

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**GUILHERME FRANCISCO COMASSETTO**

**SISTEMA DE MEDIÇÃO DE COMBUSTÍVEL DE UM  
VEÍCULO PROTÓTIPO DE CORRIDA TIPO BAJA**

**JOINVILLE**

**2018**

**GUILHERME FRANCISCO COMASSETTO**

**SISTEMA DE MEDIÇÃO DE COMBUSTÍVEL DE UM VEÍCULO PROTÓTIPO DE  
CORRIDA TIPO BAJA**

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Pedro Bertemes Filho

**JOINVILLE, 2018**

**GUILHERME FRANCISCO COMASSETTO**

**SISTEMA DE MEDIÇÃO DE COMBUSTÍVEL DE UM VEÍCULO PROTÓTIPO DE  
CORRIDA TIPO BAJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Elétrica.

**Banca Examinadora**

Orientador: \_\_\_\_\_

(Dr. Pedro Bertemes Filho)

UDESC

Membro: \_\_\_\_\_

(M.Sc. Renan Sebem)

UDESC

Membro: \_\_\_\_\_

(M.Sc. Daniel Gumiero Noronha Maas)

UDESC

Joinville, 05/07/2018

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao meu pai, seu Glimar, pelos seus constantes ensinamentos passados. Saiba, pai, que sempre estará em minha mente a força de viver que o senhor tem. A minha mãe, dona Dulce, pela persistência e encorajamento em concluir essa graduação. O amor, paciência e investimento em minha carreira acadêmica não teria acontecido se não fosse por vocês.

Ao meu professor orientador, professor Dr. Pedro Bertemes Filho. Por toda paciência e auxílio na conclusão desse trabalho.

Muito obrigado para todos os participantes do projeto UDESC Velociraptor Baja. Sem o auxílio de vocês este trabalho não teria acontecido.

Agradeço também à equipe Albatroz Aerodesign por emprestar a balança de precisão por tanto tempo e sempre estar de portas abertas.

Aos meus amigos do grupo da graduação. Ao Nakata, Salgadinho, Verediana, Luchini, Ghion, Kuns e Murillo. Obrigado pela atenção, conversas e cafés.

Aos meus amigos de longa data pelo companheirismo e amizade.

Ao meu companheiro de república, Eduardo. Pelas conversas e troca de experiências na universidade.

Aos meus professores de iniciação científica, professor Daniel e Holokx, por plantarem a semente da dúvida e ter uma perspectiva mais crítica sobre os eventos que me circundam.

A todos os professores da Universidade do Estado de Santa Catarina que de certa forma se envolveram nesse trabalho e discutiram ideias e soluções. E também pela qualidade de ensino prestada.

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo medir o volume de combustível de um veículo Baja em movimento. A instrumentação eletrônica do veículo tem objetivo de dar suporte aos dispositivos que sejam adequadamente projetados. Esta pesquisa consiste em medir o volume de combustível que, por sua vez, é o fator-chave em competições. Outras equipes de competição medem o volume de combustível do tanque através do emprego sensores capacitivos ou indutivos, discretizando em somente um ou dois níveis de combustível. Para aumentar a precisão, neste trabalho foi utilizado 8 sensores de efeito Hall e uma boia cilíndrica, confeccionada em PLA, contendo ímãs de neodímio posicionados em geometria hexagonal em seu interior. Foi projetado e simulado o sistema de conversão digital/analógico para medir o nível de combustível, empregando um algoritmo implementado em linguagem C no microcontrolador ATmega328P e mostrando ao piloto através do *display* Nextion NX8048050 de 5 polegadas. Os testes realizados em bancada e no veículo demonstraram erros de medição entre 3 a 15% quando o reservatório encontra-se em repouso. Por outro lado, o sistema de medição não apresentou precisão o suficiente, resultando um erro de leitura acima de 10% quando o veículo estava em movimento. Futuramente, a fim de aumentar a precisão da medição, sugere-se o desenvolvimento de uma boia de material inerte para inserir no interior do tanque de combustível, além disso melhorar o processamento analógico do sinal através do uso de filtros.

**Palavras-chave:** Instrumentação eletrônica. Veículo Baja. Medição de combustível. ATmega328P.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Esquema elétrico de um sensor de efeito <i>Hall</i> .....	5
Figura 2	– Diagrama de blocos do sistema de medição .....	7
Figura 3	– Desenho do projeto da boia.....	8
Figura 4	– Desenho do projeto da boia.....	8
Figura 5	– Desenho do projeto da boia.....	11
Figura 6	– Boia em geometria cilíndrica com encaixe hexagonal dos ímãs .....	11
Figura 7	– <i>Display</i> alocado no volante do veículo .....	13
Figura 8	– Fluxograma do algoritmo proposto.....	14
Figura 9	– Simulação na plataforma OrCAD PsPice .....	15
Figura 10	– Atuação das chaves e o resultado do circuito integrado .....	17
Figura 11	– Tensões de saída do codificador e amplificador operacional .....	18
Figura 12	– Diagrama esquemático do micro controlador .....	19
Figura 13	– Corte do tanque com enfoque na boia e posicionamento dos sensores .....	20
Figura 14	– Testes iniciais em bancada com matriz de pontos .....	21
Figura 15	– Bancada de testes .....	22
Figura 16	– Gráfico da massa d'água em relação ao volume.....	23
Figura 17	– Comportamento do volume micro controlado .....	24
Figura 18	– Volume de combustível mensurado em relação ao volume real.....	25
Figura 19	– Volume de combustível micro controlado em relação ao volume real.....	26
Figura 20	– Nível de combustível micro controlado em relação ao volume real .....	28

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela verdade do circuito integrado 74LS148 .....	9
Tabela 2 – Tabela verdade da comutação das chaves .....	17
Tabela 3 – Volume por discretização do tanque de combustível.....	20
Tabela 4 – Tabela com as massas dos componentes de teste em bancada .....	22
Tabela 5 – Volume e massa dos testes em bancada.....	24
Tabela 6 – Tabela de massa e volume do reservatório. Testes 1 a 3 .....	43
Tabela 7 – Tabela de massa e volume do reservatório. Testes 4 a 6.....	44

## LISTA DE ABREVIACOES

SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
ECU	<i>Engine Control Unit</i>
$\epsilon_0$	Constante Dielétrica do Ar
$\epsilon_r$	Constante Dielétrica do Material Dielétrico
PLA	cido Polilático
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
PETG	Politereftalato de Etileno Glicol
ADC	<i>Analogical to Digital Converter</i>
DAC	<i>Digital to Analogical Converter</i>
CVT	<i>Continuously Variable Transmission</i>
MSB	<i>Most Significant Bit</i>
LSB	<i>Least Significant Bit</i>
ml	mililitro
ms	milisegundo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	EQUIPE UDESC VELOCIRAPTOR BAJA.....	1
1.2	INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA NO VEÍCULO.....	2
1.3	OBJETIVO GERAL.....	3
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO PROJETO.....	3
<b>2</b>	<b>CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....</b>	<b>4</b>
2.1	SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE COMBUSTÍVEL.....	4
2.2	SENSORIAMENTO DE SINAIS.....	4
2.3	SENSOR DE EFEITO HALL.....	5
2.4	MEDIÇÃO DE NÍVEL.....	6
<b>3</b>	<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO PROPOSTO.....</b>	<b>7</b>
3.1	CODIFICADOR 74LS148.....	9
3.2	AMPLIFICADOR OPERACIONAL.....	9
3.3	SENSOR DE EFEITO HALL A3144.....	10
3.4	ÍMÃS DE NEODÍMIO.....	10
3.5	BOIA CILINDRICA DE PLA.....	10
3.6	DISPLAY NEXTION NX8048T050.....	12
3.7	MICRO CONTROLADOR E ALGORITMO.....	13
3.8	CIRCUITO ELETRÔNICO E EMBARCADO PROPOSTO.....	15
<b>4</b>	<b>RESULTADOS DE BANCADA.....</b>	<b>21</b>
4.1	RESULTADO NO VEÍCULO.....	26
<b>5</b>	<b>DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....</b>	<b>29</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>30</b>
	APÊNCIDE A – ALGORITMO DO MICRO CONTROLADOR.....	32
	APÊNCIDE B – TABELAS DOS TESTES EM BANCADA.....	43

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 EQUIPE UDESC VELOCIRAPTOR BAJA

Regulamentado pela SAE (*Society of Automotive Engineers*) o veículo protótipo do tipo baja, onde une os desafios de engenharia mecânica e elétrica para construir um veículo monoposto que suporte as adversidades de um terreno *off-road*. Os objetivos da Baja SAE correlacionam os estudantes de engenharia, no qual devem estimar, simular e construir um veículo protótipo construído pela própria equipe, que se adeque as normas de segurança e que ofereçam vantagens sobre outros competidores, tanto na parte estrutural como financeira.

A origem das competições de bajas data-se de 1976 no estado da Califórnia, Estados Unidos, no qual na primeira competição dez times competiram na sua inauguração. Atualmente, a competição internacional é realizada em Rochester, Nova York, e acontece anualmente durante os meses de maio e junho.

As primeiras competições de protótipos tipo baja aconteceram no Brasil nos anos de 1995, em Ibirapuera, São Paulo. Desde então, as competições expandiram, havendo a competição nacional e as competições regionais, sendo estas: etapa sul (Rio Grande do Sul), sudeste (São Paulo) e nordeste (Bahia), além da competição nacional que acontece em São José dos Campos, São Paulo.

Com o intuito de motivar os alunos da graduação dos cursos de exatas, tais como: engenharia mecânica e elétrica, engenharia de produção e sistemas e física, a SAE estipula regras para a construção de um protótipo *off-road*, oferecendo a oportunidade de aplicar os conhecimentos adquiridos dentro da universidade, no qual, o aluno envolve-se com um caso real de um desenvolvimento de um veículo *off-road*, desde sua concepção, projeto detalhado, construção e testes (BAJA SAE BRASIL, 2017).

Quando submetido às competições, o protótipo irá se deparar com as seguintes etapas: Etapa de segurança: primeira fase em que o veículo é submetido. Nessa parte da competição, o protótipo é submetido a uma minuciosa análise, no qual se verifica se todos seus componentes estão adequados às normas de segurança impostas pela SAE. Testes dinâmicos: segunda fase de testes. Nessa etapa, o protótipo passa por verificação de frenagem, tração, aceleração e *suspension and traction*. Enduro: terceira e última etapa. Aqui o veículo é posto para competir em um circuito fechado, com terreno característico *off-road*. As etapas de enduro chegam a ter até quatro horas de duração. Para cada uma das etapas aqui citadas, uma nota é atribuída por avaliação. A equipe que der mais voltas ganha o enduro e no fim, a equipe que mais somar pontos, vencerá a competição.

A equipe UDESC Velociraptor Baja teve início no ano de 1998 com colaboração do atual coordenador do projeto, professor Nicodemus Neto da Costa Lima; a equipe concilia os ensinamentos de engenharia mecânica e elétrica em um projeto de ensino, nos quais os estudantes têm desafios de construção e aquisição dos componentes do protótipo.

Atualmente, a equipe é formada por 28 alunos da própria universidade, dos cursos de engenharia mecânica, elétrica e ciências da computação. A hierarquia da equipe é composta

por um estudante que figura o capitão da equipe, os estudantes que lideram o concelho (grupo que define as principais decisões da equipe) e os líderes de cada um dos subsistemas. Além disso, a equipe divide-se em dois grupos chamados subsistemas técnicos e administrativos. Os subsistemas técnicos são compostos por: cvt, direção, *design*, eletrônica, freio, motor, transmissão dianteira e direção e transmissão traseira. Os subsistemas administrativos: administração, finanças, gestão e plano de negócios.

## 1.2 INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA NO VEÍCULO

A aplicação da instrumentação eletrônica tem como objetivo complementar os experimentos desenvolvidos, assim como, comprovar a eficácia dos materiais utilizados em um determinado experimento. A instrumentação eletrônica serve como suporte para a validação de cálculos ou algoritmos pré-estipulados via *softwares* computacionais. Os processos de comprovação levam à necessidade de medição de grandezas que remetem às teorias e leis que fundamentam a ciência (BALBINOT, BRUSAMARELLO. 2011, p. 1).

Para a indústria automobilística, a aplicação de transdutores serve para quantificar eficácia dos materiais utilizados. O uso de extensômetros, fitas resistivas que variam sua resistência conforme aplicado uma deformação sobre o mesmo, podem servir como meio de determinar a flambagem, quando o material perde sua forma via esforço de compressão axial; ou cisalhamento, quando o material empregado rompe-se ou perde sua rigidez. Com isso, o emprego apropriado de outros instrumentos para medição de parâmetros físicos, tais como: fluxo, pressão, temperatura, nível, deslocamento, retorna, para a indústria automotiva, veículos com maior nível de segurança. A importância da Instrumentação poderia ser resumida em uma frase: “A medição é a base do processo experimental”; seja em um processo que deve ser controlado, seja em pesquisa ou uma linha de produção dentro de uma indústria, o processo da medição de grandezas físicas é fundamental (BALBINOT, BRUSAMARELLO. 2011, p. 6).

Em veículos automotivos, o sistema de medição de combustível é feito a partir de uma boia, de material plástico, conectado por uma haste em um resistor variável. Conforme o volume de combustível varia no reservatório, a resistência elétrica também varia, informando à ECU (Unidade Eletrônica de Controle) de que o nível de combustível foi modificado. Para adaptar um sistema de medição como o utilizado em veículos automotivos, é necessário a instalação de tal equipamento no interior do reservatório, entretanto, na seção 7.8.2 dos requisitos mínimos de segurança do regulamento da SAE Brasil, nenhum furo ou reparo pode ser feito no tanque, logo, fica inviável a instalação desse sistema de medição.

Todas as universidades que possuem uma equipe baja visam alcançar o primeiro lugar na competição nacional, sendo para isso necessário um projeto de veículo bem estruturado e instrumentalizado. Ema uma das etapas da competição é necessário à apresentação do projeto em meio a uma banca organizadora do evento. Nesse momento, apresenta-se todo trabalho desenvolvido para a construção do veículo. Para os sistemas elétricos empregados, aumenta-se a pontuação para as equipes que mais desenvolvem e aplicam os conhecimentos adquiridos na universidade. Para este trabalho, adquirir o volume de combustível é importante tanto para a parte do enduro de resistência quanto para a pontuação do projeto eletrônico.

As soluções que outras equipes exploram, em sua maioria, estão em instalar sensores capacitivos ou indutivos nas paredes do reservatório a fim de medir alguns níveis do combustível, geralmente entre meio tanque e tanque em nível crítico (NUNES, 2016). Também cita-se o emprego de transdutores piezoelétricos de pressão (DIAS, 2010), os quais utilizam do peso exercido do combustível sobre o transdutor para obter o volume de combustível no reservatório.

Em pesquisas feitas com outras equipes, são instaladas boias internamente no reservatório e sensores de efeito *Hall* na parede, com objetivo de aumentar a discretização dos níveis de combustível e, também, da utilização de sensores ultrassônicos para a medição do nível de combustível.

O maior desafio consiste em medir o nível de combustível com o líquido em movimento aleatório, pois o protótipo desloca-se em um ambiente *off-road* e também, as especificações da RBSB 7, que indicam os requisitos mínimos de segurança. Com isso, neste trabalho, será explorado a utilização de transdutores com o propósito de medir o nível de combustível e que, ao mesmo tempo, conciliem com o regulamento proposto pela SAE Brasil.

### 1.3 OBJETIVO GERAL

Em detrimento às normas que regulamentam o tanque de combustível do veículo, onde nenhum sistema interno eletrônico pode ser utilizado para medir o nível de combustível, este trabalho propõe a utilização de transdutores de efeito Hall para a obtenção do volume no reservatório no veículo.

O objetivo geral deste trabalho remete-se em desenvolver um sistema de medição, com precisão, do volume de combustível no veículo protótipo que se encontra em movimento.

### 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO PROJETO

Os objetivos específicos deste trabalho de conclusão de curso envolvem:

- Investigar as soluções disponíveis para medição de volume em combustíveis.
- Realizar testes de validação da solução proposta.
- Realizar testes no veículo em movimento.

## 2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

### 2.1 SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE COMBUSTÍVEL

Para a construção deste trabalho, foram pesquisados os principais métodos de instrumentação do volume de combustível em veículos automotivos.

O sistema utilizado em carros e motocicletas é composto uma boia flutuante conectada a um resistor variável através de uma haste. Conforme o volume de combustível excursiona dentro do reservatório, a boia que é conectada a um resistor variável através de uma haste metálica, indica a ECU um nível de tensão que corresponde ao volume atual de combustível e a ECU fica incumbida de analisar e interpretar o sinal recebido e assim indicar ao motorista no painel de instrumentos.

Para aeronaves o sistema de combustível é mais sofisticado. Para indicar o volume de combustível do reservatório, os sensores para essa função indicam a quantidade de massa de combustível presente em aeromodelos. Os sensores são compostos por sensores capacitivos imersos no reservatório a fim de medir a capacitância relativa entre vácuo e gasolina com intuito de dizer a profundidade de combustível no reservatório. Há também um dispositivo chamado compensador imerso no combustível e esse possui a função de saber qual a propriedade dielétrica do combustível para conseguir medir com precisão o volume de combustível com o sensor capacitivo. E então, para medir a massa de combustível é utilizado um sensor chamado de densímetro e esse injeta um sinal de alta frequência no combustível e com sua resposta é possível descobrir a densidade do combustível no momento de medida, uma vez que a aeronave encontra-se em um ambiente em que sua temperatura varia bruscamente. Com esses três sensores é possível determinar a massa de combustível e assim indicar seu volume para os pilotos.

Abordando sistemas de medições de combustível, conforme Calasso (2009, p. 79) empregam-se em postos de gasolina, que possuem seus reservatórios no subsolo, sensores acústicos. Esses sensores emitem uma frequência acima da banda audível, ultrassom, e determinam com o tempo de resposta dessa onda, o volume de combustível no reservatório. Há também a utilização de guias de som para minimizar os erros de leituras referentes ao eco das paredes e ressonância do combustível dentro do tanque.

### 2.2 SENSORIAMENTO DE SINAIS

As técnicas experimentais têm mudado drasticamente nos últimos anos devido ao desenvolvimento de instrumentos eletrônicos e controladores inteligentes de processos. Ao projetar um experimento, o indivíduo precisa ser capaz de especificar a variável física e conhecer as leis da física. Depois, é necessário o projeto ou a aplicação de algum instrumento, quando será necessário o conhecimento dessa aplicação. Por fim, para analisar os dados, o indivíduo deve combinar as características do processo físico que está sendo medido com as limitações dos dados coletados (BALBINOT, BRUSAMARELLO. 2011, p. 6).

### 2.3 SENSOR DE EFEITO HALL

No final do século XIX, estudos feitos por Edwin H. Hall indicaram o surgimento de uma diferença de potencial em um condutor, conforme aplica-se um campo magnético perpendicular à sua passagem de corrente elétrica. Hall observou que essa força eletromotriz (f.e.m) era proporcional ao campo magnético aplicado perpendicularmente à velocidade dos elétrons.

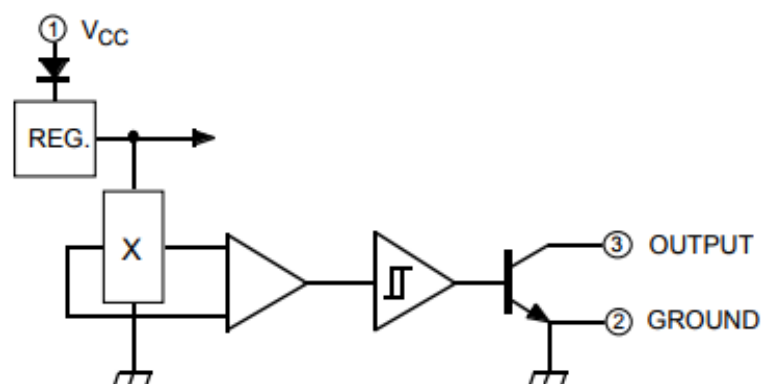
De acordo com Balbinot e Brusamarello (2015, p. 34)

O efeito *Hall* depende da força de Lorenz que interage com uma carga em movimento por meio de um campo magnético. Quando um condutor é exposto a um campo magnético transversal, os elétrons em movimento são repelidos para uma das bordas. A concentração de elétrons nessa borda causa um campo elétrico transversal ao condutor e ao campo magnético. O efeito do campo elétrico só anula a força de Lorenz, atingindo o equilíbrio. O campo elétrico transversal ao condutor causa uma diferença de potencial entre as duas bordas desse condutor, conhecida como tensão *Hall*. Essa tensão *Hall* varia com o tipo de condutor que é exposto ao campo magnético.

Na prática, os sensores de efeito *Hall* podem ser anexados a sistemas de potência para indicar a presença de campo magnético. Para tal, podem ser utilizados transistores bipolares do tipo NPN.

Na Figura 1 observa-se o esquema de blocos de um sensor de efeito *Hall* convencional. Nessa imagem percebe-se a alimentação do circuito através de  $V_{CC}$ . Emprega-se o diodo para proteção caso seja alimentado com tensão reversa. O bloco REG. representa um regulador de tensão para alimentar o bloco X, o bloco onde está concentrado o sensor de efeito *Hall*. Passa-se por um estágio de comparação da tensão lida pelo sensor *Hall*, um circuito comparador por histerese e por fim um estágio de potência para acoplar o sensor aos demais circuitos eletrônicos subsequentes.

Figura 1 – Esquema elétrico de um sensor de efeito *Hall*.



Fonte: ELECROW. **Sensor de efeito Hall A3144**. Disponível em: <<https://www.elecrow.com/download/A3141-2-3-4-Datasheet.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

O primeiro transdutor usado foi o sensor de efeito *Hall* U18. Esse transdutor funciona com a lógica *latch*, ou seja, seu estado atual permanecerá enquanto não houver mudança de estado em sua entrada. Conforme a folha de especificação do transdutor em questão, o elemento sensível de efeito *Hall* permanece inalterado enquanto não há presença de campo magnético, conforme o elemento sensível percebe a existência de campo magnético, um amplificador diferencial atua sobre o sinal enviado, para passar por um amplificador com histerese e então um estágio de potência para poder acoplar o transdutor a demais circuitos eletrônicos.

A complicação de utilizar esse circuito integrado mencionado acima, U18, é que seria necessário inverter os polos dos ímãs para destravar da lógica *latch*. A lógica *latch* só deixaria mudar de estado se houvesse inversão do sentido das linhas de campo magnético e para a ideia proposta, seria inviável para implementação da boia proposta pois os ímãs permanecem com o polo norte apontando para fora da boia, sendo impossível de inverter seus polos magnéticos.

## 2.4 MEDIÇÃO DE NÍVEL

É possível efetuar a medida de sensores de nível através de suas partes laterais, com indicadores de nível, ou do fundo do recipiente em direção à superfície. As aplicações de medidas de nível são necessárias em diversos processos: leitura de níveis de combustível, níveis de grãos em celeiros, reservatórios de água, entre outros (BALBINOT, BRUSAMARELLO. 2015, p. 270).

Pode-se citar um método direto de leitura de níveis como o visualizador externo, onde um tubo lateral ao reservatório é construído, normalmente transparente. A atuação da pressão atmosférica é a mesma aplicada ao líquido dentro do reservatório como do líquido na coluna externa, logo, a altura em que o líquido se encontra na coluna externa é a mesma altura que se encontra dentro do reservatório. Portanto, conforme a coluna de líquido no tubo lateral ao reservatório desloca-se, pode ser construída uma escala que represente o volume do reservatório e assim fazer uma medição direta do nível.

Um método de mensurar nível, de forma indireta, emprega-se um deslocador, utilizando um corpo no interior de uma câmara que contenha um líquido, contido na vertical, e que a força vertical resultante do líquido seja a diferença de peso e a força de empuxo medida.

O corpo que flutua dentro dessa câmara está parcialmente inserido no líquido, de modo que, à medida que o nível aumenta, a força do empuxo também aumenta, logo, aumentando a força resultante. Este princípio é regido pelo teorema de Arquimedes: “Todo corpo mergulhado em um fluido sofre a ação de uma força vertical dirigida de baixo para cima igual ao peso do fluido deslocado” (BALBINOT, BRUSAMARELLO. 2015, p. 274).

### 3 SISTEMA DE MEDIÇÃO PROPOSTO

O desenvolver desse trabalho encaixa-se no regulamento RBSB 7 da SAE, onde os requisitos de segurança aplicados ao tanque de combustível foram seguidos.

Com o intuito de adquirir com precisão o volume composto no tanque de combustível, estudou-se a implementação de transdutores de efeito Hall A3144 com função de perceber o deslocamento de uma boia flutuante a qual se encontra dentro do reservatório de combustível.

Com o emprego dos transdutores de efeito Hall, será discretizado em oito níveis o volume total do reservatório e será empregado três sensores dos quais utilizam os transdutores de efeito Hall e um sistema de conversão digital/analógica.

Aproveitando a geometria do tanque de combustível, serão empregado os três sensores localizados externamente, e assim, retirar uma média do volume conforme a posição da boia.

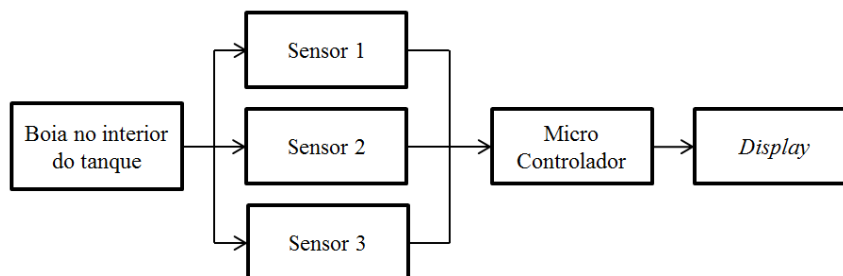
A boia cilíndrica, desenvolvida de PLA, filamento para confecção de peças em matrizes 3D, armazena os ímãs de neodímio internamente posicionados em geometria hexagonal.

Por tanto, para esse trabalho, para a medição de combustível de forma indireta, desenvolveu-se:

- Sensor de efeito magnético.
- Boia contendo ímãs de neodímio posicionados em vértices de um hexágono.
- *Hardware* e *Software* para manipulação dos dados do sensor.
- Testes em estáticos em bancada.
- Testes no veículo em movimento.

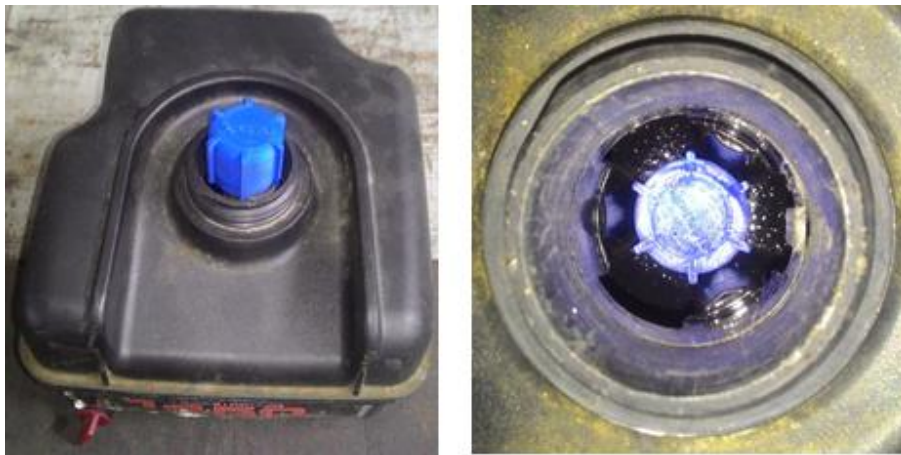
Na Figura 2 tem-se o diagrama de blocos do funcionamento do sistema proposto. Coloca-se a boia no interior do tanque, onde este mesmo já está devidamente abastecido com 3 litros de combustível, os sensores 1, 2 e 3 posicionados externamente para perceber a posição em que a boia se encontra e levar essa informação para o micro controlador. Uma vez que a informação chega ao micro controlador, o mesmo faz os cálculos do volume de combustível a partir do algoritmo empregado, retirando a média dos três sensores empregados. E por fim é feita a amostragem ao piloto

Figura 2 – Diagrama de blocos do funcionamento do sistema de medição.



Na Figura 3 mostra-se a imagem à esquerda a boia alocada na parte superior e a imagem à direita a boia inserida no tanque de combustível. Conforme o reservatório recebe combustível, a boia imersa indica para os sensores em que nível se encontra. Para a boia desenvolvida, ver seção 3.6, os ímãs ficam alocados na base inferior da boia com os polos magnéticos norte apontando para fora da boia. Para travar a posição dos ímãs, projetou-se na boia as travas em geometria hexagonal para que, enquanto a boia estivesse alocada no interior e o veículo estivesse em movimento, a posição dos ímãs sempre estivesse apontando os sensores.

Figura 3 – Tanque de combustível e a boia em seu interior.



Fonte: Produção do próprio autor, 2018.

Na Figura 4 temos a vista inferior do tanque com os sensores projetados parcialmente alocados. Aproveitando da geometria do tanque, que possui três troncos de cone ocultos que vão da base do reservatório até seu topo, os sensores são inseridos na parte externa e alocados internamente nesses troncos de cone ocultos. Nessa Figura 4, observa-se os sensores com seus bornes de fixação, necessários para acomodar os cabos de alimentação e de sinal que os compõem.

Figura 4 – Vista inferior do tanque de combustível com os sensores parcialmente alocados.



Fonte: Produção do próprio autor, 2018.

### 3.1 CODIFICADOR 74LS148

Utilizou-se o circuito integrado 74LS148, o qual é um codificador com oito entradas e três saídas. Conforme MELO (2010), as oito entradas possuem níveis de prioridade, ou seja, quando duas ou mais entradas foram pressionadas simultaneamente, a saída corresponderá à entrada com maior índice. As saídas A2, A1 e A0 funcionam de forma complementar, conforme os oito níveis vão passando, as saídas alteram entre 000 até 111 em níveis digitais. A Tabela 1 exemplifica a tabela verdade do circuito eletrônico.

Tabela 1 – Tabela verdade do circuito integrado 74LS148.

EI	ENTRADAS								SAÍDAS				
	0	1	2	3	4	5	6	7	A2	A1	A0	GS	EO
H	X	X	X	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H
L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L
L	X	X	X	X	X	X	X	L	L	L	L	L	H
L	X	X	X	X	X	X	L	H	L	L	H	L	H
L	X	X	X	X	L	H	H	H	L	H	L	L	H
L	X	X	X	L	H	H	H	H	H	L	L	L	H
L	X	X	L	H	H	H	H	H	H	L	H	L	H
L	X	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L	H
L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H

Fonte: *National Instruments. Codificador de 8 bits 74LS148*. Disponível em: <<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74ls148.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

Na Tabela 1 observa-se a seguinte simbologia: H = nível alto ou *HIGH*, L = nível baixo ou *LOW* e X = nível irrelevante, independente se for nível alto ou baixo. As entradas são ditas nos valores crescentes na coluna ENTRADAS, indo de zero até sete. Na coluna de saídas, SAÍDAS, encontramos as saídas do sistema A2 (MSB), A1 e A0 (LSB) e as saídas GS e EO.

Para as entradas do codificador, partindo da entrada zero em nível lógico baixo, teremos o maior nível de combustível no veículo. Conforme as entradas vão sucessivamente recebendo nível lógico baixo, as saídas vão decrementando. Com isso, quando apenas a entrada zero está em nível baixo, temos 111 na saída do codificador, decrementando assim, até 000 quando houver nível lógico baixo na entrada sete do controlador. Cada um desses níveis de entrada representa em qual nível encontra-se a boia dentro do reservatório.

### 3.2 AMPLIFICADOR OPERACIONAL

O amplificador operacional é um circuito eletrônico que possui um grande ganho em malha aberta, possuindo dois terminais de entrada diferenciais e uma saída. Estudando as configurações dos amplificadores operacionais, pode-se introduzir uma malha de controle do ganho do amplificador, trazendo assim, de um comparador por saturação a um amplificador de sinais. Nota-se que comparador por saturação, entende-se como um comparador que, conforme a tensão de entrada das portas diferenciais excursiona, o amplificador operacional coloca na saída  $V_{SAT+}$  ou  $V_{SAT-}$ , dependendo da alimentação imposta para operação.

Para esse trabalho, será empregado o amplificador operacional operando como somador dos níveis lógicos provenientes do codificador. Por tanto, será empregado um ponderação das saídas do codificador, fazendo assim com que cada nível discretizado do tanque de combustível receba um valor de tensão, logo, o algoritmo implementado no micro controlador interprete e faça os cálculos para retirar uma média entre os valores de tensão dos sensores.

### 3.3 SENSOR DE EFEITO HALL A3144

O sensor de efeito *Hall* A3144 não possui a lógica *latch*, diferente do sensor U18. Conforme a folha de especificação, a intensidade magnética excita o elemento sensitivo, a saída desse circuito integrado comuta para nível baixo quando o campo magnético ultrapassa do *threshold* de operação, chamado  $B_{OP}$ , fazendo com o elemento de potência de saída do circuito integrado entre em saturação, levando a saída a zero. Quando o campo magnético reduz para um *threshold* mínimo, chamado  $B_{RO}$ , o estágio de potência entra em corte, fazendo com que a tensão vá para nível lógico alto. Esse campo magnético de histerese, chamado  $B_{HYS}$ , atua na prevenção de “cintilação” ou comutação da saída quando a presença do elemento magnético encontra-se em movimento, vibração mecânica ou ruído elétrico.

Com isso, o circuito integrado A3144 servirá como as entradas do codificador, comutando-as quando os ímãs da boia estiverem posicionados em frente aos transdutores de efeito Hall e o amplificador operacional irá atuar como somador dos níveis de tensão na saída do codificador, caracterizando assim um DAC.

### 3.4 ÍMÃS DE NEODÍMIO

Também conhecidos como ímãs de terras raras, os ímãs de neodímio são conhecidos pelo seu intenso campo magnético em pequeno volume de material. Composto por neodímio, ferro e boro,  $Nd_2Fe_{14}B$ , o ímã escolhido foi de grade N35, de dimensões 5x2mm, possui um campo magnético aproximado de 3700 Gauss e massa 0,3g.

Os ímãs escolhidos para esse trabalho são de Neodímio-Ferro-Boro. A escolha desses ímãs dá-se da facilidade de encontra-los, baixa massa associada ao campo magnético do material e baixo custo.

Empregaram-se os ímãs na parte interna da boia, alocados em forma hexagonal e em pares. Devido ao movimento rotacional da boia no interior do tanque de combustível, escolheu-se a forma hexagonal com propósito de garantir que todos os sensores estariam percebendo os ímãs e assim calcular o volume do tanque de combustível.

### 3.5 BOIA CILINDRICA DE PLA

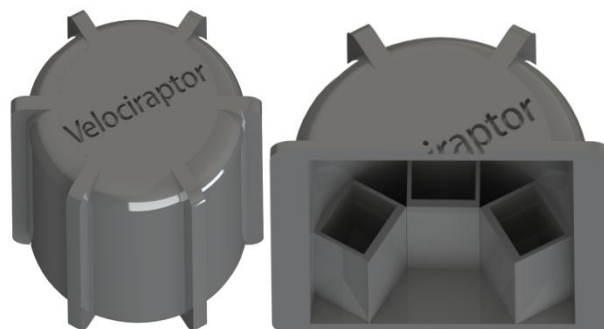
Desenvolveu-se uma boia de impressão 3D de PLA, construída no software SOLIDWORKS. A geometria proposta engloba o problema da aleatoriedade do movimento da boia no interior do reservatório.

Devido ao formato do reservatório, o qual possui três troncos de cone em seu interior, a confecção da boia será feita de tal forma com que se encaixe na parte interior e deixe os ímãs sempre voltados aos sensores. A construção da boia foi de forma cilíndrica com encaixes hexagonis para que a mesma pudesse encaixar-se dentro do tanque e não rotacionar conforme o movimento do carro, fazendo assim, que o sentido em que os ímãs, que estão dentro da boia, ficassem voltados aos sensores.

Após definido o formato geométrico da boia e a posição dos ímãs, dá-se início ao processo de confecção da boia. Inicia-se pela base e indo em direção ao topo circundando a boia. Em um determinado instante, quando a máquina de impressão já atingiu a altura suficiente para fixação dos ímãs, utiliza-se cola instantânea de cianoacrilato. Assim posicionados os ímãs e sua fixação, dá-se continuidade ao processo de fabricação. Agora, basta construir o restante da boia. Quando finalizado, ter-se-á duas metades. Uma metade contendo os ímãs e outra metade contendo o seu complemento. Para agrupar ambas as metades, utiliza-se vapor de acetona para soldar as duas peças.

Na Figura 5 mostra como seria a confecção da boia. Forma cilíndrica da boia com encaixa em geometria hexagonal para evitar a rotação sobre seu próprio eixo enquanto dentro do tanque de combustível.

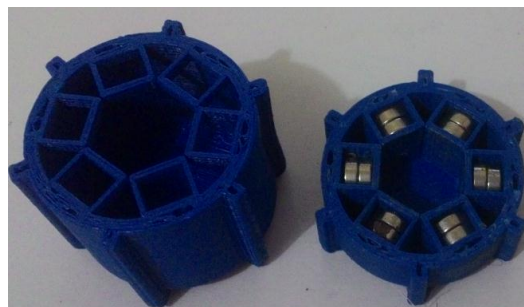
Figura 5 – Desenho de projeto da boia.



Fonte: Produção do próprio autor, 2018.

A Figura 6 mostra o resultado final, após sua confecção, faltando somente agrupar ambas as peças. Para agrupar as peças, pode ser utilizado vapor de acetona ou álcool isopropílico para unir ambas as partes.

Figura 6 – Boia em geometria cilíndrica com encaixe hexagonal dos ímãs.



Fonte: Produção do próprio autor, 2018.

No interior da boia há espaços para fixar os ímãs em suas determinadas posições. A Figura 6 demonstra como são alocados os ímãs no interior da boia. Os ímãs são posicionados de tal forma para que o polo norte magnético saia da boia. Utiliza-se cola de cianoacrilato para que as forças de repulsão dos polos contrários não removam os ímãs de posição, afim de não descaracterizar a forma hexagonal.

Conforme a Figura 6, para garantir que os ímãs estejam sempre voltados à parede que contém os sensores, projetou-se travas na parte externa para garantir que o movimento rotacional da boia não deixe a posição dos ímãs em posição que os sensores não percebam os ímãs.

A boia tem dimensões: 40 mm de altura, diâmetro interno de 33 mm e diâmetro externo de 35 mm. O volume da boia é de aproximadamente  $3,85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ , ou seja, 38,5 ml. Possui representação percentual de, aproximadamente, 1,3% do volume do reservatório. Possui massa aproximada de 16g. A densidade do material utilizado, PLA, pode variar entre  $1040 \text{ kg/m}^3$  até  $1400 \text{ kg/m}^3$ , logo, a densidade total da boia incluindo os ímãs na parte inferior é de  $696,47 \text{ kg/m}^3$ , logo, a boia quando submergida em água ou gasolina irá boiar.

### 3.6 DISPLAY NEXTION NX8048T050

Para fazer a amostragem ao piloto, foi utilizado o *display* Nextion NX8048T050 – 5” LCD TFT HMI Intelligent Touch Display.

A equipe Velociraptor Baja já possuía o *display* como forma de amostragem para o piloto dos dados da instrumentação eletrônica empregada no carro, portanto, para esse trabalho, também o foi utilizado.

Na Figura 7 temos o *display* utilizado no veículo. Conforme os dados publicados pela ITEAD na rede internacional de computadores, o *display* em questão utiliza apenas uma porta serial de comunicação. Possui também *software* gratuito de elaboração do *firmware* ou da interface de comunicação. Conforme ITEAD, seu *software* é de fácil programação, necessita de pouca programação dos componentes, com a função *drag-and-drop*, pode-se reduzir em até 99% do tempo utilizado para programação e criação dos ícones de interface.. No *software* também são encontrados botões, barras de progresso e painéis de instrumentação.

Na figura 7 observa-se no campo superior esquerdo o logo da equipe Velociraptor Baja. Logo abaixo, o volume de combustível no reservatório mensurado em litros. Na parte inferior, o indicativo do número de arquivos .txt gravados e também a indicação da palavra ERROR em caso de falha no reconhecimento do cartão SD. No canto superior direito, denominado com S1, S2 e S3 o atual nível em que a boia encontra-se dentro do tanque e, abaixo, tem-se a indicação dos níveis de combustível ao piloto, com cinco indicações que possuem decrementação do número de barras ao lado do símbolo de tanque de combustível e também a alteração da coloração das barras que tendem da cor verde até a cor vermelha, indicando 100%, 80%, 60%, 40% e 20% de combustível restante.

Figura 7 – *Display* alocado no volante do veículo.



Fonte: Produção do próprio autor, 2018.

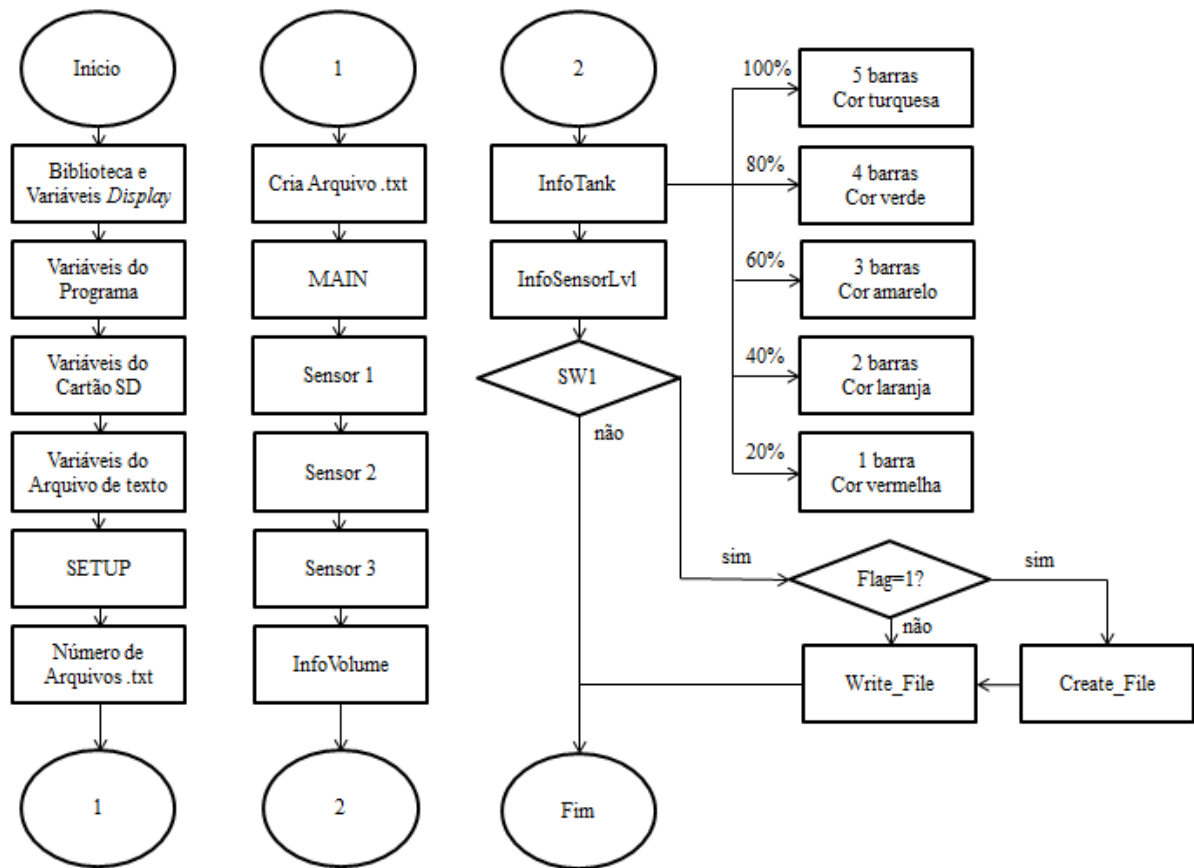
### 3.7 MICRO CONTROLADOR E ALGORITMO

O micro controlador utilizado foi o ATmega328P, Arduino Nano. Possui linguagem de programação em C, biblioteca de comunicação com o *display* apresentado na seção anterior. A utilização desse micro controlador foi dada pelo conhecimento prévio do micro controlador, facilidade de obtenção no mercado nacional, baixo custo e vasta quantidade de bibliotecas na rede mundial de computadores.

A programação foi escrita no *software* da própria empresa que desenvolve o Arduino.

Na Figura 8 mostra-se o diagrama a fim de explicar o funcionamento do algoritmo. Partindo do Início, são declaradas as variáveis da biblioteca do *display* Nextion, para então as variáveis do programa, variáveis do programa relacionadas ao *display*, variáveis do cartão SD e, por fim, variáveis da criação de arquivos de texto.

Figura 8 – Fluxograma do algoritmo proposto.



Fonte: Produção do próprio autor, 2018.

Na inicialização do *SETUP*, onde são empregadas as entradas e saídas do micro controlador assim como a função para saber se o cartão SD está conectada. Em caso de sucesso do cartão, um *led* indicativo de cor verde é acionado na placa de circuito impresso e o indicador do número de arquivos dentro do cartão SD é indicada no *display*. Em caso de falha, um *led* de cor vermelha é indicado na placa de circuito impresso e anuncia-se a palavra *ERROR* no *display*.

O algoritmo então cria o primeiro arquivo e vai para a função *MAIN*. Nessa função, são chamadas as outras funções que fazem a leitura da informação do volume do tanque através dos sensores 1, 2 e 3.

Na função *InfoVolume* é feita o cálculo do volume presente no reservatório. Retira-se uma média de cada um das leituras dos sensores. Essa leitura tira a média a formar uma triangulação entre os sensores, com isso, é possível obter uma leitura com mais precisão do volume do combustível conforme o veículo se desloca.

A informação do nível de combustível para o piloto, função *InfoTank*, indica graficamente a quantidade de combustível através de uma imagem de uma bomba de gasolina e a indicação em cinco níveis. Para o reservatório cheio, amostra-se a bomba de combustível cinco barras ao seu lado com cor verde. Conforme o volume decai, o número de barras

também diminui e as cores das barras e da bomba de combustível também mudam, indo para a cor vermelha. As cores mudam na seguinte ordem: turquesa, verde, amarelo, laranja e verde.

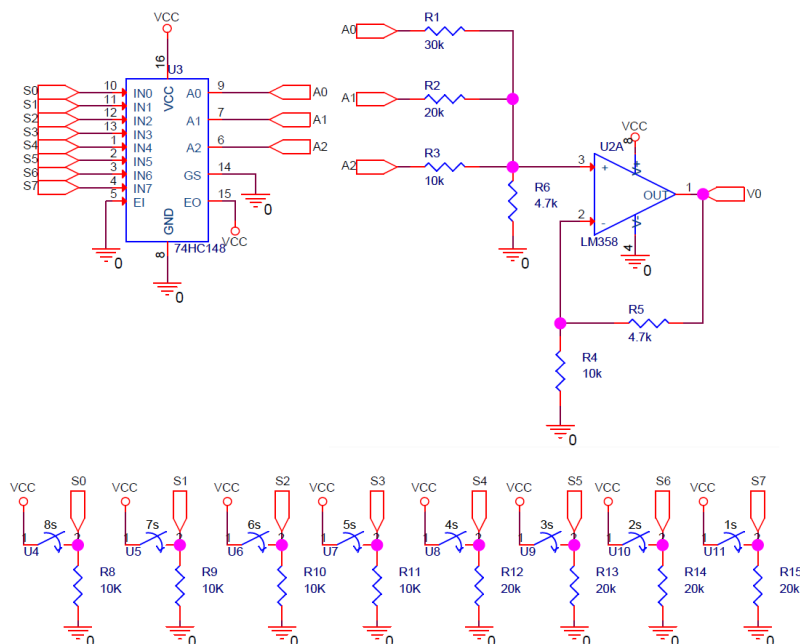
A indicação de qual transdutor está sendo atuado pela boia no tanque, InfoSensorLvl, tem objetivo de saber qual transdutor está percebendo os ímãs no reservatório.

Implementa-se uma chave seletora do armazenamento dos dados no cartão SD. Para os testes com o veículo em movimento, implementou-se essa chave com finalidade de armazenar os dados no cartão SD somente enquanto o veículo encontra-se em movimento. Uma vez que, durante a etapa de teste, falhas em peças mecânicas foram observadas e as constantes paradas para colocar as peças em ordem, foi colocado um botão para ter maior controle de quando os valores de combustível deveriam ser armazenados. Utilizou-se o cartão SD para avaliar o comportamento dos sensores e do nível de combustível após o veículo executar os testes dinâmicos.

### 3.8 CIRCUITO ELETRÔNICO E EMBARCADO PROPOSTO

Nas seções anteriores foram mostrados os elementos que circundavam o projeto até então. Após todos os estudos das seções anteriores, utilizou-se o *software* OrCAD PsPice na versão 16.6 Lite para simular os circuitos eletrônicos propostos, conforme a Figura 9.

Figura 9 – Simulação na plataforma OrCAD PsPice.



Fonte: Autoria do próprio autor, 2018.

Na Figura 9, temos: R1, R2 e R3 como resistores da saída do encoder para a entrada não inversora do amplificador operacional, R4 ligando a entrada inversora ao negativo, R5 como resistor de realimentação da entrada inversora para a saída V0, R6 ligando a entrada não inversora ao negativo, os resistores R8 até R15 fazem parte das chaves de comutação que simulam a atuação dos sensores de efeito Hall. Os selos S0 até S7 indicam o estado do sensor simulado, as saídas do circuito integrado são designadas por A0, A1 e A2 e as chaves U4 até

U11 simulam a presença do ímã e a atuação do elemento magneto sensível. A simulação é feita utilizando os circuitos integrados 74HC148, o amplificador operacional LM358 e chaves de comutação em tempo específico pré-determinado.

Para a configuração proposta do amplificador operacional, o qual se encontra na configuração diferencial, encontramos a seguinte solução:

$$V_- \cong V_+ = A_0 \frac{R_6}{R_1 + R_6} + A_1 \frac{R_6}{R_2 + R_6} + A_2 \frac{R_6}{R_3 + R_6}$$

$$i_0 = \frac{V_0 - V_-}{R_5}$$

Se:

$$i_0 = i_-$$

Teremos,

$$i_- = \frac{V_- - 0}{R_4}$$

Portanto,

$$\frac{V_0 - V_-}{R_5} = \frac{V_-}{R_4} \rightarrow V_0 = V_- \left( \frac{R_4 + R_5}{R_4} \right)$$

Substituindo os valores, teremos que a tensão de saída desse amplificador operacional, obtemos a seguinte função de transferência:

$$V_0 = A_0 \frac{(R_4 + R_5)R_6}{(R_1 + R_6)R_4} + A_1 \frac{(R_4 + R_5)R_6}{(R_2 + R_6)R_4} + A_2 \frac{(R_4 + R_5)R_6}{(R_3 + R_6)R_4}$$

Na resolução do amplificador operacional, ressalta-se que:  $V_-$  é a tensão na porta inversora,  $V_+$  é a tensão na porta não inversora,  $i_0$  é a corrente que passa pelo resistor de realimentação  $R_5$  e  $i_-$  é a corrente que flui pelo resistor  $R_4$ . Esses cálculos são aproximações para amplificadores operacionais ideais, onde a corrente de entrada é aproximada para zero, interpretando que as entradas dos pares diferenciais que os compõe possuem impedância aproximada de  $10^{12}\Omega$ .

Os sensores de efeito Hall foram simulados através de chaves, sendo assim circuitos chaveadores programados no próprio *software* para atuar como se os transdutores estivessem sendo atuados com intervalos de um segundo entre cada comutação. Tem-se a Tabela 2 e observando a comutação das chaves e a tensão nas saídas do codificador conforme a Figura 8.

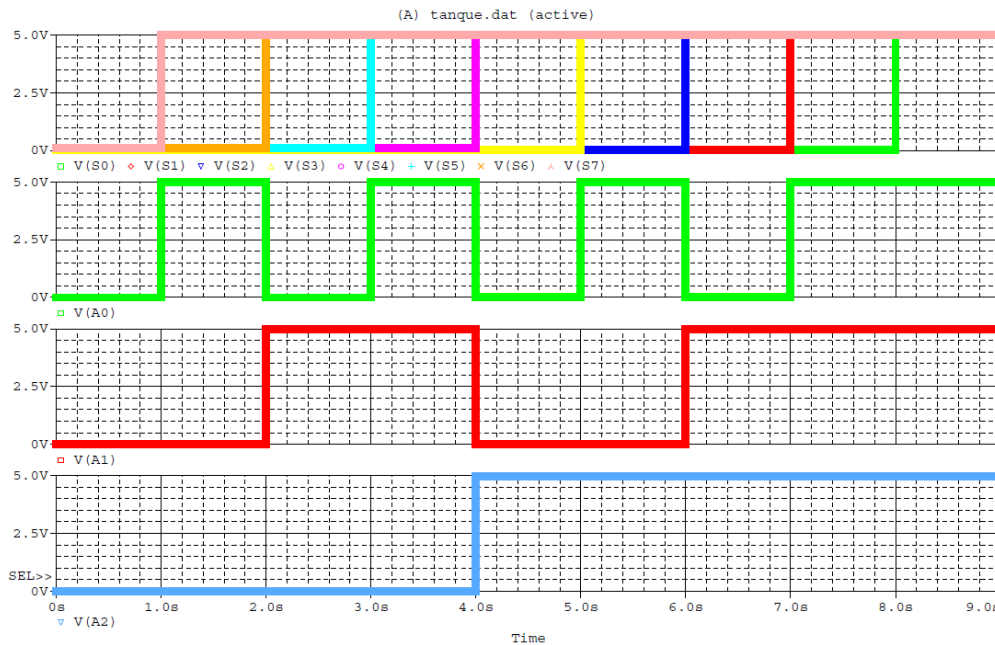
Tabela 2 – Tabela verdade conforme comutação das chaves.

Tempo (s)	Chaves	Cor	A2	A1	A0
1	S7	Salmão	0	0	1
2	S6	Laranja	0	1	0
3	S5	Ciano	0	1	1
4	S4	Magenta	1	0	0
5	S3	Amarelo	1	0	1
6	S2	Azul	1	1	0
7	S1	Vermelho	1	1	1
8	S0	Verde	1	1	1

Fonte: Autoria do próprio autor, 2018.

Na Figura 10, o gráfico superior indica a evolução das chaves ao longo do tempo. No gráfico abaixo, em cor verde, tem o desenvolver da tensão da saída A0 e assim por diante para os gráficos abaixo que indicam o nível lógico da saída A1, cor vermelha, e nível lógico da saída A2, cor azul.

Figura 10 – Atuação das chaves e o resultado do circuito integrado.

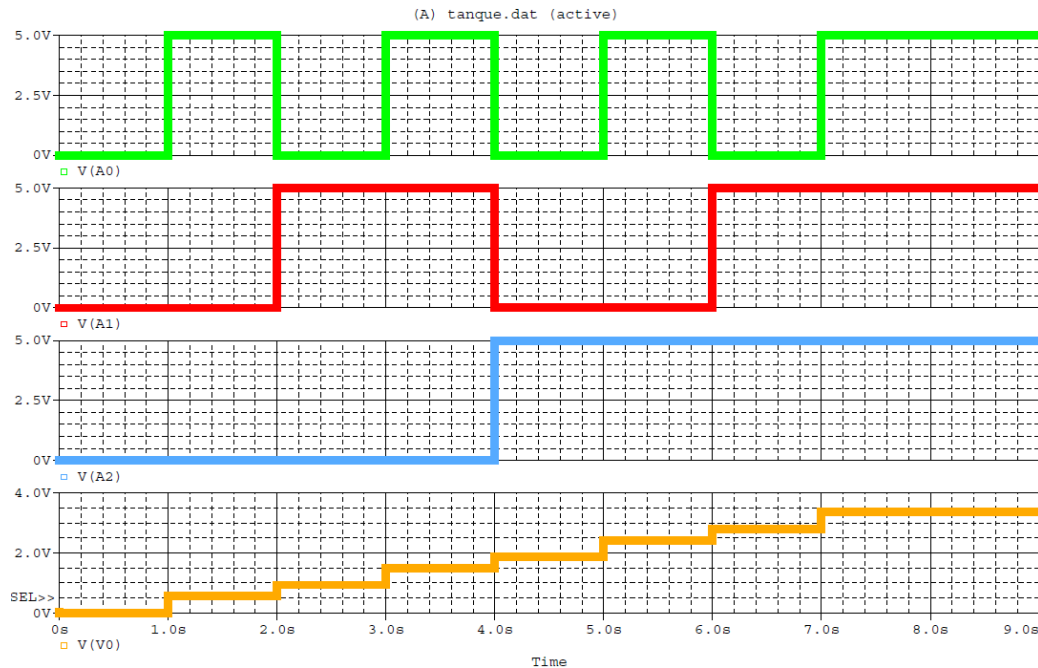


Fonte: Autoria do próprio autor, 2018.

A Figura 11 mostra o desenvolver da tensão de saída do amplificador operacional conforme a evolução das chaves. Porém, nesse gráfico temos a saída V0, tensão de saída do amplificador operacional, que atua como o DAC como discutido na seção 3.3. A soma ponderada das tensões de entrada na porta não inversora do amplificador operacional, vão escalonando conforme o decorrer da simulação. Cada evolução dos níveis de tensão acarreta um único valor de tensão na saída.

Na Figura 11 temos no gráfico superior a tensão da saída A0 do codificador, em verde, A1 em vermelho e A2 em azul. A cor laranja indica os valores de tensão da lógica diferencial proposta.

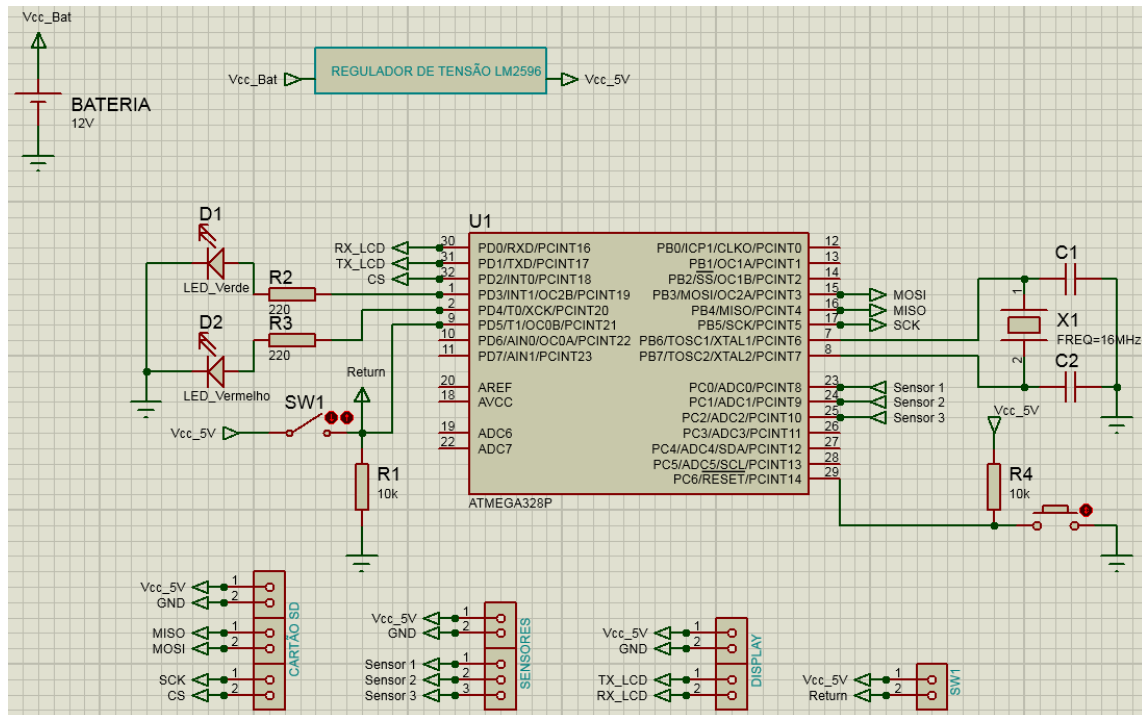
Figura 11 – Tensões de saída do codificador e amplificador operacional.



Fonte: Autoria do próprio autor, 2018.

Na Figura 12 observa-se o esquema elétrico embarcado no veículo Baja projetado no *software* Proteus 8.0. Esse esquema elétrico constitui: entrada de tensão da bateria, oriunda de uma bateria de LiPo de 2600mA e tensão de 11,4V, regulador de tensão chaveado tipo *buck* ou *step down*, controlando a tensão para 5V para alimentação dos sensores, micro controlador, cartão SD e *display*, passando então para o micro controlador, que possui três entradas digitais, duas configuradas como saída indicando falha ou sucesso na inserção do cartão SD, portas D3 e D4 respectivamente, e uma entrada digital para começar a gravação no cartão SD, porta D5. Quatro vias de comunicação para o cartão SD as quais são: MISO (Master In Slave Out), MOSI (Master Out Slave In), SCK (Serial Clock) e SS ou CS (Slave Select). Três entradas analógicas para os três sensores que compõem o sistema total de aquisição de dados do tanque de combustível e ocupam as entradas A0, A1 e A2. Comunica-se com o *display* através dos pinos RX1 e TX1.

Figura 12 – Diagrama esquemático do circuito micro controlado.



Fonte: Autoria do próprio autor, 2018.

Para conjecturar melhor a ideia de como será feita a leitura do tanque, dos artigos da SAE que regulamentam as notas de segurança do tanque de combustível, RBSB 7, foram aproveitados 3 furos extrusivos que contém no tanque de combustível para fixar os sensores, construiu-se a boia com geometria cilíndrica e travas em formato hexagonal para fazer com que os ímãs sempre ficassem apontando para os transdutores. Conforme a fabricante *Briggs and Stratton*, os modelos que competem às equipes utilizarem no veículo protótipo, o reservatório do tanque possui 0,8 galões, o que é aproximadamente 3 litros. Com as medidas do tanque com um paquímetro, conseguiu-se calcular o volume do reservatório contendo 3,315 litros, com erro de 9,5% de medida. Tal erro de medição acontece que o formato do tanque ser irregular e não haver um manual com informações sobre as medidas e espessura relacionadas ao tanque de combustível.

Na Tabela 3 consta o valor, em litros, para cada uma das medidas de combustível com a discretização de oito níveis. O algoritmo desenvolvido calcula a média das três leituras feitas ao decorrer do tempo. Como a construção do tanque de combustível não é cúbica e também dos troncos de cones dentro do tanque, o volume por discretização fica próximo de 0,413 litros.

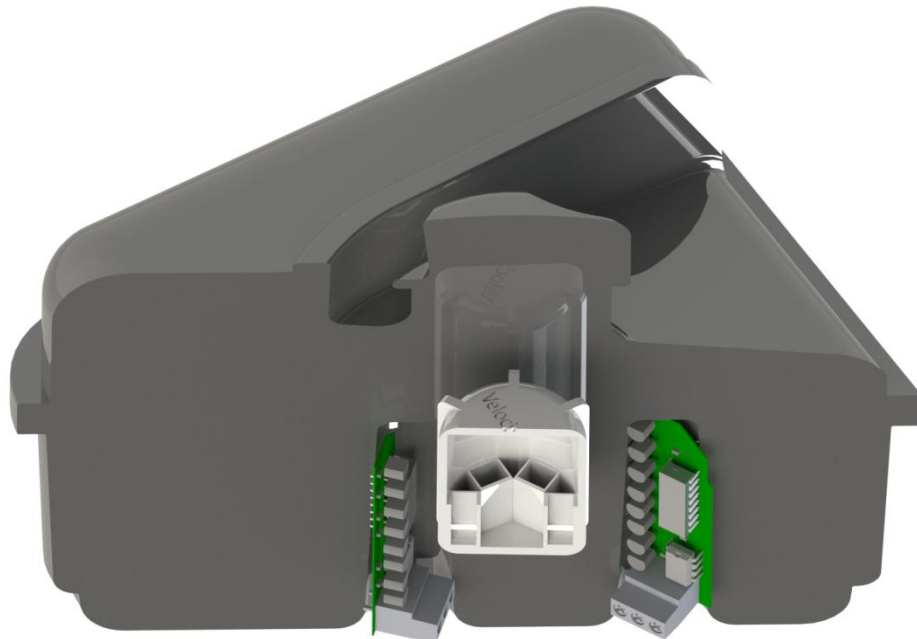
Tabela 3 – Volume por discretização do tanque de combustível.

Transdutores	Altura (mm)	Volume do Reservatório (l)
1	8,75	0,41333
2	17,5	0,82697
3	26,25	1,24091
4	35	1,65515
5	43,75	2,06969
6	52,5	2,48453
7	61,25	2,89966
8	70	3,31508

Fonte: Autoria do próprio autor, 2018.

Na Figura 13 temos o posicionamento dos sensores e do deslocamento da boia dentro do tanque. Conforme o volume de combustível diminui, a boia desliza sobre as canaletas do tanque, indicando a posição em que se encontra. Na seção 3.6 discutiu-se a densidade da boia, no capítulo seguinte serão discutido os valores de densidade encontrados para a gasolina e água torneiral utilizada nos experimentos, de forma a concluir que a boia é menos densa que ambos.

Figura 13 – Corte do tanque com enfoque na boia e posicionamento dos sensores.

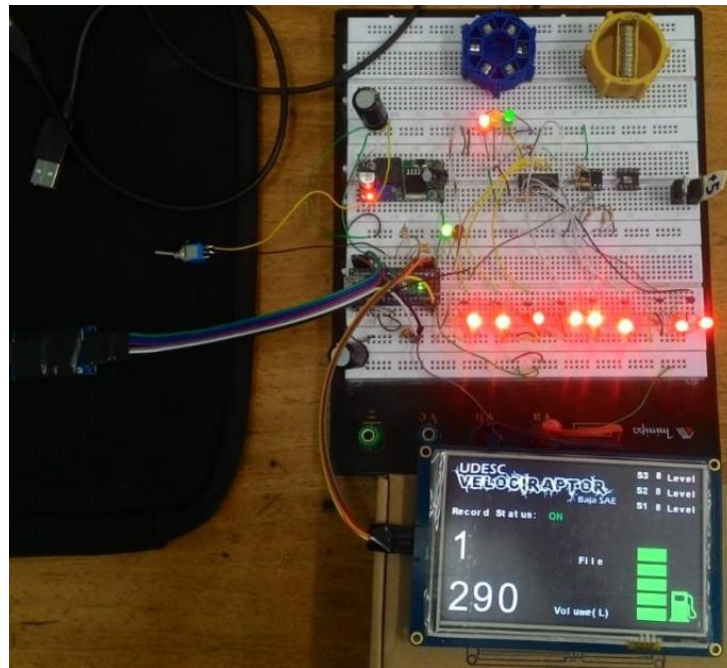


Fonte: Autoria do próprio autor, 2018.

#### 4 RESULTADOS DE BANCADA

Os testes de bancada foram realizados primeiramente em uma matriz de pontos para verificar se os circuitos eletrônicos, transdutores e algoritmos estavam funcionando como esperado. Na Figura 14 observamos os *leds* acionados indicando qual sensor está em funcionamento. Conforme discutido na seção 3.2, quando o elemento magnético do transdutor percebe o campo magnético do ímã, sua saída satura levando-o para nível lógico baixo.

Figura 14 – Testes iniciais em bancada com matriz de pontos.

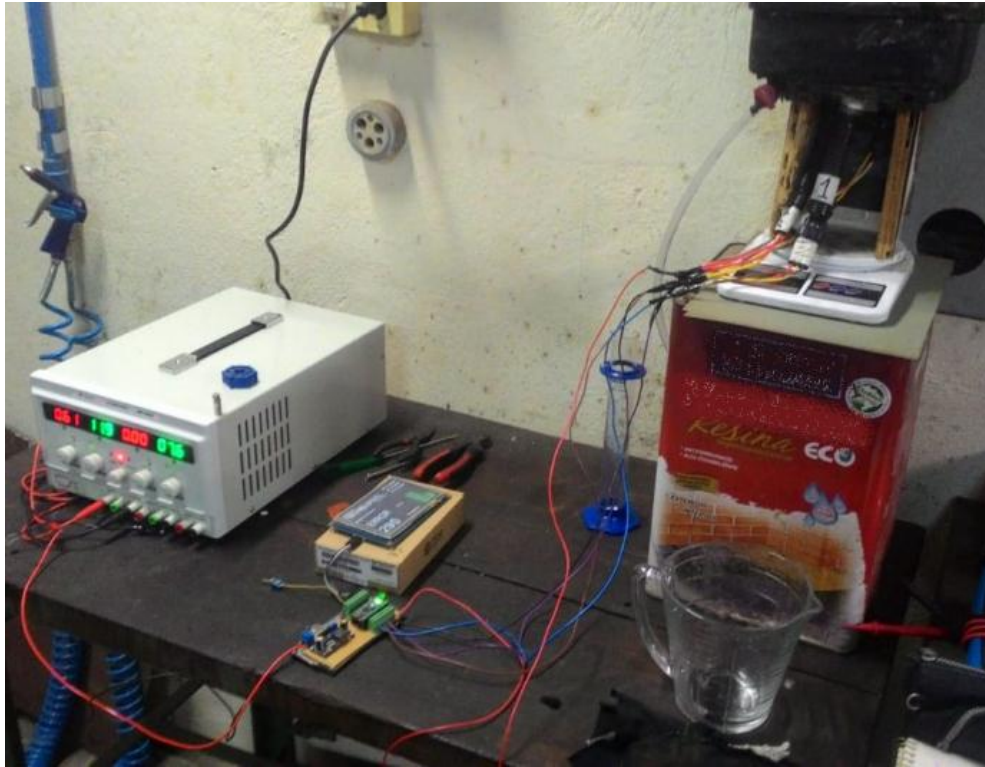


Fonte: Autoria do próprio autor, 2018.

Para os testes de bancada, Figura 15, utilizou-se uma fonte de tensão Minipa MPC-3005 com especificações: tensão variável de 0~30V/0~5A, Ripple de 1 mV e ruído 3 mArms. Balança digital com precisão de 1g e massa máxima de 5 kg da marca Jiamyu modelo NS-0692. Medir a massa do combustível é mais vantajoso do que retirar o líquido e mensurar a partir de uma jarra métrica ou uma proveta. Apesar de a proveta ter uma precisão de 100 ml, a densidade do combustível é menor do que água e com isso seu manuseio deve ser cuidadoso.

Como a massa da gasolina chega a ser 25% menor do que a água, seu manuseio torna-se perigoso. Em situações de colocar a gasolina no tanque ou de retirá-la, qualquer movimento faz com que a gasolina movimente-se de forma agressiva, isso dado por sua massa ser menor, logo, o movimento inercial da gasolina é menor, dificultando que ela entre em repouso. Contando também que, pela viscosidade da gasolina ser menor, ao depositar tanto no tanque como no *spiller* uma porção é perdida em decorrência da gasolina não ter uma tensão de superfície suficiente para sair da proveta ou do copo de medição sem escoar pela parede externa. Por essa razão, para evitar desperdícios, contato com o combustível e maior acurácia nos dados, utilizou-se da balança de precisão para saber a medida de volume, uma vez que se conhece a densidade da gasolina.

Figura 15 – Bancada de testes.



Fonte: Autoria do próprio autor, 2018.

Foram efetuados seis testes de medição de cada componente que compõe a bancada de testes. Para esses testes, mediu-se com a balança de precisão, seis vezes a massa de cada um dos instrumentos utilizados para obter maior precisão da massa retirada d'água do reservatório. Na Tabela 4, interpreta-se: Mboia, Msensor1, Msensor2, Msensor3, Msuporte, Mtanque, Mágua\_torn, Dgasolina e Dágua\_torn como massa da boia, massa dos sensores 1, 2 e 3, massa do suporte, massa do tanque, massa da água torneira, densidade da gasolina e densidade da água torneiral, respectivamente.

Tabela 4 – Tabela com as massas dos componentes de teste em bancada.

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
Mboia (g)	16	16	16	17	17	15
Msensor1 (g)	45	45	45	44	44	45
Msensor2 (g)	47	47	47	47	47	47
Msensor3 (g)	43	41	42	43	43	43
Msuporte (g)	218	220	215	217	218	219
Mtanque (g)	1540	1541	1540	1540	1541	1540
Mágua_torn (g)	4260	4269	4270	4255	4259	4258
Dgasolina (kg/m <sup>3</sup> )	740	730	730	740	740	740
Dágua_torn (kg/m <sup>3</sup> )	980	970	990	980	980	980

Fonte: Autoria do próprio autor, 2018.

Para conhecer como a balança se comportaria, a Tabela 5 indica a massa de água presente a cada 500 ml retirados.

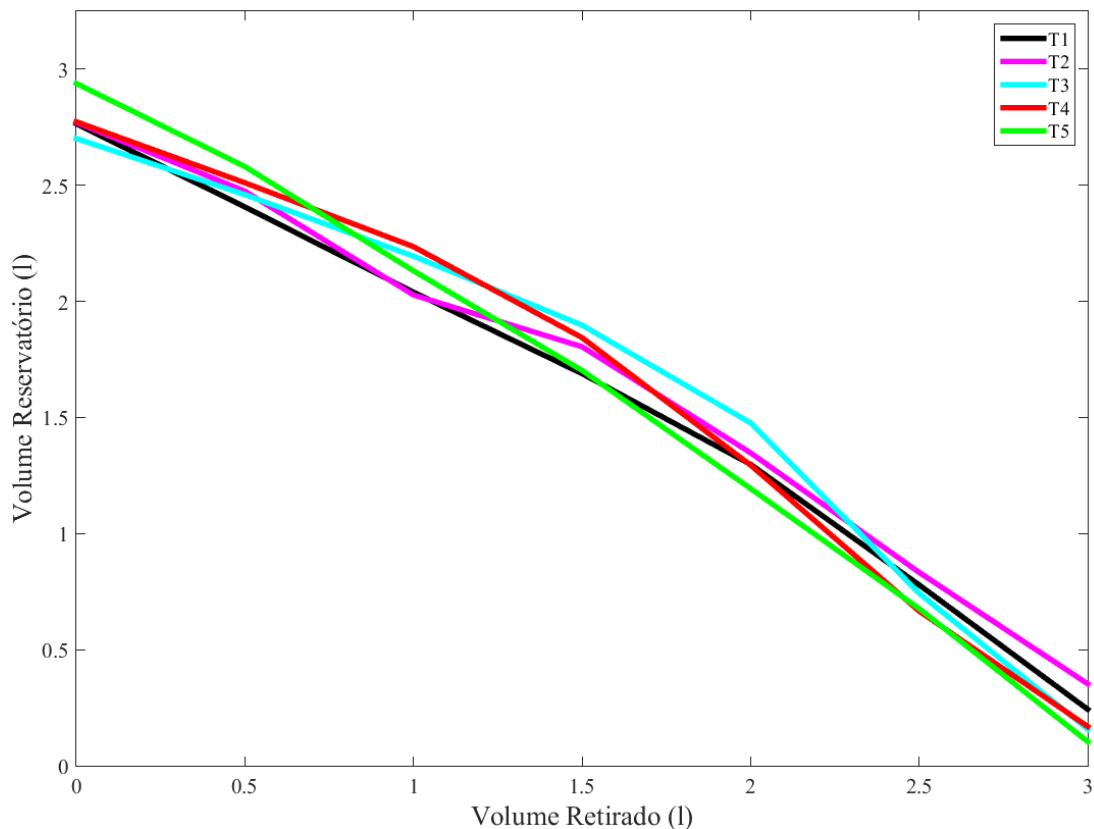
Tabela 5 – Volume e massa dos testes em bancada teste 1 até 5.

Volume (l)	T1 (g)	T2 (g)	T3 (g)	T4 (g)	T5 (g)
0	4593	4599	4532	4602	4762
0.5	4246	4312	4297	4347	4415
1.0	3890	3878	4040	4080	3979
1.5	3549	3662	3752	3700	3563
2.0	3170	3219	3344	3167	3069
2.5	2667	2719	2632	2557	2568
3.0	2147	2253	2064	2075	2012

Fonte: Autoria do próprio autor, 2018.

A Figura 16 indica o decaimento do volume conforme a massa da água retirada do reservatório. A balança encontra-se estável para a medição e não apresenta nenhuma deformidade em suas medições.

Figura 16 – Gráfico da massa d'água em relação ao volume.



Fonte: Autoria do próprio autor, 2018.

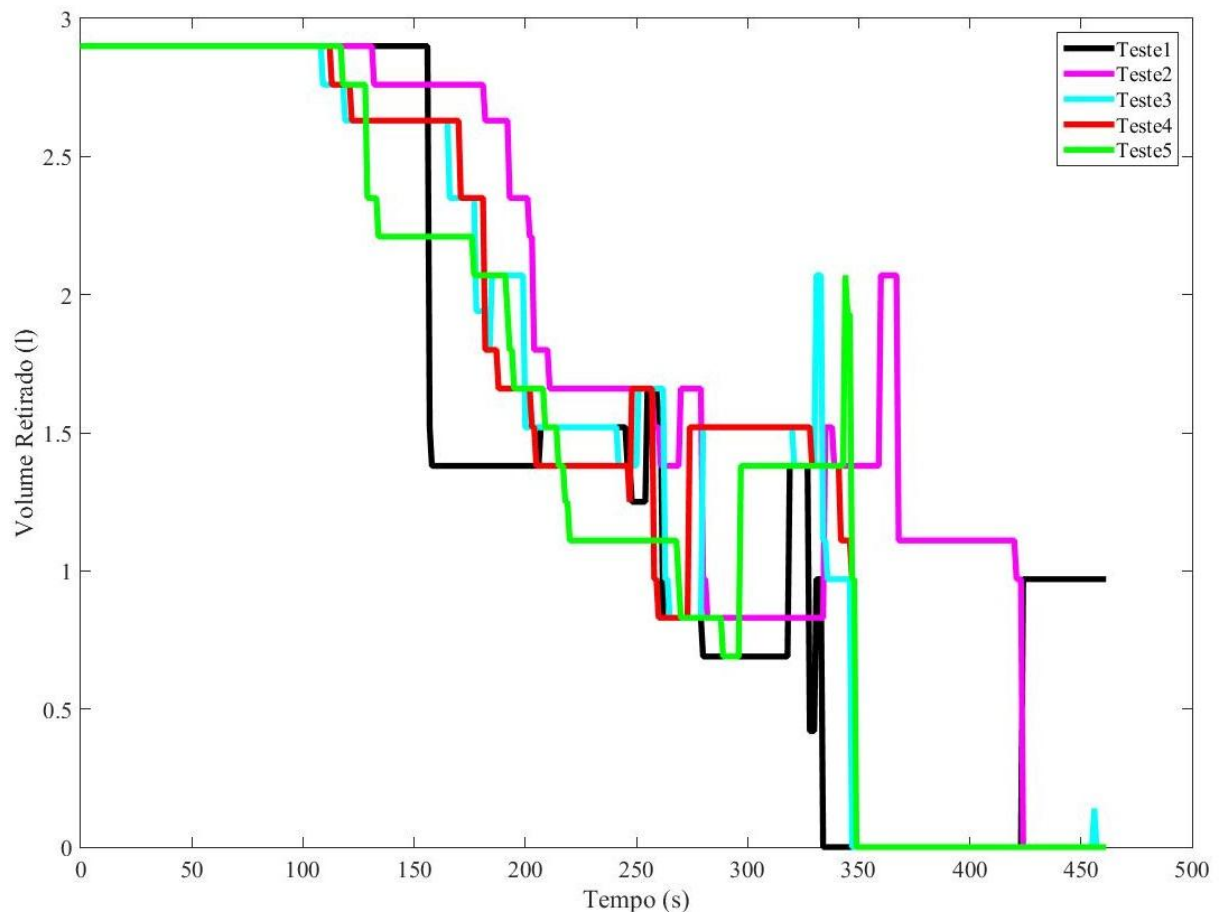
Na Figura 17 temos a medição na bancada de testes agora para os valores obtidos pelo micro controlador. O algoritmo proposto tira uma média entre as medições de cada sensor conforme apresentado na Tabela 3. Assim, o volume do tanque decrementa conforme o passar do tempo. Nessa figura, o teste foi realizado utilizando a proveta com capacidade de 100 ml.

A cada 500 ml retirados, depositava-se a água retirada no galão para reaproveitamento dos testes por vir.

Das curvas apresentadas na Figura 17, descreve o comportamento da curva de cor preta que possui uma queda diferenciada das demais curvas. A curva em questão apresentou um travamento na boia enquanto o experimento decorria. Foi constatado que após da metade do conteúdo do reservatório retirado, o volume do tanque permanecia em 2,90 litros e com isso, foi necessário ajustar a boia dentro do tanque, pois a mesma encontrava-se mal posicionada no começo do teste. Esse erro é ocasionado devido a boia encontrar-se parcialmente fora do tanque quando preenche-se o reservatório com aproximadamente 3 litros d'água. Com isso, a boia acaba ficando presa pelos troncos de cone encontrados no seu interior. Nos demais testes, constatou-se que a boia não ficou presa no começo do experimento.

Com as curvas amostras na Figura 17, o tempo de amostragem do sinal é de 500 ms e utilizou-se a média dos valores de cada um dos sensores como forma de filtragem do sinal.

Figura 17 – Comportamento do volume micro controlado.



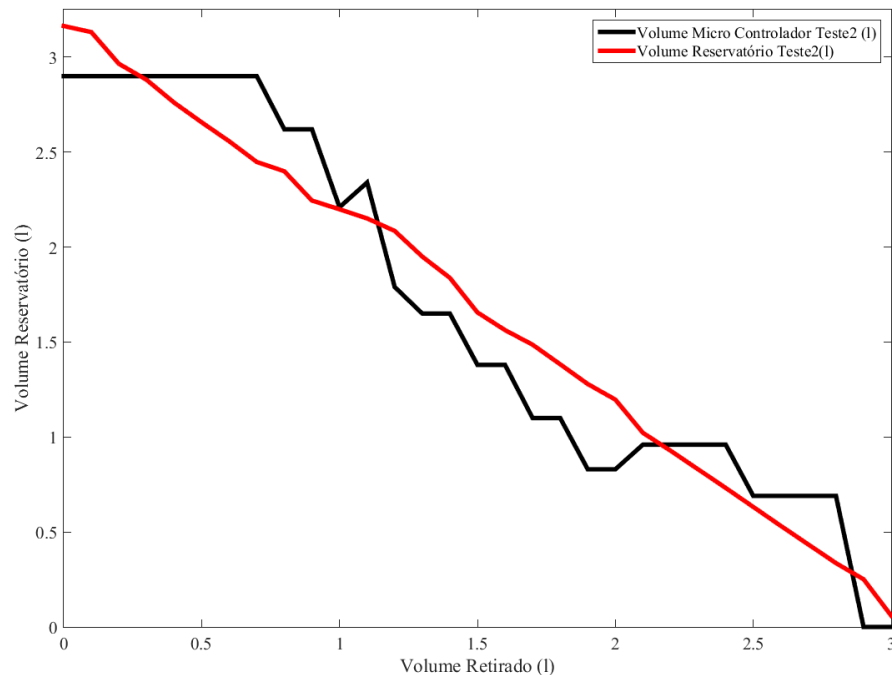
Fonte: Autoria do próprio autor, 2018.

O comportamento da Figura 17 foi crucial para a alocação dos sensores no tanque de combustível, pois, percebe-se que ao decorrer do experimento, o volume de combustível apresenta picos inesperados para a variação do volume no tanque. A razão desse evento é

ocasionada do mal posicionamento dos sensores dentro dos troncos de cone do tanque de combustível. Ao posicionar os sensores no exterior do tanque de combustível, é necessário certificar que todos os sensores estão devidamente posicionados a apontando para o centro do tanque, caso isso ocorra, o volume de combustível acaba apresentando esses picos.

Para os testes em bancada, conforme mostrados nas Figuras 18 e 19, o volume de combustível segue a linha de tendência da queda de combustível. Os testes foram feitos medindo o volume e a massa no reservatório com pausas a cada 100 ml retirados e medidos na proveta.

Figura 18 – Volume de combustível mensurado em relação ao volume real.



Fonte: A autoria do próprio autor, 2018.

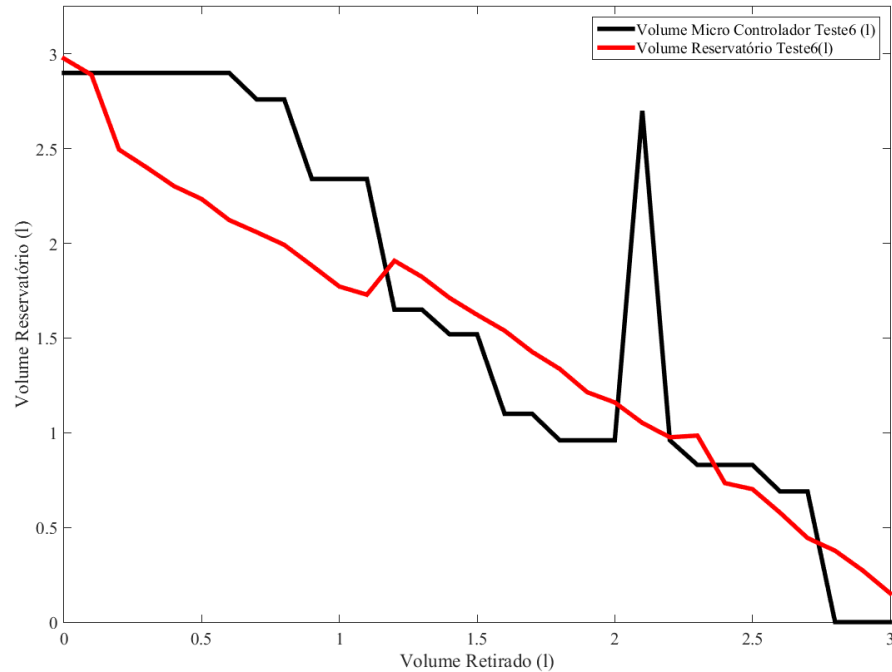
Os prováveis erros de medição podem ser: quando o tanque recebe combustível e está em sua capacidade máxima, a boia pode ficar travada na parte superior e não entrando no encaixe previsto, com isso, é necessária uma pequena acomodação na boia para que ela esteja nas paredes dos transdutores. Outra fonte de erro é enquanto a boia desce, alguma perturbação na bancada de trabalho pode acarretar em uma oscilação não desejada no líquido e assim mostrar no *display* um valor impreciso.

O erro nas medições das Figuras 18 e 19 variam entre 3% e 20%, dependendo para qual situação está se analisando. Há sensores também que, devido ao posicionamento e o espaço em que se localizam, não são sentidos pelo transdutor. Com isso, alguns transdutores não percebem a movimentação da boia e acarretam em uma medição errônea.

Na Figura 19 pode-se observar um pico entre as medições entre 2 e 2,5 l retirados do reservatório, essa falha é dada em decorrência da posição da boia estar posicionada em um local onde os sensores não percebem os ímãs. Tal erro ocorre devido à movimentação da boia dentro do tanque, uma vez que enquanto o circuito integrado 74LS148 não sente nenhum ímã,

sua saída vai para o primeiro estágio, logo, nessa ocasião, dois dos sensores não estavam percebendo a boia e somente um estava medindo o nível, portanto um pico indesejável aparece.

Figura 19 – Nível de combustível micro controlado em relação ao volume real.



Fonte: A autoria do próprio autor, 2018.

#### 4.1 TESTES NO VEÍCULO

Ao decorrer deste trabalho, foram realizados três testes com o protótipo em movimento.

Os dois primeiros testes, chamados testes piloto, foram necessários para ter um conhecimento prévio do comportamento dos sensores e da boia enquanto o veículo encontrava-se em movimento.

Foram detectadas falhas na fixação dos sensores, nas conexões feitas entre chicote e sensor e alteração no volume da boia.

As falhas de fixação foram ocasionadas devido a dois fatores: pavimento em que o veículo encontrava-se em movimento e vibração natural do veículo. Para resolver tal problema, adequou-se ao redor das buchas, anteparo que serve como apoio para os sensores e também como tampa para isolamento mecânica de água e lama, uma fita transparente de dupla fixação com intuito de que o material que contém a fita servisse como amortecedor da vibração indesejada do terreno e do próprio veículo. Sem êxito com a fita dupla face o problema persistia. Porém, ao utilizar vida veda rosca de 18 mm nas buchas, o problema foi resolvido. Em relação à fita dupla face, com a utilização da fita vida veda rosca, a fixação dos sensores suportou toda a etapa de testes.

Sobre as conexões do chicote aos sensores, foi detectado que, também com a vibração do veículo em movimento, as conexões do chicote eram feitas diretamente nas placas de circuito impresso dos sensores, fazendo assim que houvesse um desgaste mecânico nas soldas existentes. Com esse problema, foi necessário refazer o projeto da placa de circuito impresso, adicionando um borne para fixação. Entretanto, com a adição do borne, material elétrico que fixa cabos a partir de uma prensa rosqueável, o circuito de medição ficou 15 mm maior e também foi necessária uma adaptação para fixar os novos sensores nas paredes externas do tanque de combustível.

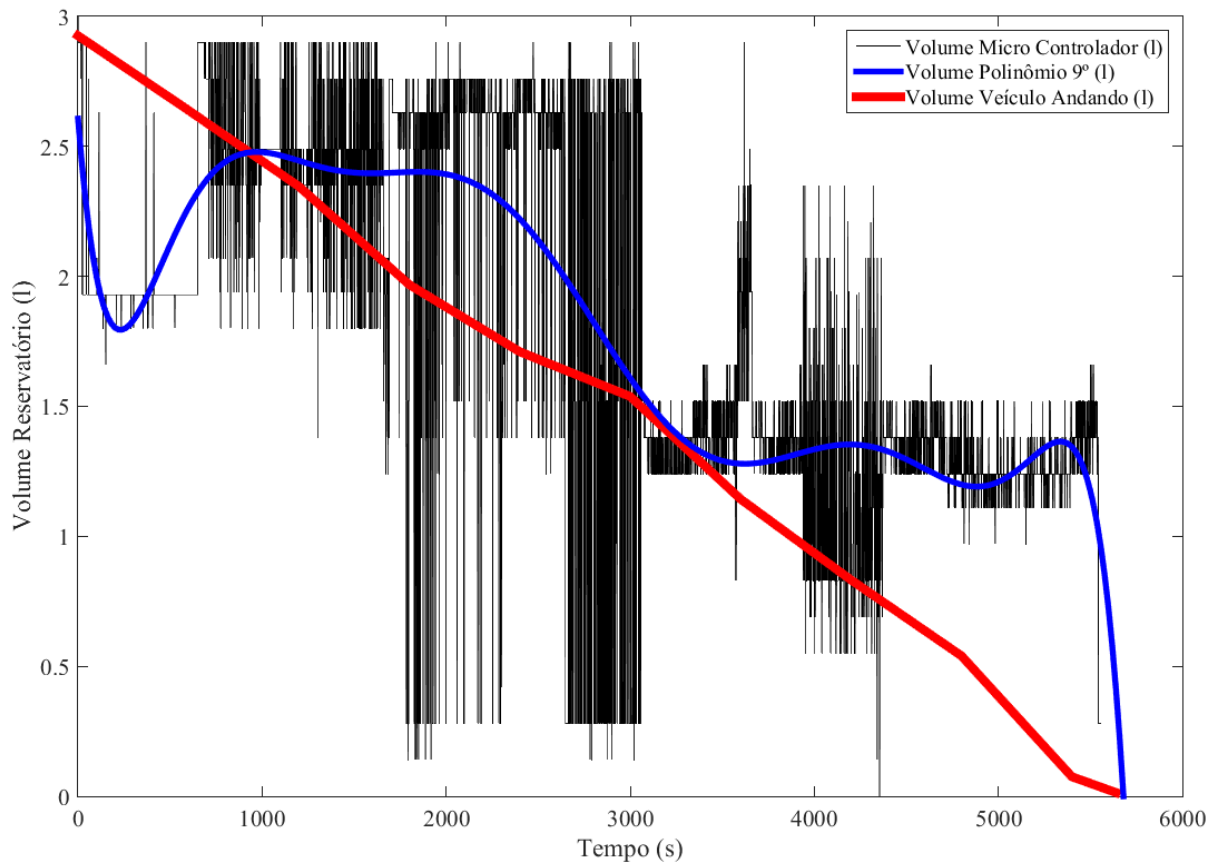
Com relação à boia e sua alteração de volume, foi constatado que ao final do primeiro teste piloto empregado o volume da boia havia aumentado. A possível razão do volume da boia ter aumentado dá-se que em contato com o combustível, o material acaba absorvendo parte do combustível e em uma reação química, ocorre sua expansão. Não se sabe ao certo se a expansão da boia é dada pelo combustível ou por outros compostos que compõem o combustível tais como álcool ou antidetonantes presentes no combustível. A expansão do volume da boia acarreta em rachaduras e em inundação do combustível no interior da boia, portanto, os ímãs que ficam fixos dentro da boia com super cola de cianoacrilato, acabam reagindo e se desprendendo das paredes da boia, fazendo assim com que não exista mais a geometria radial necessária para que todos os três sensores sintam a presença da boia ao decorrer do teste.

Para reparar o problema da expansão da boia, foi pesquisado a utilização de tintas com propriedades de proteção contra gasolina. Entretanto, durante a etapa dessa pesquisa, foi constatado que a viscosidade do material empregado em tanques de combustível de motocicletas apresentava uma característica densa e de alta viscosidade, acabou-se não optando por essa opção, pois, caso a densidade da boia torne-se maior que a do combustível, a mesma não flutuaria dentro do tanque. Outra razão também de não utilizar as tintas pesquisadas foram que difícil acesso na cidade em que os testes foram realizados e também do elevado preço para aquisição.

A solução proposta para resolver o problema da boia foi quando se utilizou fita veda rosca como proteção mecânica da boia. Envolvendo a boia com fita veda rosca detectou-se que a fita cria uma camada que dificulta a absorção do combustível pela boia, fazendo assim que a boia permanecesse flutuando durante os testes.

Na Figura 20 observa-se o terceiro teste que tem intenção de obter o comportamento do sistema de medição proposto. O teste teve duração aproximada de noventa e três minutos, sendo que o protótipo fazia o mesmo percurso e paradas a cada dez minutos para averiguar o peso do tanque de combustível. Com isso, a partir da análise da Figura 18, não foi possível averiguar com precisão o volume de combustível com o protótipo em andamento, a possível causa para falha é do comportamento do combustível no reservatório, fazendo com que a boia se desloque demasiadamente e com isso não seja possível retirar os dados do volume com exatidão.

Figura 20 – Volume no veículo em movimento.



Fonte: Autoria do próprio autor, 2018.

Contudo, na Figura 20 implementamos uma linha de tendência para aproximar o volume de combustível no veículo em andamento com o volume de combustível mensurado pelo micro controlador. A linha de tendência proposta, representada por um polinômio de nona ordem, apresenta um comportamento abaixo do esperado para valores de tempo abaixo de 1000 segundos. Entre os tempos de 1000 e 4000 segundos, a curva tem tendência do decréscimo do volume de combustível e já para os valores de tempo acima de 4000 a curva não acompanha o decréscimo do volume conforme o tempo evolui.

## 6 DISCUSSÕES E CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho em desenvolver um sistema de medição, com precisão, do volume de combustível no veículo em que se encontra em movimento foi desenvolvido tanto em bancada como em testes com o veículo em movimento. As soluções já existentes de equipes que competem com a equipe Velociraptor circundam outros métodos de aquisição do volume de combustível, onde as equipes utilizam sensores capacitivos para indicar nível crítico de combustível e outras equipes que utilizam sensores piezoelétricos para determinar o peso exercido do combustível pelo transdutor. Poucas equipes comentam os resultados do nível de combustível enquanto o veículo se encontra em movimento.

Através da revisão bibliográfica observaram-se os principais meios e métodos de sensoriamento de uma forma geral. Como o objetivo desse trabalho é adquirir o volume do reservatório do veículo Baja e o qual também carece de informações na literatura sobre equipes ou estudantes que também o fazem, a proposta presente fica incumbida de satisfazer as normas de segurança impostas pela SAE assim como medir, com precisão o volume contido no reservatório enquanto o protótipo encontra-se em movimento.

Quando discutido em reunião o método de aquisição do volume, um intenso estudo feito na programação do micro controlador, que está presente no apêndice A, e sua forma de amostragem ao piloto. Nesse trabalho, optou-se por dispor todas as características ao piloto, pois em conversas durante os testes era possível saber se havia variação dos níveis conforme o veículo andava sem a necessidade de retirar o cartão SD e averiguar a cada volta.

Com a evolução do trabalho, os resultados dos testes propostos em bancada apresentam uma solução viável para mensurar a quantidade de volume no reservatório, contando que para tais testes, todo o sistema permanece em repouso, é possível ter o volume de combustível com certa exatidão.

Ao instalar o sistema proposto no protótipo, devido às oscilações do veículo com o terreno, a própria oscilação natural e a reação química entre boia e combustível, acabam tornando inviável sua utilização. Com isso, a solução proposta neste trabalho não é viável para adquirir com precisão o volume de combustível enquanto o veículo encontra-se em movimento. As hipóteses levantadas no trabalho em relação a instalação da boia feita de PLA mostram-se insatisfatórias para um adquirir o volume de combustível conforme o objetivo geral deste trabalho.

Como trabalhos futuros, há bastante o que ser feito em relação à boia empregada. Estudar um novo material que tenha propriedades que não reaja com o combustível, uma possível solução poderia ser o emprego de boias feitas de alumínio, porém sua confecção acaba sendo mais complexa do que a impressão em impressora 3D utilizada nesse trabalho. Além disso, o emprego de outros transdutores de efeito *Hall*, que possuam uma maior sensibilidade dos campos magnéticos dos ímãs pode fazer com que a boia se torne mais leve e possa ser utilizável tintas impermeabilizantes.

## REFERÊNCIAS

Actuation for Mobile Micro-Robots. **Archives**. Disponível em: <<https://archives.ece.ncsu.edu/erl/microrobotics/actuation/actuation.html>>. Acesso em: 16 out. 2017.

Allegro Microsystems, Inc. **Elecrow**. Disponível em: <<https://www.elecrow.com/download/A3141-2-3-4-Datasheet.pdf>> Acesso em: 15 out. 2017.

Avaliações e Pontuações. **SAE Brasil**. Disponível em: <http://portal.saebrasil.org.br/Portals/0/PE/RBSB%202017/RBSB%209%20-%20Avaliacoes%20e%20Pontuacao%20-%20Emenda%205.pdf>. Acesso em: 28 out. 2017.

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner J.. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas – Volume 2**. 2. ed. LTC, 2011.

CALASSO, Daniel F. **Simulador do Marcador de Combustível Automotivo**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva. São Paulo. 2009. Acesso em: 25 maio 2018.

Da sala de aula para a lama. A história da equipe Velociraptor Udesc. **Flatout**. Disponível em: <<https://www.flatout.com.br/da-sala-de-aula-para-a-lama-a-historia-da-equipe-baja-velociraptor-udesc/>>. Acesso em 30 maio 2018.

DIAS, Jullierme E. A. Eletrônica, Instrumentação e Telemetria do veículo UFVBAJA. Universidade Federal de Viçosa. 2010.

Engine Mechanics – Fuel Gages. **Tpub**. Disponível em: <<http://www.tpub.com/basae/57.htm>>. Acesso em 20 maio 2018.

Existe algum sensor indutivo em encapsulamento de transistor como os sensores de efeito Hall?. **Laboratório de Garagem**. Disponível em <<http://labdegaragem.com/forum/topics/duvida-existe-algum-sensor-indutivo-em-encapsulamento-de>>. Acesso em: 10 out. 2017.

Folha de especificação do circuito integrado AD7524. **Analog Devices**. Disponível em: <<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7524.pdf>>. Acesso em 25 maio 2018.

Folha de especificação do circuito integrado DAC0800. **Texas Instruments**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/dac0800.pdf>>. Acesso em 25 maio 2018.

Folha de especificação do circuito integrado DAC0808. **Texas Instruments**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/dac0808.pdf>>. Acesso em 25 maio 2018.

Folha de especificação do circuito integrado MC1408. **ON Semiconductor**. Disponível em: <<https://4donline.ih.com/images/VipMasterIC/IC/ONSM/ONSMS11986/ONSMS11986-1.pdf?hkey=EF798316E3902B6ED9A73243A3159BB0>>. Acesso em 25 maio 2018.

Folha de especificação do *display* NEXTION NC8048T050. **ITEAD**. Disponível em: <<https://www.itead.cc/nextion-nx8048t050.html>>. Acesso em 25 maio 2018.

Manual Técnico. **Principles of Automotive Vehicles**. Departamento do Exército. Washington, DC, EUA. 25 de out. 1985. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=OP0XAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 15 maio 2018.

MELO, Mairton de O. **Eletrônica Digital. Teoria e Laboratório**. Apostila da cadeira de eletrônica digital da UDESC.

NUNES, Tomaz F. **Telemetria de um veículo Baja SAE através de rede CAN**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN. 2016. Acesso em: 28 out. 2017.

O que é o mini Baja? **Universidade Federal de Juiz de Fora**. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/baja/2010/11/03/o-que-e-o-mini-baja-sae/>>. Acesso em 30 maio 2018.

Optocoupler, Phototransistor Output with base conection. **Vishay**. Disponível em: <<http://www.vishay.com/docs/81864/4n25x000.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2017.

Requisitos Gerais do Veículo – Capítulo 5. **SAE Brasil**. Disponível em: <http://portal.saebrasil.org.br/Portals/0/PE/RBSB%202017/RBSB%205%20-%20Requisitos%20Gerais%20do%20Veiculo%20-%20Emenda%204.%20ver02.pdf>. Acesso em 28 out. 2017.

Requisitos Mínimos de Segurança – Capítulo 7. **SAE Brasil**. Disponível em: <<http://portal.saebrasil.org.br/Portals/0/PE/RBSB%202017/RBSB%207%20-%20Requisitos%20Minimos%20de%20Seguranca%20-%20Emenda%206.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2017.

## APÊNDICE A – ALGORITMO DO MICRO CONTROLADOR

```

/*
* Código para leitura do nível de combustível do veículo protótipo Velociraptor Baja
* Programação feita para Tese de Conclusão de Curso em Bacharelado em Engenharia
Elétrica
* Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) - Joinville/SC - 2018/1
* Graduando: Guilherme Francisco Comassetto
*/

/*
* A biblioteca do Display Nextion vem como default para aplicação em micro controladores
que possuem mais de uma porta de comunicação serial
* Para esse caso, utilizamos o micro controlador ATmega328P o qual possui somente uma
porta serial. Para tal, deve-se seguir as instruções no site:
* https://www.itead.cc/blog/nextion-tutorial-based-on-nextion-arduino-library
* Para funcionar o Display Nextion deve-se seguir os seguintes passos:
* Fazer o download dos arquivos do Display Nextion no site: https://nextion.itead.cc/;
* Diretório (Pasta) em que está instalado o software Arduino (exemplo: C:\Arduino);
* Ir na pasta libraries e extrair as bibliotecas do Nextion;
* Abrir a pasta ITEADLIB_Arduino_Nextion-master;
* Selecionar o arquivo NexConfig, clicar no botão direito e selecionar Abrir com: Notepad
(arquivo de notas);
* Alterar duas linhas de programação, as quais são:
* /**
* Define DEBUG_SERIAL_ENABLE to enable debug serial.
* Comment it to disable debug serial.
* #define DEBUG_SERIAL_ENABLE
* Para: #define DEBUG_SERIAL_DISABLE
* E também:
* /**
* Define nexSerial for communicate with Nextion touch panel.
* #define nexSerial Serial 2
* Para: #define nexSerial Serial
*/

/* Pinos do Display Nextion
* 5V ----- 5V Arduino
* GND ----- GND Arduino
* TX ----- RX2 Arduino Nano - Porta TX1
* RX ----- TX2 Arduino Nano - Porta RX0
*/

#include <NexConfig.h>
#include <NexHardware.h>
#include <NexNumber.h>
#include <NexObject.h>
#include <NexPage.h>
#include <NexPicture.h>
#include <NexText.h>

```

```

#include <Nextion.h>

//Variáveis do programa
int lvl_fueltank00 = 0;//Indicador qual sensor está atuando S1
int lvl_fueltank01 = 0;//Indicador qual sensor está atuando S2
int lvl_fueltank02 = 0;//Indicador qual sensor está atuando S3
int led_fail_sd = 4;//Led vermelho indicando cartão SD não inserido
int led_sucess_sd = 3;//Led verde indicando cartão SD inserido
int analog00 = 0;//Porta Analógica A0
int analog01 = 1;//Porta Analógica A1
int analog02 = 2;//Porta Analógica A2
int flag_fail_SD = 0;//Variável para escrever no display ERROR em caso negativo do cartão SD
int counter = 0;//Variável para leitura dos arquivos do cartão SD
int switch_writeSD = 5;//Variavel do botão de gravação do cartão SD
int flag_createfile = 0;//Variável flag para habilitar gravação no cartão SD
unsigned long previous_Millis = 0;//Variável para gravar os dados no cartão SD em determinado tempo
float volume_S1 = 0, volume_S2 = 0, volume_S3 = 0, med_lvl = 0; //Variáveis para medir o volume e nível atual dos sensores
//Fim das variáveis do programa

//Variáveis Nextion
uint32_t fVolume = 0;//Variável volume do tanque
uint32_t fVolumeunit = 0;//Variável volume do tanque
uint32_t fVolumedcm = 0;//Variável volume do tanque
uint32_t fNumberSDFile = 0;//Variável valor do arquivo criado no cartão SD
uint32_t fgetSensorLvl = 0;//Variável do sensor lido no instante
uint32_t fTanque00 = 0;//Variável da conversão adc sensor 1
uint32_t fTanque01 = 0;//Variável da conversão adc sensor 2
uint32_t fTanque02 = 0;//Variável da conversão adc sensor 3
uint32_t fSensorLvl1 = 0;//Variável indicador do sensor atual S1
uint32_t fSensorLvl2 = 0;//Variável indicador do sensor atual S2
uint32_t fSensorLvl3 = 0;//Variável indicador do sensor atual S3
uint32_t number_p1 = 5;// Nível combustível 1
uint32_t number_p2 = 4; // Nível combustível 2
uint32_t number_p3 = 3; // Nível combustível 3
uint32_t number_p4 = 2; // Nível combustível 4
uint32_t number_p5 = 1; // Nível combustível 5
uint32_t number_p6 = 6; // Erro cartão SD
uint32_t number_p7 = 7; // Record Status: ON
uint32_t number_p8 = 8; // Record Status: OFF
//Fim das variáveis Nextion

//Variáveis Cartão SD
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#define CS 10//Pino CS do arduino Nano
File myFile;
File root;

```

```

//Fim das variáveis Cartão SD

//Variáveis para criar arquivo .txt
String fileName = String();
String message = String();
unsigned int filenumber = 0;
//Fim variáveis para criar arquivo .txt

//Variáveis do display Nextion
/*
 * Definição
 *objeto[page:0, id:1, objname: "bt0"].
 */
NexPage page0 = NexPage(0,0,"page0");

NexPicture p0 = NexPicture(0,1,"p0");//Fundo preto e logo Velociraptor
NexPicture p1 = NexPicture(0,6,"p1");//Tanque 5 barras
NexPicture p2 = NexPicture(0,7,"p2");//Tanque 4 barras
NexPicture p3 = NexPicture(0,8,"p3");//Tanque 3 barras
NexPicture p4 = NexPicture(0,9,"p4");//Tanque 2 barras
NexPicture p5 = NexPicture(0,10,"p5");//Tanque 1 barra
NexPicture p6 = NexPicture(0,13,"p6");//Erro cartão SD
NexPicture p7 = NexPicture(0,24,"p7");//Record Status: ON
NexPicture p8 = NexPicture(0,25,"p8");//Record Status: OFF

NexNumber n0 = NexNumber(0,2,"n0");//Número volume
NexNumber n1 = NexNumber(0,3,"n1");//Número arquivo no cartão SD
NexNumber n2 = NexNumber(0,11,"n2");//Número nível sensor 1
NexNumber n3 = NexNumber(0,14,"n3");//Número nível sensor 2
NexNumber n4 = NexNumber(0,17,"n4");//Número nível sensor 3
NexNumber n5 = NexNumber(0,22,"n5");//Número para mostrar os décimos, centésimos e
milésimos

/*
 * NexText t = NexText(0,4,"t0");//Volume(L)
 * NexText t = NexText(0,5,"t1");//SD File
 * NexText t = NexText(0,7,"t2");//Level S1
 * NexText t = NexText(0,15,"t3");//Level S2
 * NexText t = NexText(0,16,"t4");//Level S3
 * NexText t = NexText(0,18,"t5");//Sensor S3
 * NexText t = NexText(0,19,"t6");//Sensor S2
 * NexText t = NexText(0,20,"t7");//Sensor S1
 * NexText t = NexText(0,21,"t8");//Vírgula Volume
 * NexText t = NexText(0,23,"t9");//Record Status
 */

NexTouch *nex_listen_list[] = { //Desabilita a função Touch Screen do display Nextion
  NULL
};
//Fim das variáveis do display Nextion

```

```

void setup(void){
  nexInit();//Inicializa configuração do display;
  page0.show();//Inicializa a pagina zero, a qual contém as variáveis desejadas

  Serial.begin(9600);//Inicializa a serial para comunicação com o cartão SD
  //Inicializando SD card
  pinMode(CS, OUTPUT); //Inicializando pino CS como output

  pinMode(switch_writeSD, INPUT);
  pinMode(led_fail_sd, OUTPUT);
  pinMode(led_sucess_sd, OUTPUT);

  if (!SD.begin(CS)){ //Cartão SD não reconhecido
    flag_fail_SD = 1;//Flag para mostrar no display se o cartão SD está conectado
    digitalWrite(led_fail_sd, HIGH);//Led indicador de falha de inserção do cartão SD
    digitalWrite(led_sucess_sd, LOW);//Led indicador de sucesso de inserção do cartão SD
    return;
  }
  //Cartão SD reconhecido
  digitalWrite(led_fail_sd, LOW);
  digitalWrite(led_sucess_sd, HIGH);

  //Verificação dos arquivos no cartão SD
  root = SD.open("");//Acesso do cartão SD
  Verify_SD_Files(root);//Função para verificar quantos arquivos há no cartão SD
  /*
   * A função Verify_SD_Files() lê os arquivos existentes no cartão SD e cria um arquivo
   posterior ao último gravado.
   * Conforme os testes serão efetuados em campo aberto e não haverá computadores para
   descarregar o cartão SD.
   */
  delay(50);
}

void Verify_SD_Files(File dir){
  while (true){//Enquanto haver arquivos dentro do cartão SD
    File entry = dir.openNextFile();//Abre o diretório do cartão SD
    if(! entry){
      break;//Verifica o arquivo criado e sai da função
    }
    counter++;//Incremento da quantidade de arquivos detectados no cartão SD
  }
  filenumber = counter;//Grava em filenumber o valor do próximo número que o arquivo deve
  ter
}

void Create_File(){ //Derivado do código encontrando em:
http://forum.arduino.cc/index.php?topic=57460.0
  fileName = "file_";//

```

```

fileName += filenumber;//
fileName += ".txt";//
message = fileName;
char charFileName[fileName.length() + 1];
fileName.toCharArray(charFileName, sizeof(charFileName));
if (SD.exists(fileName)){
  message += " exists.";
}
else{
  myFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE);
  message += " created.";
  myFile.close();
}
Serial.println(message);
filenumber++;

if (SD.exists(fileName)) {
  myFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE);//Abrindo arquivo para gravação
  //Formatação para Excel:
  //Entre colunas consecutivas separar por ;, ; = 1 tab
  myFile.print("Millis");//Primeira coluna: Tempo previous_Millis
  myFile.print(";");
  myFile.print("Sensor1");//Segunda coluna: Sensor 1
  myFile.print(";");
  myFile.print("ADC00");//Terceira coluna: bits da conversao adc da porta a0
  myFile.print(";");
  myFile.print("Sensor2");//Quarta coluna: Sensor 2
  myFile.print(";");
  myFile.print("ADC01");//Quinta coluna: bits da conversao adc da porta a1
  myFile.print(";");
  myFile.print("Sensor3");//Sexta coluna: Sensor 3
  myFile.print(";");
  myFile.print("ADC02");//Sétima coluna: bits da conversao adc da porta a2
  myFile.print(";");
  myFile.print("Volume");//Oitava coluna: Volume do tanque
  myFile.println(";");
  myFile.close();
}
}

void Write_File(){
  if (SD.exists(fileName)) {
    myFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE);//Abrindo arquivo para gravação
    //Formatação para Excel:
    //Entre colunas consecutivas separar por ;, ; = 1 tab
    myFile.print(previous_Millis);
    myFile.print(";");
    myFile.print(lvl_fueltank00); //Primeira coluna: bits da conversao adc
    myFile.print(";");
    myFile.print(fTanque00);
  }
}

```

```

    myFile.print("");
    myFile.print(lvl_fuelTank01);
    myFile.print("");
    myFile.print(fTanque01);
    myFile.print("");
    myFile.print(lvl_fuelTank02);
    myFile.print("");
    myFile.print(fTanque02);
    myFile.print("");
    myFile.print(lvl);
    myFile.println("");
    myFile.close();
}
}

void setDisplaySDFile(){
  if (flag_fail_SD == 1){
    p6.getPic(&number_p6);
    number_p6 = 6;
    p6.setPic(number_p6);
  }
  else{
    n1.getValue(&fNumberSDFile);
    fNumberSDFile = filenumber;
    n1.setValue(fNumberSDFile);
  }
  if (digitalRead(switch_writeSD) == LOW){
    p7.getPic(&number_p7);
    number_p7 = 7;//Gravação ON
    p7.setPic(number_p7);
  }
  else{
    p8.getPic(&number_p8);
    number_p8 = 8;//Gravação OFF
    p8.setPic(number_p8);
  }
}

void readS1(){
  /*
  * Conversor ADC 10bits => 2^10 = 1024
  * Resolução = 5V / 1024 = 4,88mV
  * 5V = 1023
  * Nível(V) = x
  * x = (1023*Nível(V))/5
  * Níveis: Teórico Arduino
  * 8 = 2,789V => 571 - 676
  * 7 = 2,288V => 469 - 563
  * 6 = 2,048V => 420 - 513
  * 5 = 1,558V => 319 - 388
  */
}

```

```

* 4 = 1,243V => 255 - 306
* 3 = 0,754V => 155 - 188
* 2 = 0,539V => 111 - 129
* 1 = 0,065V => 14 - 8
*/
fTanque00 = analogRead(analog00);//Porta analógica 0
if(fTanque00>=600){//Nível 8
  lvl_fuel tank00 = 8;
  volume_S1 = 0.4133;
}
else if(fTanque00<=600 && fTanque00>520){//Nível 7
  lvl_fuel tank00 = 7;
  volume_S1 = 0.8269;
}
else if(fTanque00<=520 && fTanque00>450){//Nível 6
  lvl_fuel tank00 = 6;
  volume_S1 = 1.2409;
}
else if(fTanque00<=450 && fTanque00>350){//Nível 5
  lvl_fuel tank00 = 5;
  volume_S1 = 1.6551;
}
else if(fTanque00<=350 && fTanque00>290){//Nível 4
  lvl_fuel tank00 = 4;
  volume_S1 = 2.0696;
}
else if(fTanque00<=290 && fTanque00>150){//Nível 3
  lvl_fuel tank00 = 3;
  volume_S1 = 2.4845;
}
else if(fTanque00<=150 && fTanque00>50){//Nível 2
  lvl_fuel tank00 = 2;
  volume_S1 = 2.8996;
}
else if(fTanque00<=50){//Nível 1
  lvl_fuel tank00 = 1;
  volume_S1 = 3.31508;
}
}

void readS2(){
  /*
  * Níveis: Teórico Arduino
  * 8 = 2,803V => 574 - 707
  * 7 = 2,296V => 470 - 579
  * 6 = 2,048V => 420 - 516
  * 5 = 1,551V => 318 - 388
  * 4 = 1,231V => 252 - 305
  * 3 = 0,748V => 154 - 183
  * 2 = 0,523V => 108 - 126
  */
}

```

```

* 1 = 0,041V => 9 - 5
*/
fTanque01 = analogRead(analog01);//Porta analógica 0
if(fTanque01>=600){//Nível 8
  lvl_fuelTank01 = 8;
  volume_S2 = 0.4133;
}
else if(fTanque01<=600 && fTanque01>520){//Nível 7
  lvl_fuelTank01 = 7;
  volume_S2 = 0.8269;
}
else if(fTanque01<=520 && fTanque01>450){//Nível 6
  lvl_fuelTank01 = 6;
  volume_S2 = 1.2409;
}
else if(fTanque01<=450 && fTanque01>350){//Nível 5
  lvl_fuelTank01 = 5;
  volume_S2 = 1.6551;
}
else if(fTanque01<=350 && fTanque01>290){//Nível 4
  lvl_fuelTank01 = 4;
  volume_S2 = 2.0696;
}
else if(fTanque01<=290 && fTanque01>150){//Nível 3
  lvl_fuelTank01 = 3;
  volume_S2 = 2.4845;
}
else if(fTanque01<=150 && fTanque01>50){//Nível 2
  lvl_fuelTank01 = 2;
  volume_S2 = 2.8996;
}
else if(fTanque01<=50){//Nível 1
  lvl_fuelTank01 = 1;
  volume_S2 = 3.3150;
}
}

void readS3(){
  /*
  * Níveis: Teórico Arduino
  * 8 = 2,527V => 518 - 686
  * 7 = 2,261V => 463 - 569
  * 6 = 2,029V => 416 - 509
  * 5 = 1,546V => 317 - 386
  * 4 = 1,224V => 251 - 306
  * 3 = 0,756V => 155 - 185
  * 2 = 0,541V => 111 - 130
  * 1 = 0,062V => 13 - 11
  */
  fTanque02 = analogRead(analog02);//Porta analógica 2

```

```

if(fTanque02>=600){//Nível 8
  lvl_fuelTank02 = 8;
  volume_S3 = 0.4133;
}
else if(fTanque02<=600 && fTanque02>520){//Nível 7
  lvl_fuelTank02 = 7;
  volume_S3 = 0.8269;
}
else if(fTanque02<=520 && fTanque02>450){//Nível 6
  lvl_fuelTank02 = 6;
  volume_S3 = 1.2409;
}
else if(fTanque02<=450 && fTanque02>350){//Nível 5
  lvl_fuelTank02 = 5;
  volume_S3 = 1.6551;
}
else if(fTanque02<=350 && fTanque02>290){//Nível 4
  lvl_fuelTank02 = 4;
  volume_S3 = 2.0696;
}
else if(fTanque02<=290 && fTanque02>150){//Nível 3
  lvl_fuelTank02 = 3;
  volume_S3 = 2.4845;
}
else if(fTanque02<=150 && fTanque02>50){//Nível 2
  lvl_fuelTank02 = 2;
  volume_S3 = 2.8996;
}
else if(fTanque02<=50){//Nível 1
  lvl_fuelTank02 = 1;
  volume_S3 = 3.3150;
}
}

void setDisplayInfoTank(){
  int med = 0;
  readS1();
  readS2();
  readS3();
  med = (lvl_fuelTank00 + lvl_fuelTank01 + lvl_fuelTank02)/3;
  //Configura a imagem do nível de combustível no Display Nextion
  p1.getPic(&number_p1);
  if(med>=8){//Nível 8
    number_p1 = 1;
  }
  else if(med<8 && med>=7){//Nível 7
    number_p1 = 1;
  }
  else if(med<7 && med>=6){//Nível 6
    number_p1 = 2;
  }
}

```

```

}
else if (med < 6 && med >= 5) { //Nível 5
    number_p1 = 2;
}
else if (med < 5 && med >= 4) { //Nível 4
    number_p1 = 3;
}
else if (med < 4 && med >= 3) { //Nível 3
    number_p1 = 4;
}
else if (med < 3 && med >= 2) { //Nível 2
    number_p1 = 5;
}
else if (med < 2) { //Nível 1
    number_p1 = 5;
}
p1.setPic(number_p1);
}

```

```

void setDisplayInfoSensorLvl() {
    n2.getValue(&fSensorLvl1);
    fSensorLvl1 = lvl_fueltank00;
    n2.setValue(fSensorLvl1);

    n3.getValue(&fSensorLvl2);
    fSensorLvl2 = lvl_fueltank01;
    n3.setValue(fSensorLvl2);

    n4.getValue(&fSensorLvl3);
    fSensorLvl3 = lvl_fueltank02;
    n4.setValue(fSensorLvl3);
}

```

```

void setDisplayInfoVolume() {
    float Total_Volume = 3.3150;
    int var = 0, var_tent = 0, var_thou = 0;

    med_lvl = Total_Volume - (volume_S1 + volume_S2 + volume_S3)/3;
    fVolume = med_lvl;
    var = med_lvl*100;
    var_tent = var/100;
    var_thou = (var - var_tent*100);

    n0.getValue(&fVolumeunit);
    fVolumeunit = var_tent;
    n0.setValue(fVolumeunit);

    n5.getValue(&fVolumedcm);
    fVolumedcm = var_thou;
    n5.setValue(fVolumedcm);
}

```

```

}

void loop(void){
  unsigned long current_Millis = millis();
  const long interval = 500;

  nexLoop(nex_listen_list);
  setDisplayInfoVolume();
  setDisplaySDFile();
  setDisplayInfoTank();
  setDisplayInfoSensorLvl();

  if (digitalRead(switch_writeSD) == LOW){
    if (flag_createfile == 0){
      Create_File();//Cria o primeiro arquivo de texto com nome FILE_0.txt, caso inicializado
      pela primeira vez
      //Cria arquivo com nome FILE_(X+1).txt, onde X é o valor do último arquivo;
    }
    if (current_Millis - previous_Millis >= interval){//Grava as informações no cartão SD a
    cada 1/4 de segundo
      /*
      * Para cada 250ms será gravada o nível atual em cada sensor e o volume de combustível
      * 1/4s = 0.250s = 4 gravações por segundo
      * 10 segundos = 40 gravações
      * 60 segundos = 240 gravações
      * 10 minutos = 2400 gravações
      * Para cada arquivo gerado no cartão SD terá, em média, 2400 linhas de código txt
      */
      Write_File();
      previous_Millis = current_Millis;
    }
    flag_createfile++;
  }
}

```

## APÊNDICE B – TABELAS DO TESTES EM BANCADA

Tabelas das aquisições em bancada. As tabelas 7 e 8 mostram seis testes feitos em bancada onde eram retirados 100 ml do reservatório, medidos em uma proveta e anotado a massa total do reservatório.

Tabela 7 – Tabela de massa e volume do reservatório. Testes 1 a 3.

Vol. (ml)	T1		T2		T3		Vol. (l)
	M (g)	Vol. (l)	M (g)	Vol. (l)	M (g)	Vol. (l)	
0	4487	2,90	4792	2,90	4433	2,90	3,00
100	4402	2,90	4760	2,90	4350	2,90	2,90
200	4340	2,90	4597	2,90	4307	2,90	2,80
300	4264	2,90	4514	2,90	4240	2,90	2,70
400	4168	2,76	4397	2,90	4182	2,90	2,60
500	4053	2,48	4295	2,90	4129	2,90	2,50
600	3980	2,70	4197	2,90	4059	2,70	2,40
700	3867	2,70	409	2,90	3994	2,70	2,30
800	3776	1,65	4042	2,62	3920	2,62	2,20
900	3695	1,65	3891	2,62	3855	2,62	2,10
1000	3564	1,52	3846	2,21	3770	1,65	2,00
1100	3463	1,10	3799	2,34	3680	1,65	1,90
1200	3380	1,10	3734	1,79	3564	1,52	1,80
1300	3279	1,10	3602	1,65	3475	1,24	1,70
1400	3191	0,83	3492	1,65	3379	1,70	1,60
1500	3097	0,83	3314	1,38	3278	0,96	1,50
1600	2998	0,83	3223	1,38	3184	0,96	1,40
1700	2994	0,69	3147	1,10	3087	0,83	1,30
1800	2907	0,69	3046	1,10	2989	0,83	1,20
1900	2702	1,38	2944	0,83	2889	1,52	1,10
2000	2614	1,38	2864	0,83	2790	1,10	1,00
2100	2505	1,93	2693	0,96	2690	0,96	0,90
2200	2416	0,96	2600	0,96	2600	0,96	0,80
2300	2308	0,96	2504	0,96	2520	0,96	0,70
2400	2279	0,96	2408	0,96	2432	0,69	0,60
2500	2190	0,69	2310	0,69	2328	0,69	0,50
2600	2074	0,69	2212	0,69	2209	0,69	0,40
2700	1995	0,69	2116	0,69	2115	0,69	0,30
2800	1889	0,00	2020	0,69	2025	0,00	0,20
2900	1821	0,00	1937	0,00	1935	0,00	0,10
3000	1675	0,00	1750	0,00	1747	0,00	0,00

Fonte: Autoria do próprio autor. 2018

Tabela 8 - Tabela de massa e volume do reservatório. Testes 4 a 6.

Vol. (ml)	T4		T5		T6		Vol. (l)
	M (g)	Vol. (l)	M (g)	Vol. (l)	M (g)	Vol. (l)	
0	4726	2,90	4683	2,90	4607	2,90	3,00
100	4609	2,90	4592	2,90	4523	2,90	2,90
200	4519	2,90	4419	2,90	4136	2,90	2,80
300	4440	2,90	4394	2,90	4044	2,90	2,70
400	4326	2,90	4192	2,90	3947	2,90	2,60
500	4290	2,90	4109	2,90	3880	2,90	2,50
600	4209	2,62	4023	2,90	3772	2,90	2,40
700	4142	2,62	3962	2,90	3709	2,76	2,30
800	4012	2,21	3790	1,65	3643	2,76	2,20
900	3985	1,93	3698	1,65	3536	2,34	2,10
1000	3878	1,65	3600	1,65	3428	2,34	2,00
1100	3746	1,65	3510	1,24	3385	2,34	1,90
1200	3660	1,38	3410	1,24	3561	1,65	1,80
1300	3563	1,38	3303	1,10	3478	1,65	1,70
1400	3458	1,10	3169	1,10	3369	1,52	1,60
1500	3374	1,10	3066	0,96	3282	1,52	1,50
1600	3265	0,69	2978	0,96	3199	1,10	1,40
1700	3139	0,96	2890	0,96	3089	1,10	1,30
1800	3031	1,24	2801	0,83	3001	0,96	1,20
1900	2970	1,24	2711	0,83	2881	0,96	1,10
2000	2867	1,10	2660	0,83	2828	0,96	1,00
2100	2749	1,10	2528	0,96	2722	2,70	0,90
2200	2650	0,96	2369	0,96	2647	0,96	0,80
2300	2470	0,96	2282	0,96	2656	0,83	0,70
2400	2376	0,96	2178	0,69	2410	0,83	0,60
2500	2278	0,69	2089	0,69	2379	0,83	0,50
2600	2189	0,69	2009	0,69	2257	0,69	0,40
2700	2070	0,69	1312	0,00	2126	0,69	0,30
2800	1990	0,00	1830	0,00	2060	0,00	0,20
2900	1887	0,00	1805	0,00	1959	0,00	0,10
3000	1765	0,00	1761	0,00	1840	0,00	0,00

Fonte: Autoria do próprio autor. 2018.