENSORES

Foram feitos diferentes testes utilizando os dois sensores escolhidos. Os sensores foram colocados em condições de testes diversas para uma melhor análise comportamental dos equipamentos e a realização de suas caracterizações. Essas análises servem para conferir se os

sensores são capazes de adequar-se as condições na qual o veículo será submetido nas competições.

3.2.1 Sensor de pressão

O primeiro sensor a ser testado foi o de pressão manométrica na faixa de medição de 0 à 5 Psi, apresentado na Figura 16. Para configurar o ambiente de teste, empregou-se uma mangueira de nível transparente com 4,5 metros de comprimento e um diâmetro interno de 6,5 milímetros, onde seriam variados os valores de coluna d'água. Uma haste com mais de 4 metros de altura foi utilizada para fixar essa mangueira. Além disso, o sensor foi instalado e conectado a um notebook para alimentação e monitoramento das leituras do mesmo.

Figura 16 – Sensor Industrial de Pressão (0 à 5 psi)



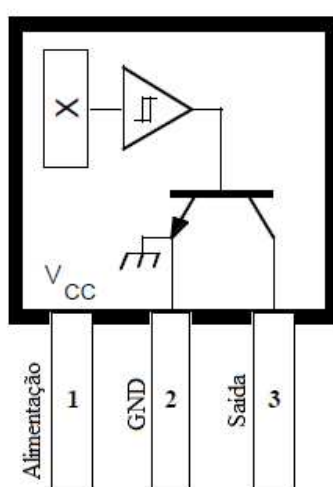
Fonte: Autoria Própria.

Utilizando a Equação de Bernoulli e um código na plataforma Arduino IDE, para obter-se a relação altura *versus* pressão, foi realizado testes com uma coluna d'água sem tampa de 4,1 m de altura, pois é altura máxima suportada pelo sensor devido a relação tensão *versus* coluna d'água, descrita nas especificações do sensor. Com a calibração do sensor feita, foi realizado um segundo teste nas mesmas condições anteriores, porém com uma coluna d'água menor, cerca de 65 cm de altura, para conferir o comportamento do sensor em alturas menores.

3.2.2 Sensor de efeito Hall

O segundo grupo de testes foi realizado utilizando o sensor de efeito Hall A3144, disposto na Figura 17. Esse funciona como um sensor digital, podendo enviar sinais de níveis lógicos altos e baixos para o microcontrolador. Foram criadas diversas situações onde se alteravam tensões de alimentação, distâncias, campo magnético e obstáculos.

Figura 17 – Sensor de efeito Hall A3144



Fonte: Adaptado de Allegro MicroSystems (2005).

Devido ao arduino possuir uma alimentação de 5 V e a tensão da bateria utilizada no veículo da equipe Caraubaja ser de 12 V, na maioria dos testes, as tensões de alimentação foram 5, 10 e 12 V. Além disso, foram realizadas medições com tensões de 16 e 18 V para avaliar possíveis variações nas leituras, já que esses valores estão dentro da faixa de operação do sensor.

Para gerar o campo magnético, foram empregados ímãs de neodímio com 2720 Gauss e uma força magnética (força de tração vertical) de 2,6 kg. As distâncias medidas estavam relacionadas às capacidades de detecção do sensor, ou seja, as distâncias máximas para detectar o campo magnético. A bancada de teste consistia na fixação do tanque com os ímãs dispostos internamente no reservatório, permitindo apenas a variação das distâncias do sensor, as quais eram verificadas utilizando um paquímetro. Em alguns testes, o tanque era removido do experimento para avaliar sua influência nos resultados.

Os experimentos com o sensor de efeito Hall foram divididos em cinco testes. O primeiro foi realizado utilizando três ímãs em série com as faces paralelamente em direção ao sensor. A função desse experimento consiste em descobrir os efeitos de diferentes tensões de alimentação na leitura do sensor. Vale ressaltar que a distância de mudança de estado está relacionada ao comprimento máximo em que o sensor sai do sinal lógico baixo para o alto (0 à 1 ou Low à High). Durante o processo, não tinha objetos entre o ímã e o sensor. O segundo experimento consiste em observar a influência da parede do tanque nas leituras do sensor. Neste caso, a única diferença em relação ao teste anterior (1º teste) é a presença da parede do tanque entre o ímã e o sensor.

O terceiro ensaio tem o objetivo de observar o comportamento do sensor no nível lógico baixo variando a distância e a alimentação da fonte com a presença do tanque. O quarto teste do experimento foi realizado com o objetivo de identificar a influência do campo magnético nas leituras sem a presença do tanque, através da quantidade de ímãs do modelo utilizado. E o último procedimento tem como objetivo identificar a influência da angulação do ímã em relação ao sensor, acompanhado da variação da quantidade desses ímãs. Neste caso, o tanque estava ausente no experimento.

3.2.2.1 Projeto do sistema de medição de nível

A implementação do projeto envolveu a instalação de cinco sensores de efeito Hall em várias alturas ao longo do reservatório. Os sensores foram posicionados com intervalos de 47 milímetros entre si e de 5 milímetros em relação às extremidades da placa de circuito confeccionada. As medidas são realizadas a partir do centro do sensor. Esses componentes serão conectados em paralelo entre alimentação (VCC) e a referência (GND). As saídas dos sinais serão atribuídas a entradas digitais diferentes no Arduino. Para uma disposição mais organizada ao tanque do baja, uma placa de circuito foi desenvolvida. Também foi implementado um filtro de medição ao projeto através de um acelerômetro que funcionará como um medidor de ângulos, permitindo apenas leituras dos níveis de combustível em um certo intervalo determinado.

A placa será projetada virtualmente utilizando o *software* KiCad. Nesse *software*, será elaborado o esquemático do projeto e o desenho da PCB. Com essas etapas concluídas, será possível obter um modelo em 3D da placa para uma melhor visualização.

Após a modelagem no software, o próximo passo será transferir o desenho da PCB para uma placa de fenolite. Esse processo consiste em fixar o papel fotográfico com o *layout* impresso na placa e aquecer com um ferro de passar até que o desenho fixe-se na superfície da fenolite. Após a fixação, os resíduos de papel são removidos e a placa é mergulhada em ácido perclorato de ferro até que apenas o material condutor permaneça nas trilhas e ilhas da PCB.

Em seguida, os sensores, resistores e conectores externos são adicionados e soldados à placa. Também foi incluído um acelerômetro no projeto para servir como filtro de medições de nível, permitindo que as medições sejam realizadas apenas dentro de um intervalo específico de ângulos. Assim são evitados valores obtidos quando o carro está com inclinações indesejadas, o que pode levar a medições errôneas por parte do sensor. Para que tudo funcionasse como esperado, foi criado um código no Arduino IDE com as condições comportamentais do projeto. Finalmente, o sistema completo será acoplado a um tanque para realizar todos os testes necessários para validar o projeto.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SENSORES

A avaliação de sensores é um passo essencial para entender e avaliar seu desempenho em várias situações. Os sensores de pressão e efeito Hall foram submetidos a diferentes condições de funcionamento a fim de avaliar suas respostas, no tocante a sensibilidade e precisão.

4.1.1 Sensor de Pressão

Para a realização deste teste foi criado um algoritmo na plataforma Arduino IDE para a aferição dos valores de tensão, descrito no APÊNDICE A deste trabalho. O código foi aplicado a um arduino mega 2560.

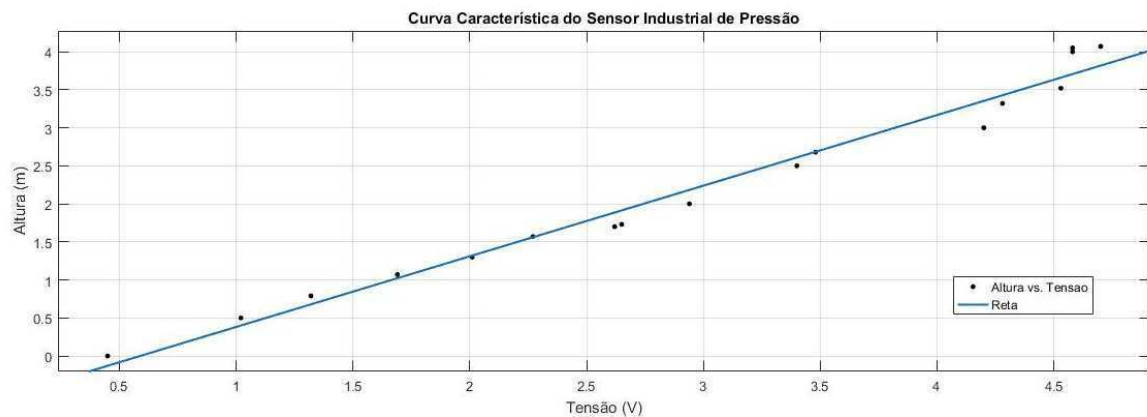
Durante os testes, que têm a função de caracterizar o sensor, foram obtidos variados valores de altura numa coluna d'água de 4,1 m para a calibração do sensor e a obtenção de dados, dispostos na Tabela 5. Os valores obtidos foram inseridos no *software* MATLAB para a análise. Majoritariamente, os valores apresentaram resultados condizentes com as especificações do fabricante/vendedor do sensor, no qual afirmava que a relação tensão *versus* pressão era graficamente descrita por uma função linear. Porém, o comportamento gráfico do sensor é uma rampa deslocada com a relação tensão *versus* altura. Essa última é relacionada proporcionalmente a pressão, de acordo com a Equação 7. Esse comportamento do sensor mostra que o mesmo possui uma relação linear entre tensão e altura (ou pressão), demonstrando uma possível aplicabilidade para a realização de medição de nível do tanque, desde que seja feita sua calibração para o funcionamento adequado do sistema.

Tabela 5 – Valores de Tensão e Altura (4,1 m) – Transdutor de Pressão.

Altura (m)	Tensão (V)
0,00	0,45
0,50	1,02
0,79	1,32
1,07	1,69
1,30	2,01
1,57	2,27
1,70	2,62
1,73	2,65
2,00	2,94
2,50	3,40
2,68	3,48
3,00	4,20
3,32	4,28
3,52	4,53
4,00	4,58
4,05	4,58
4,07	4,70

Fonte: Autoria Própria.

Figura 18 – Curva Característica do Sensor Industrial de Pressão (4,1 m).



Fonte: Autoria Própria.

Analisando a Figura 18, é possível visualizar a relação altura pela tensão do sensor, assim como a obtenção da equação da reta do sistema, apresentada na Equação 10. A análise, através do *software* Matlab, apresenta 97,84% de linearidade. A porcentagem de erro de linearidade (pontos fora da reta) pode ser devida a influência do erro de paralaxe durante as

medições e/ou condições dos condutores utilizados no processo. Também é notória a saturação da tensão do sensor com alturas acima de 4,0 metros, altura correspondente a, aproximadamente, 5 psi, segundo a equação de Bernoulli, que delimita a faixa de trabalho do sensor.

$$\text{Altura} = 0.9286 \cdot \text{Tensão} - 0.5469 \quad (10)$$

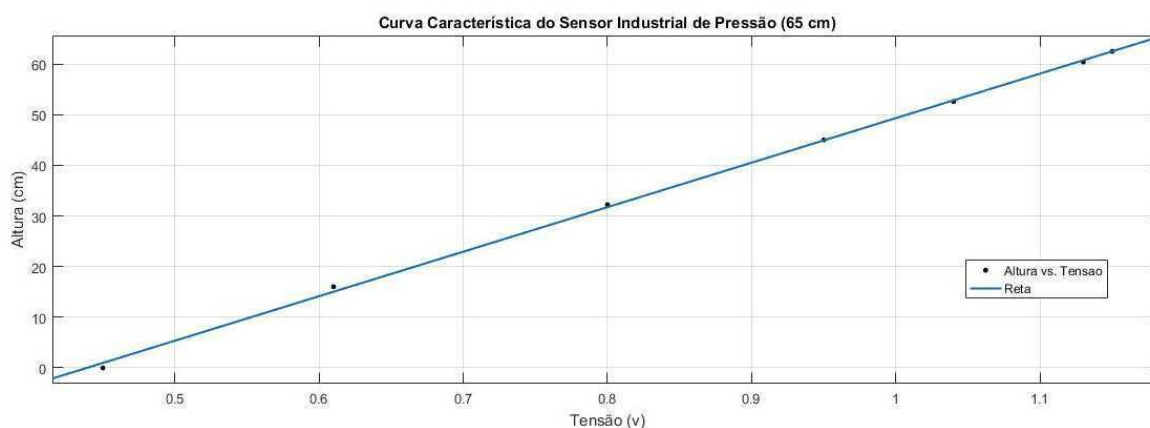
O mesmo experimento foi repetido, porém com uma coluna d'água de apenas 65 cm. De forma análoga, foi possível obter os dados desejados, com apenas a diferença de altura em relação ao teste anterior. Esses valores e o gráfico estão dispostos na Tabela 6 e Figura 19, respectivamente.

Tabela 6 – Valores de Tensão e Altura (65 cm) – Transdutor de Pressão.

Altura (cm)	Tensão (V)
0,0	0,45
16,0	0,61
32,2	0,80
45,0	0,96
52,6	1,04
60,4	1,13
62,5	1,16

Fonte: Autoria Própria.

Figura 19 – Curva Característica do Sensor Industrial de Pressão (65 cm).



Fonte: Autoria Própria.

Verificando a Figura 19, da mesma forma do processo de análise anterior, pode-se obter a equação da reta do sistema pela relação altura *versus* tensão do sensor, apresentada na Equação 11. Neste caso, a análise do *software* apresenta 99,93% de linearidade. Houve um aumento na linearidade e uma redução na porcentagem de erro em comparação com a Figura 18.

$$\text{Altura} = 87.9 \cdot \text{Tensão} - 38.59 \quad (11)$$

4.1.2 Sensor de Efeito Hall

Para investigar e caracterizar o comportamento do sistema com os sensores de efeito Hall, foram conduzidos cinco experimentos com parâmetros diferentes. Os resultados correspondentes obtidos podem ser encontrados nas tabelas associadas a cada experimento (Tabelas 7, 8, 9, 10, e 11). O primeiro teste tem a finalidade de identificar o comportamento do sistema com diferentes tensões de alimentação.

Tabela 7 – 1º Teste do Sensor Hall.

3 ímãs - Paralelo – S/ Tanque		
Tensão de Alimentação (V)	Corrente de Sinal (mA)	Mudança de Estado (mm)
5,0	5,08	23,50
10,0	5,59	23,50
12,0	5,81	23,50
16,0	6,23	23,50
18,0	6,40	23,50

Fonte: Autoria Própria.

Com base nos dados da Tabela 7, é possível perceber que a mudança nos valores de tensão na fonte não influenciam na distância de leitura do sensor, permanecendo 23,50 mm em todas as tensões testadas. A mudança de tensão apenas afeta a corrente de sinal do sensor, variando 1,32 mA entre as tensões de 5,0 V e de 18,0 V, cerca de 25,98% de acréscimo de corrente da primeira tensão em relação a segunda. O segundo teste tem as mesmas

características e condições do primeiro, porém existe a finalidade de identificar como o tanque de combustível interfere nesse sistema.

Tabela 8 – 2º Teste do Sensor Hall.

3 ímãs - Paralelo - C/ Tanque		
Tensão de Alimentação (V)	Corrente de Sinal (mA)	Mudança de Estado (mm)
5,0	4,25	24,00
10,0	4,30	24,00
12,0	4,30	24,00
16,0	4,30	24,00
18,0	4,30	24,00

Fonte: Autoria Própria.

A Tabela 8 também apresenta valores de distâncias constantes (24,00 mm), mesmo com a alteração dos valores de tensão de alimentação. Porém, percebe-se que os valores de corrente de sinal saturam quando a tensão de alimentação é igual à 10,0 V.

Comparando os resultados apresentados nas Tabelas 7 e 8, pode-se perceber que existem valores diferentes de corrente de sinal e da distância máxima para a mudança de estado lógico do sensor devido à presença do tanque. É perceptível que o material metálico do tanque influencia na distância de medição do sensor, fazendo com que esse comprimento aumente cerca de 0,5 mm. Ou seja, a distância de detecção do sensor ao ímã aumentou devido à presença do tanque metálico. Isso pode ser consequência da mudança das linhas de campo magnético dos ímãs devido ao material metálico do tanque.

Os dados obtidos no terceiro teste tem como função demonstrar o comportamento do sensor em nível lógico baixo. Nesta situação altera-se a tensão de alimentação do transdutor e as distâncias dos ímãs em relação ao sensor.

Como já foi constatado nas Tabelas 7 e 8, o aumento da tensão de alimentação aumenta a tensão de sinal. Porém, percebe-se que o aumento da distância, também aumenta essa última tensão, como consta nos dados da Tabela 9. O incremento dos valores da tensão de sinal entre a menor distância (5,00 mm) em comparação com a maior (20,00 mm) foi de 12,25%, 11,02% e 11,64% para as respectivas tensões de alimentação de 5, 10 e 12 V.

Tabela 9 – 3º Teste do Sensor Hall.

DADOS EM SINAL LÓGICO BAIXO (C/ Tanque) – 3 ímãs		
Tensão de Alimentação (V)	Distância (mm)	Tensão de Sinal (mV)
5,00	5,00	21,78
	10,00	22,19
	15,00	22,60
	20,00	24,45
10,00	5,00	38,09
	10,00	38,52
	15,00	39,32
	20,00	42,29
12,00	5,00	43,98
	10,00	44,88
	15,00	45,90
	20,00	49,10

Fonte: Autoria Própria.

O quarto teste busca verificar a influência do campo magnético dos ímãs em relação ao sensor com uma tensão de alimentação fixada em 5 V. A variação desse campo é feita pela quantidade de ímãs utilizados no experimento.

Tabela 10 – 4º Teste do Sensor Hall.

Influência do Campo – Paralelo - S/ Tanque		
Quantidade de ímãs	Mudança de Estado (mm)	Tensão da Fonte
1	17,0	5 V
2	22,5	
3	23,5	

Fonte: Autoria Própria.

Na Tabela 10, é evidenciado o acréscimo na distância de medição à medida que a quantidade de ímãs aumenta, registrando um incremento de aproximadamente 32,35% ao passar de um para dois ímãs e de 38,25% ao ir de um para três ímãs. Isso significa que, quanto mais intenso o campo magnético dos ímãs, maior será a distância de captação de sinal do sensor porque interfere no alcance das linhas de campo, possibilitando a sua detecção em pontos mais distantes. Ou seja, a distância na qual o mesmo começaria a ser influenciado por um campo magnético, está ligado a intensidade do campo magnético. Quanto maior o campo

magnético, maior a distância, em milímetros, da leitura do sensor, matematicamente demonstrado na Equação 9.

Tabela 11 – 5º Teste do Sensor Hall.

Posição do Campo (À 5V) - S/ Tanque		
Quantidade de ímãs	Posição do Campo	Mudança de Estado (mm)
1	Paralelo	17,00
2	Paralelo	22,50
1	Ortogonal	8,50
2	Ortogonal	12,00

Fonte: Autoria Própria.

A Tabela 11 confirma que existe a influência da quantidade de ímãs do experimento em relação à distância de leitura, interferindo na intensidade de campo H. Mas, da mesma forma, demonstra que a angulação desses ímãs em relação ao sensor também interfere na captação do sinal pelo sensor. Utilizando apenas um ímã, a distância de leitura foi de 8,50 mm quando a face do ímã estava ortogonal à face do sensor, enquanto essa mesma distância foi 17,00 mm quando o ímã estava face a face com o sensor (paralelo). Quando aumenta-se a quantidade de ímãs de um para dois, o mesmo efeito é visualizado. Apresentando uma distância de leitura de 12,00 mm e de 22,50 mm com a disposição ortogonal e paralela, respectivamente. Demonstrando que o sensor possui distâncias de medição maiores caso seu ângulo com o material magnético seja nulo, ou seja, caso o sensor e ímã estejam face a face em um mesmo plano.

4.2 DETERMINAÇÃO DO TIPO DO SENSOR

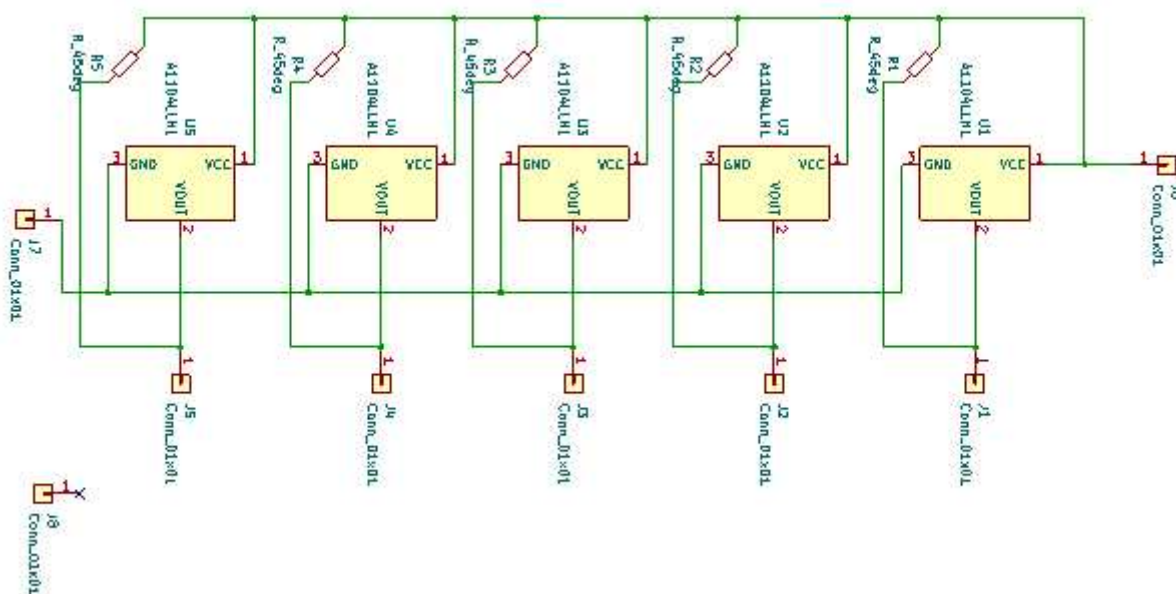
As normas do regulamento, presentes no Anexo A, devem ser consideradas para a escolha do sensor. Esses pontos essenciais possuem maior destaque dentre os demais para esse projeto. No próprio regulamento não há proibição de utilização de sensores de pressão e efeito Hall no sistema de alimentação de combustível do veículo, segundo a análise do escritor deste trabalho. Porém, adicionar um sensor de pressão a linha de combustível é proibido, segundo Medeiros e Guedes (2019). Os próprios autores afirmam que o regulamento e juízes não permitem mudanças na linha de combustível.

Portanto, para evitar uma possível quebra de regras, o sensor de efeito Hall foi escolhido para a aplicação do projeto final. Pois não foi visto em nenhuma referência algum tipo de proibição ou contraindicação da aplicação desse equipamento.

4.3 PROTÓTIPO DO SISTEMA UTILIZADO

Para a criação do modelo virtual do projeto foi utilizado o KiCad. Nesse *software*, foi feito o esquemático do protótipo, disposto na Figura 20, para ser possível a criação e simulação 3D da PCB.

Figura 20 – Esquemático do Protótipo.

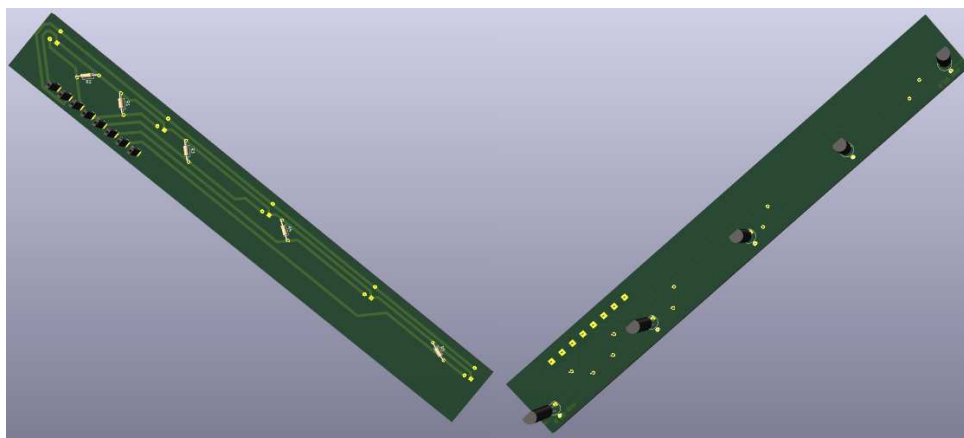


Fonte: Autoria Própria.

Todos os elementos foram obtidos através das bibliotecas disponíveis pelo próprio *software*. Com o esquemático pronto, foram adicionados *footprints* para os elementos contidos na placa. Feito isso, pôde-se iniciar o *design* da PCB.

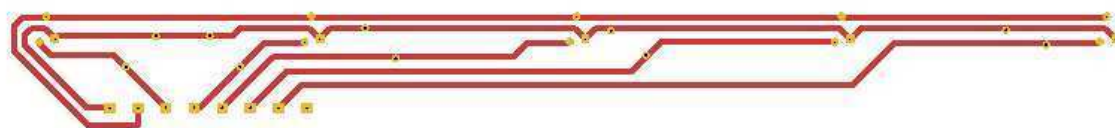
Durante o processo de *design*, realizou-se o dimensionamento da placa, bem como a efetuação das ligações dos condutores com os elementos. E, em seguida, criou-se o modelo 3D do protótipo, ilustrado na Figura 21, e gerou-se o modelo que será impresso na fenolite, Figura 22.

Figura 21 – Modelo 3D da Placa (Todas as Faces).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 22 – Modelo Impresso da PCB.



Fonte: Autoria Própria.

A confecção do protótipo deu-se pela utilização de uma placa fenolite. Foi impresso o modelo PCB, como na Figura 22, e, em seguida, foi realizado o processo de corrosão para a criação das trilhas da placa, que ocorreu por imersão da placa fenolite no ácido perclorato de ferro (FeCl_3) por alguns minutos, cerca de 12 minutos. Completada a corrosão, pode-se efetuar a perfuração da placa para a adição dos componentes eletrônicos e os conectores.

Com o intuito de aprimorar a filtragem de dados, para não realizar medições em momentos de agitação intensa do carro, incorporou-se ao sistema um acelerômetro do modelo MMA7361, demonstrado na Figura 23.

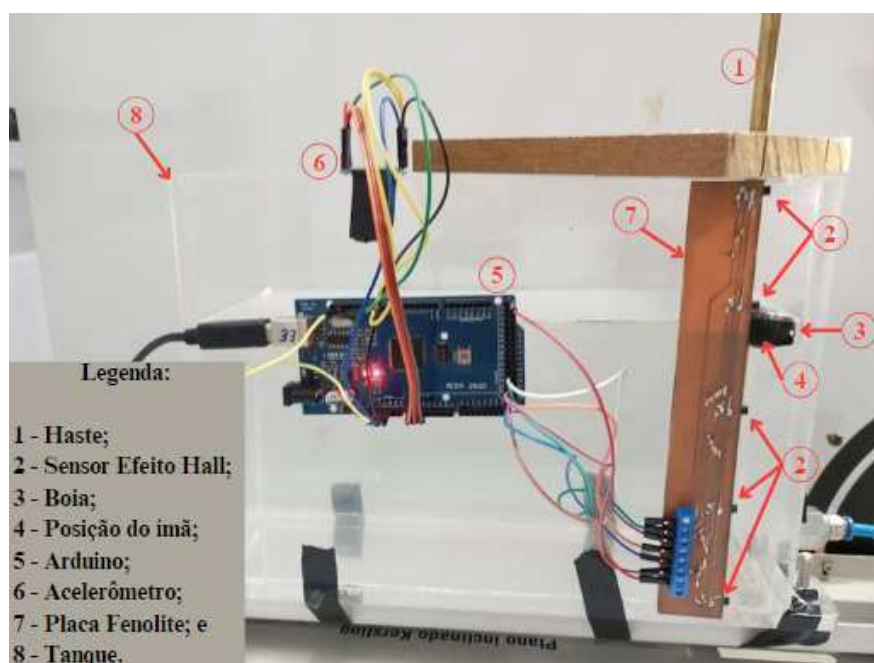
Figura 23 – Acelerômetro mma7361.



Fonte: Autoria Própria.

Dessa forma, as leituras discretas dos níveis do tanque são efetuadas apenas quando o dispositivo apresenta uma inclinação dentro do intervalo de -12° à $+12^\circ$, em relação à referência estabelecida. Essa medida visa assegurar que a leitura do nível de combustível ocorra em momentos de menor agitação do veículo, a fim de evitar dados incongruentes obtidos pelo sensor.

Figura 24 – Elementos da Bancada de Testes.



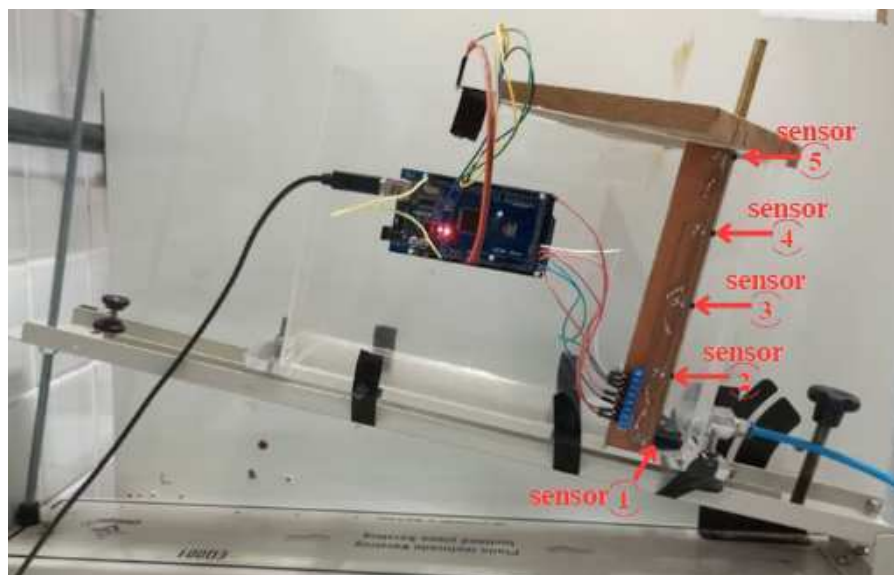
Fonte: Autoria Própria.

Por fim, a bancada de testes foi montada, como ilustrada na Figura 24, e submetida a testes com apenas um ímã nas faces da boia, para verificar se seu funcionamento estava corre-

to e condizente durante os testes. Para essa finalidade, foi desenvolvido um algoritmo na plataforma Arduino IDE. Esse código, disponível no Apêndice B, tem a responsabilidade de gerenciar a leitura e o controle dos sinais provenientes do sensor de efeito Hall.

Durante os testes finais, foi simulado uma situação em que a boia com os ímãs saía do sensor 2 para o sensor 1, como demonstrado na Figura 25. Durante essa transição, o ângulo do sistema estava maior que 12° . Portanto, o sistema não faria mudança de estado da posição da boia, consequentemente, o valor do nível de combustível não mudaria, como mostra a Figura 26. Mas, no instante em que o sistema passou a ter a angulação dentro do intervalo estabelecido, houve a mudança de estado da posição da boia e, portanto, o valor do nível de combustível foi alterado, demonstrado na Figura 27. Todos os valores de ângulos e do nível de combustível foram monitorados através do Monitor Serial da plataforma Arduino IDE.

Figura 25 – Bancada de Teste em Simulação.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 26 – Sistema sem Mudança de Estado (Ângulo Maior que 12°).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 27 – Sistema com Mudança de Estado (Ângulo Dentro do Intervalo).



Fonte: Autoria Própria.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta a criação de um sistema de medição de níveis de combustível em um tanque de gasolina em um veículo *off-road* baja dentro das regras da competição da Baja SAE Brasil. Neste processo houve o estudo do regulamento da competição e do funcionamento dos sensores que poderiam ser aplicados. Os sensores passaram por testes e, através dos resultados, foi feita a escolha do sensor a ser aplicado ao protótipo final. Assim foi possível realizar as projeções do modelo esquemático e do modelo 3D do projeto no *software* KiCad, possibilitando a criação do modelo real do protótipo.

A análise entre o sensor de efeito Hall e o sensor de pressão para a medição do nível de combustível em um veículo baja revelou que ambos são capazes de desempenhar essa função. No entanto, a escolha da implementação do sensor de efeito Hall para o protótipo foi determinada pela necessidade de aderir às regulamentações da competição, evitando irregularidades com o regulamento. Foi crucial considerar que o tanque não poderia ser perfurado, o que limitou as opções de sensores disponíveis para medição. Este critério de seleção foi fundamental para garantir a integridade e a conformidade do veículo dentro do ambiente competitivo.

Além disso, foram realizadas várias análises comportamentais com o sensor de efeito Hall para garantir sua precisão e confiabilidade em diferentes condições operacionais. O sensor de efeito Hall foi incorporado com sucesso em um protótipo de sistema de medição elétrica do tanque de combustível. Durante o processo de desenvolvimento, foram criados o modelo de placa de circuito impresso e o próprio sistema completo. O qual foi implementado e testado.

Os resultados obtidos demonstraram a eficiência e a confiabilidade do sistema em fornecer medições precisas e consistentes do nível de combustível. Torna-se relevante este projeto nas competições de baja, uma vez que o monitoramento preciso do nível de combustível não apenas melhora o desempenho do veículo, mas também contribui para a eficácia durante as competições.

Esses resultados positivos fornecem uma base sólida para o desenvolvimento futuro de um projeto mais sofisticado e preciso. Com a validação bem-sucedida do protótipo, abre-se a possibilidade de explorar melhorias adicionais e refinamentos no sistema, visando alcançar um desempenho ainda mais aprimorado. Uma sugestão é aumentar a quantidade de sensores de efeito Hall para aumentar a quantidade de níveis medidos pelo sistema. Outra possibilidade

de aprimoramento é a realização das leituras desse sistema sem a necessidade de condutores, através de um sistema embarcado capaz desse feito, assim a equipe pode monitorar a quantidade de combustível no *box* da competição.

Além disso, a experiência adquirida durante o processo de desenvolvimento deste protótipo servirá como um guia valioso para projetos futuros, contribuindo para avanços contínuos na área de sistemas de medição de combustível para todos os veículos.

REFERÊNCIAS

ALFACOMP. **TP20 – Transmissor de pressão**. 2020. Disponível em: <<https://alfacomp.net/produto/tp20-transmissor-de-pressao/>>. Acesso em: 03 de Março de 2024

ALLEGRO MICROSYSTEMS. **A3141, A3142, A3143, and A3144: Sensitive Hall Effect Switches for High-Temperature Operation**. 2005.

ARDUINO. **Arduino Hardware**. 2022. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/hardware>>. Acesso em: 02 de Março de 2024.

BOBSIN, Davi Ebert. **Testes práticos de sistemas de visão para sistemas embarcados**. Universidade Federal do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre-RS. 2020.

BRITO, Fábio. **Sensores e Atuadores**. São Paulo: Érica 1ª ed., 2017.

CARNEIRO, Clemente José Gusmão; LIRA, Carlos Alberto Brayner de Oliveira; MENDES SOBRINHO, José Augusto; Antonino, Antônio Celso Dantas; MELLO, Fernando Lobo Vaz de. **Sensor Capacitivo para Medição do Nível de Água**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.32, n.6.1997

CARRO, Luigi; WAGNER, Flávio Rech. **Sistemas computacionais embarcados**. Jornadas de atualização em informática. Campinas: UNICAMP, 2003.

CITISYSTEMS. **Como Funciona o Transdutor de Pressão**. 2018. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/transdutor-de-pressao/>>. Acesso em: 03 de Março de 2024.

CRUZ, Emerson Soares. LOPES, Priscila Mariane Lofrano. SILVA, Guilherme Carvalho da. VAZ, Gabriel Caumo. **Controle de Nível em Malha Fechada**. Brazilian Technology Symposium. 2016.

CUNHA, Alessandro F. **O que são sistemas embarcados**. Saber Eletrônica, v. 43, n. 414, 2007.

GUIMARÃES, Alexandre de Almeida. **Eletrônica Embarcada Automotiva**. Edição 1. São Paulo. Editora Érica Ltda. 2007.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Campos Cruzados: O Efeito Hall. In: HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Tradução de Ronaldo Sérgio de Biasi. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. III, 2009. Cap. 28, p. 208-209.

HASANUSTA, K. SERTELLER, N. F. O. BIRBIR, Y. **The optimal hall sensor's position for brushless direct current machine: Experimental study**. Revista Tecnica de ka Facultad de Ingenieria Universidad del Zulia, v 39, n1, p218-225, 2016.

MARTINELLI, Luiz Fernando. **Desenvolvimento de um Sistema d Medição de Nível de Combustível Não Invasivo para um Protótipo Tipo BAJA SAE**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2022.

MEDEIROS, Daniel de Lima dos Santos. GUEDES, Lucas Ribeiro. **Sistema de Instrumentação de Veículo Off Road - BAJA SAE**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Projeto de graduação. Rio de Janeiro. 2019

MERCADO LIVRE. **Sensor Transdutor De Pressão 0 A 5 Psi Saída 0,5 A 4,5 Vcc**. 2024. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1230904089-sensor-transdutor-de-preso-0-a-5-psi-saida-05-a-45-vcc-_JM#reco_item_pos=1&reco_backend=machinalis-seller-items-pdp&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=e218deb4-a09c-4f84-a006-4d9b7c607241>. Acesso em: 04 de Março de 2024

OMCH. **Sensor De Proximidade Indutivo**. 2021. Disponível em: <<https://www.omchsmeps.com/pt/inductive-proximity-sensor/>>. Acesso em: 04 de Março de 2024.

PATIL, K.; PATIL C. Y.; BARHATE, S. **Design and development of fuel level measurement technique for automotive application**. 2019. International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), 2019.

PYROTECT. **Baja SAE Fuel Tank**. 2024. Disponível em: <<https://pyroprotectstore.com/product/baja-sae>>. Acesso em: 04 de Março de 2024.

ROACH, S. D. **Designing and Building an Eddy Current Position Sensor**. Sensors, v. 15, n. 9, p. 1-16, 1998.

SAE BRASIL. **Baja Nacional**. 2023a. Disponível em: <<https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil/>>. Acesso em: 24 de Março de 2024.

SAE BRASIL. **Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE BRASIL**. RATBSB – Emenda 5. 2023b.

SANTOS, Fernando de Brito. **Uma contribuição para a avaliação das novas tecnologias e arquiteturas para o sistema elétrico automotivo**. 2005. Mestrado Profissionalizante – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SILVA, Frank Ferreira da. GALDINO, Luciano. FERNANDES, João Carlos Lopes. **Aplicação de Sensores Indutivos e Chaves Fim de Curso em Ferramentas de Estampagem Como Forma de Segurança e Precisão Dimensional**. Augusto Guzzo Revista Acadêmica, 2016, N°17, 189-201.

SILVA, João Lucas de S. CAVALCANTE, Michelle M. CAMILO, Romério da S. GALINDO, Adailton L. VIANA, Esdriane C. **Plataforma Arduino integrado ao PLX-DAQ: Análise e aprimoramento de sensores com ênfase no LM35**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA). 2014.

TAVARES, Eric de Oliveira. **Confiabilidade de Sistemas Elétricos Veiculares com Caracterização de Cargas via Software**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade do Vale do Paraíba.

THOMAZINI, Daniel; DE ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga. **Sensores Industriais Fundamentos e Aplicações**. Edição 4, Editora Erica, 2015.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Physics for scientists and Engineers with Modern Physics**. 6^a. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2008.

VILANOVA, Luciano Caldeira. **Mecânica dos Fluidos**. 3^o edição. Santa Maria, RS: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Curso em Automação Industrial, 2011.

YOUNG, Hugh D. FREEDMAN, Roger A. **Física II: Termodinâmica e Ondas**. 14^o edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda, 2016.

APÊNDICE A – Algoritmo Utilizado no Sensor de Pressão

```
float volts = 0.0;
const int sensorPin = A0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  volts = analogRead(sensorPin)*(5.0/1023.0);
  delay(100);

  Serial.print(volts);
  Serial.println(" V");
}
```

APÊNDICE B – Algoritmo Completo do Protótipo Final

```

const int unitsPerG = 163; // depends on your ADC and the range (1.5g vs 6g)

int axisPin[] = {A0, A1, A2};
int selfTestPin = 8;
int gSelectPin = 9;
int sleepPin = 10;
int startVal[3] = {0};

char result[8]; // for format of the output

const int numMedicoes_ang = 10; // Número de medições angulos
int medicoes[numMedicoes_ang]; // Vetor para armazenar as medições dos angulos

//-----

const int numMedicoes = 10; // Número de medições sensores
int medicoes_ang[numMedicoes]; // Vetor para armazenar as medições

const int pinoEntrada1 = 44; //
const int pinoEntrada2 = 46; //
const int pinoEntrada3 = 48; //
const int pinoEntrada4 = 50; //
const int pinoEntrada5 = 52; //

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(selfTestPin, OUTPUT);
  pinMode(gSelectPin, OUTPUT);
  pinMode(sleepPin, OUTPUT);
  digitalWrite(sleepPin, HIGH);
  digitalWrite(selfTestPin, LOW);
  digitalWrite(gSelectPin, LOW);
  getStartVals();

  //-----

  pinMode(pinoEntrada1, INPUT);
  pinMode(pinoEntrada2, INPUT);
  pinMode(pinoEntrada3, INPUT);
  pinMode(pinoEntrada4, INPUT);
  pinMode(pinoEntrada5, INPUT);

  Serial.begin(9600); // Inicializa a comunicação serial para depuração
}
String nivelTanque;

```

```

int posicao = 5;
int posicao_ant;

void loop(){

    //-----Loop do acelerômetro

    int angles[3] = {0};
    int raw[3] = {0};
    float gVal[3] = {0.0};

    getRawVals(raw);
    getAngles(angles,raw);
    getGValues(gVal, raw);
    /* Serial.print("x-Row: "); sprintf(result,"%6d", raw[0]); // sprintf for format
    Serial.print(result);
    Serial.print("  ");
    Serial.print("y-Row: "); sprintf(result,"%6d", raw[1]);
    Serial.print(result);
    Serial.print("  ");
    Serial.print("z-Row: "); sprintf(result,"%6d", raw[2]);
    Serial.println(result);

    Serial.print("x-Angle: "); sprintf(result,"%4d", angles[0]);
    Serial.print(result);
    Serial.print("  ");*/
    Serial.print("y-Angle: "); sprintf(result,"%4d", angles[1]);
    Serial.print(result);
    Serial.print("  ");
    /*Serial.print("z-Angle: "); sprintf(result,"%4d", angles[2]);
    Serial.println(result);

    Serial.print("x-g:  ");
    Serial.print(gVal[0]);
    Serial.print("  ");
    Serial.print("y-g:  ");
    Serial.print(gVal[1]);
    Serial.print("  ");
    Serial.print("z-g:  ");
    Serial.println(gVal[2]);
    Serial.println();          */

    delay(1000);

    //INCREMENTO DO ANGULO:

    float media_ang = 0;

```

```

for (int j = 0; j < numMedicoes_ang; j++) {
  /*if (j > 0) {
    posicao_ant_ang = medicoes_ang[j - 1];
  }*/
  medicoes_ang[j] = angles[1];
  delay(100); // Atraso entre as medições// 1s = 1000
}
//MEDIA DO ANGULO:
//float media_ang = 0;
for (int j = 0; j < numMedicoes_ang; j++) {
  media_ang += medicoes_ang[j]; //equivalente a media = media + medicoes[j];
}
media_ang /= numMedicoes_ang;

Serial.print("Media do Angulo: ");
Serial.println(media_ang);

//-----Loop dos sensores

for (int w = 0; w < numMedicoes; w++) {
  if (w > 0) {
    posicao_ant = medicoes[w - 1];
  }
  medicoes[w] = posicao;
  delay(100); // Atraso entre as medições// 1s = 1000

  int sensor1 = digitalRead(pinoEntrada1);
  int sensor2 = digitalRead(pinoEntrada2);
  int sensor3 = digitalRead(pinoEntrada3);
  int sensor4 = digitalRead(pinoEntrada4);
  int sensor5 = digitalRead(pinoEntrada5);

  // CONDIÇÕES:

  //while ((media_ang < 12) && (media_ang > -12))      { // 10 graus com 2 graus de
erro

  if ((sensor1 == LOW) && (sensor2 == HIGH) && (sensor3 == HIGH) && (sensor4 ==
HIGH) && (sensor5 == HIGH) && (media_ang < 12) && (media_ang > -12)) {
    posicao = 5;

  } else if ((sensor1 == HIGH) && (sensor2 == LOW) && (sensor3 == HIGH) &&
(sensor4 == HIGH) && (sensor5 == HIGH) && (media_ang < 12) && (media_ang > -12))
{
    posicao = 4;

```

```

    } else if ((sensor1 == HIGH) && (sensor2 == HIGH) && (sensor3 == LOW) &&
(sensor4 == HIGH) && (sensor5 == HIGH) && (media_ang < 12) && (media_ang > -12))
{
    posicao = 3;

    } else if ((sensor1 == HIGH) && (sensor2 == HIGH) && (sensor3 == HIGH) &&
(sensor4 == LOW) && (sensor5 == HIGH) && (media_ang < 12) && (media_ang > -12)) {
    posicao = 2;

    } else if ((sensor1 == HIGH) && (sensor2 == HIGH) && (sensor3 == HIGH) &&
(sensor4 == HIGH) && (sensor5 == LOW) && (media_ang < 12) && (media_ang > -12)) {
    posicao = 1;

    } else {
    posicao_ant = medicoes[w - 1]; // Armazena o último elemento de medicoes
    }

delay(100); // Aguarda 0.5 segundo antes de ler novamente

}
//} // CHAVE DO WHILE

// Calcula a média das medições:

float media = 0;
for (int w = 0; w < numMedicoes; w++) {
    media += medicoes[w]; //equivalente a media = media + medicoes[w];
}
media /= numMedicoes;

// Atribui o nível do tanque com base na média dos sensores:

if (media > 5) {
    niveltanque = "|||||";
} else if ((media >= 4) && (media <= 5)) {
    niveltanque = "||||";
} else if ((media >= 3) && (media < 4)) {
    niveltanque = "|||";
} else if ((media >= 2) && (media < 3)) {
    niveltanque = "||";
} else if ((media >= 1.2) && (media < 2)) {
    niveltanque = "|";
}
else {
    niveltanque = " ";
}

```



```

Serial.print("Posição do Tanque: ");
Serial.println(media);
Serial.print("Nível do Tanque: ");
Serial.println(niveltanque);

```

```

} //chave do loop

```

```

void getGValues(float gValueArray[], int rawArray[]){
  for(int i=0; i<3; i++){
    int diff = rawArray[i] - startVal[i];
    gValueArray[i] = diff*1.0/unitsPerG;
  }
}

```

```

void getRawVals(int rawVals[]){
  for(int i=0; i<3; i++){
    rawVals[i] = readMMA7361(axisPin[i]);
  }
}

```

```

void getAngles(int angleArray[], int rawArray[]){
  bool positive = true;
  for(int i=0; i<3; i++){
    int diff = rawArray[i] - startVal[i];
    positive = (diff>=0);
    diff = abs(diff);
    if(diff > unitsPerG){
      diff = unitsPerG;
    }
    angleArray[i] = int((asin(diff*1.0/unitsPerG))*57.296);
    if(positive==false){
      angleArray[i] = -angleArray[i];
    }
  }
}

```

```

int readMMA7361(int pin){
  long sum = 0;
  int result = 0;
  for(int i=0; i<50; i++){ // mean value of 50 measurements
    sum += analogRead(pin);
  }
  result = sum / 50;
}

```

```
    return result;
}

void getStartVals(){
    Serial.println("Your MMA71361 should now be placed flat on the ground, i.e.:");
    Serial.println("x/y-axis = 0 degrees, z-axis = 90 degrees ");
    Serial.print("Wait...");
    delay(2000); // to have enough time to position the MMA7361
    for(int i=0; i<3; i++){
        startVal[i] = readMMA7361(axisPin[i]);
    }
    startVal[2] -= unitsPerG; // Z-axis is at 90° in start position!
    Serial.println("ready!");
}
```

ANEXO A – Normas do RATBSB (Emenda 5)

Normas – SAE BRASIL – RATBSB (Emenda 5)	
Item	Descrição
B3.2.3	Nenhuma bateria pode possuir capacidade maior do que 240 W.h.
B10.1.2	Furos que não sejam originais do fabricante não são permitidos no tanque, mesmo se reparado. Linhas de respiro para o tanque não são permitidas.
B10.1.7.3	O uso de sensores de combustível só é permitido caso o projeto e meios construtivos da sua aplicação sejam previamente aprovados pelos procedimentos do item B15, após fornecimento de evidência que o sistema é compatível com funcionamento com combustível.
B10.2.6	As mangueiras não podem ser maiores do que as originais fornecidas com o motor, isto é, dimensões nominais de 12,7 mm (0,5 in) de diâmetro externo e 6,35 mm (0,25 in) de diâmetro interno. Como tolerância para a dimensão real das mangueiras, aceita-se diâmetros externos com mínimo de 12,7 mm (0,50 in) e máximo de 13,5 mm (0,53 in).
B10.2.9	Uma válvula de corte de combustível (“abre-fecha”) original Briggs & Stratton deve ser instalada entre o tanque de combustível e o carburador (Figura B-61). A válvula deve ser instalada a não mais do que 150 mm de comprimento de mangueira após o tanque.
B10.2.10	Caso válvulas de corte adicionais sejam utilizadas, estas também devem ser do modelo original Briggs & Stratton.
B15.1	Determinação de Nível Equivalente de Segurança (no inglês, abreviado, ELOS) é o princípio de certificação para configurações alternativas que não atendem em completude um ou mais requisitos de segurança. Para que seja feita a certificação, essa nova configuração deverá ter nível de segurança igual ou superior quando comparada à solução proposta pelo regulamento.
B15.2.1	Uma determinação de ELOS é feita apenas com base em documentação técnica como análises, testes, evidências teóricas ou outras ferramentas de engenharia.
B15.3	Um relatório apresentando os dados e argumentação que provem o nível equivalente de segurança deve ser enviado ao Comitê Técnico.

Fonte: SAE BRASIL (2023b)