

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

*Campus* Divinópolis

Graduação em Engenharia Mecatrônica

Natan Batista Silva

TELEMETRIA DE PRESSÃO: PROJETO E CONSTRUÇÃO DE SISTEMA  
APLICADO A AUTOMÓVEIS EM GERAL



Divinópolis

2018



Natan Batista Silva

TELEMETRIA DE PRESSÃO: PROJETO E CONSTRUÇÃO DE SISTEMA  
APLICADO A AUTOMÓVEIS EM GERAL

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Colegiado de Graduação em Engenharia Mecatrônica como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Áreas de integração: Eletrônica e Computação.

Orientador: Prof. Me. Marlon Henrique Teixeira

Co-orientador: Prof. Me. André Luiz Carvalho  
Ottoni



Divinópolis

2018





**Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais**  
**CEFET-MG / Campus Divinópolis**  
**Curso de Engenharia Mecatrônica**

Monografia intitulada “*Telemetria de pressão: Projeto e construção de sistema aplicado a automóveis em geral*”, de autoria do graduando Natan Batista Silva, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

---

Prof. Me. Marlon Henrique Teixeira - CEFET-MG / Campus Divinópolis - Orientador

---

Prof. Dr. André Luiz Maravilha Silva - CEFET-MG / Campus Divinópolis

---

Prof. Me. Márcio Alves De Aguiar - CEFET-MG / Campus Divinópolis

---

Prof. Dr. Lúcio Flávio Santos Patrício  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecatrônica  
CEFET-MG / Campus Divinópolis

Divinópolis - Dezembro de 2018



Dedico esta vitória as pessoas da minha vida, aquelas que estão e não estão presentes, minha família e amigos, obrigado.



# Agradecimentos

Agradeço,

Primeiramente a meus pais e avós, que me deram os inícios, meios e fins para a conclusão deste curso, meus irmãos com quem sempre pude contar e a toda minha família. Em segundo, mas não menos importante, agradeço a meus amigos, companheiros e parceiros de cada período, a todos do GOLO por ter tornado minhas noites, saindo do Anésio depois de boas prosas, até as madrugadas mais animadas. Agradeço ao meu carro por ter provido condução mesmo que eu não o lave, o que não diz que eu não goste dele. Agradeço a internet que é onde fui criado e onde ri, chorei e passei muitos momentos solitários esperando notas, mas nunca sozinho. Gostaria de agradecer a você que está lendo, e que mesmo que pule algumas partes chatas deste texto, eu te "considero pacas"! Por fim, eu gostaria de agradecer a minha noiva Amanda, quem eu dividi boa parte dos apertos e felicidades do final do curso, e principalmente, a alegria de ser pai, Antônio, te amo.



”Por aqui não se passa sem que sinta o calor do  
fogo”

Dante Alighieri



# Resumo

O pneu é uma parte vital para o funcionamento de muitos veículos terrestres, de forma que afeta a dinâmica e a eficiência do mesmo, por isso se faz necessário observar as condições do mesmo, para garantir o conforto e segurança dos passageiros além da estabilidade do veículo. Isto envolve uma questão ecológica, pois, tanto o consumo de combustível do veículo quanto a vida útil do pneu podem melhorar consideravelmente com a calibração feita correta e periodicamente. Um monitoramento constante pode também ser útil para descobrir se o pneu está furado ou com problemas de vazamento mesmo quando o veículo está em movimento. Tal tecnologia já se encontra disponível em carros de segmento de luxo ou importados e em alguns módulos que podem ser adquiridos pela internet, mas ainda é pouco acessível para a maioria dos motoristas por serem itens caros. Este trabalho pretende auxiliar a interação entre o condutor e o veículo, por meio do monitoramento da condição dos pneus, medindo sua pressão e temperatura, disponibilizando os dados através de uma interface gráfica visivelmente acessível para o condutor. Este é um trabalho de Engenharia Mecatrônica, que compreende as áreas de eletrônica, com o projeto e construção dos circuitos sensores e display de dados, e computação, com o projeto e implementação da programação dos microcontroladores e da lógica de comunicação de radiofrequência. O monitoramento é feito por sensores de pressão e temperatura, com o auxílio de microcontroladores, dispostos de forma a ter contato direto com o pneu. Portanto, foi definido o encaixe do circuito na válvula de calibração, na parte externa ao pneu. Os dados obtidos são enviados de maneira sem fio para um circuito principal, e visualizados pelo condutor em um display de cristal líquido (LCD). Foi concluído que é viável a construção do protótipo de monitoramento baseando-se em conhecimentos adquiridos ao longo do curso.

**Palavras-chave:** Microcontrolador, Radiofrequência, Pneu, Telemetria de pressão, TPMS.



# Abstract

The tire is a vital part of many terrestrial vehicles, in way that it affects the dynamics and efficiency, and for this reason it makes necessary to observe the tires conditions, to guarantee comfort and safety of the passengers further the vehicle stability. It evolves an ecological thematic, because the fuel consumption and the tire life span are considerably improved as the tire pressure is ideally maintained. A constant monitoring can also be useful to discover a hole or leaking problem with the tire whenever the vehicle is moving. The technology is already available in luxury cars, or imported ones, and on modules sold over the web, but still unavailable to most of the drivers for being expensive. This work pretend to help the vehicle-driver interaction, by the monitoring of the tires conditions, measuring the pressure and temperature, displaying the data over a graphic interface visible to the conductor. This is a Mechatronics Engineering paper, that comprehend Electronics area by the project and construction of the sensors circuitry and showoff data through the display, and comprehend Computation area with the project and implementation of microcontrollers programs and communication logic by radio-frequency. The monitoring is made with pressure and temperature sensors, helped by the microcontroller disposed to have direct contact with the tires inner pressure. Consequently, it was defined the circuitry fitting to be made on the pressure regulation valve, tire-external. The data is then send wirelessly to a main circuit, that is showed to the car driver. It was concluded that the construction of a prototype is viable, basing on knowledge obtained during the course.

**Key-words:** Microcontroller, Radio frequency, Tire, Pressure telemetry, TPMS.



# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contextualização	1
1.1.1	Meio ambiente e perdas monetárias	2
1.2	Definição do Problema	3
1.3	Motivação	4
1.4	Objetivos	4
1.4.1	Objetivo Geral	4
1.4.2	Objetivos Específicos	4
1.5	Estado da Arte	5
1.6	Organização do Documento	6
<b>2</b>	<b>Fundamentos</b>	<b>7</b>
2.1	Revisão de literatura	7
2.2	Fundamentação Teórica	9
2.2.1	Mecânica do sistema	9
2.2.1.1	Pneu	9
2.2.2	Eletrônica	12
2.2.2.1	Microcontrolador	12
2.2.2.2	Sensor	15
2.2.2.3	Radiofrequência - RF	17
2.2.3	Computação	18
2.2.3.1	Linguagem de Programação	19
2.2.3.2	Editor	19
2.2.3.3	Compilador	19

2.2.3.4	Gravador . . . . .	20
2.2.4	Computação física . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Desenvolvimento . . . . .</b>	<b>23</b>
3.1	Metodologia . . . . .	23
3.2	Escolha dos componentes . . . . .	24
3.2.1	Microcontrolador . . . . .	24
3.2.2	Sensor de pressão . . . . .	27
3.2.3	Sensor de temperatura . . . . .	28
3.2.4	Módulo de radiofrequência . . . . .	29
3.2.5	Display de Cristal Liquido LCD . . . . .	30
3.3	Programação . . . . .	31
3.3.1	Fluxogramas . . . . .	31
3.4	Simulações . . . . .	33
3.5	Testes iniciais . . . . .	33
3.5.1	Transmissão . . . . .	34
3.5.2	Distância . . . . .	35
3.5.3	Confiabilidade . . . . .	35
3.5.4	Teste periódico com LM35 . . . . .	35
<b>4</b>	<b>Execução do Projeto . . . . .</b>	<b>37</b>
4.1	Confecção do Protótipo . . . . .	37
4.1.1	Placa-meditora . . . . .	37
4.1.2	Encapsulamento . . . . .	38
4.1.2.1	Montagem . . . . .	40
4.1.3	Central . . . . .	40
4.2	Calibração dos sensores . . . . .	41
4.2.1	Pressão . . . . .	41
4.2.2	Temperatura . . . . .	43
4.3	Programação das placas . . . . .	44
4.3.1	Medidora . . . . .	44
4.3.2	Central . . . . .	45
4.4	Testes de rodagem . . . . .	45
<b>5</b>	<b>Considerações Finais . . . . .</b>	<b>49</b>
5.1	Trabalhos futuros . . . . .	50

**Bibliografia . . . . . 51**



## Lista de figuras

Figura 1.1 – Efeitos sofridos por falta de calibração . . . . .	2
Figura 2.1 – Estrutura do pneu . . . . .	10
Figura 2.2 – Representação da banda de rolagem de acordo com a pressão . . . . .	10
Figura 2.3 – Pressões absoluta, manométrica e de vácuo . . . . .	11
Figura 2.4 – Estrutura interna de um Microcontrolador . . . . .	13
Figura 2.5 – Diferença entre resoluções . . . . .	16
Figura 2.6 – Diferença entre precisão e exatidão . . . . .	16
Figura 2.7 – Estágios para se configurar um PIC . . . . .	20
Figura 2.8 – Programação em blocos . . . . .	21
Figura 3.1 – ATmega328p . . . . .	25
Figura 3.2 – Arduino UNO . . . . .	25
Figura 3.3 – Atmel ATTINY . . . . .	27
Figura 3.4 – SM5420C . . . . .	28
Figura 3.5 – Sensor LM35 . . . . .	29
Figura 3.6 – Módulos receptor e emissor RF . . . . .	30
Figura 3.7 – Display 16x2 . . . . .	31
Figura 3.8 – Fluxograma da programação das placas . . . . .	32
Figura 3.9 – Simulação da placa-receptora . . . . .	33
Figura 4.1 – Desenho da placa-sensor . . . . .	38
Figura 4.2 – Placa pronta . . . . .	38
Figura 4.3 – Vista isométrica do modelo desenvolvido . . . . .	39
Figura 4.4 – Encapsulamento físico . . . . .	39
Figura 4.5 – Encapsulamento físico . . . . .	40

Figura 4.6 – Circuito eletrônico da central . . . . .	40
Figura 4.7 – Medidor de Pressão analógico . . . . .	41
Figura 4.8 – Dados de calibração do sensor de pressão . . . . .	43
Figura 4.9 – Montagem do sensor na válvula. . . . .	46
Figura 4.10–Montagem do sensor na válvula. . . . .	46
Figura 4.11–Tela de boas vindas. . . . .	47
Figura 4.12–Dados de leitura disponibilizados ao usuário. . . . .	48
Figura .1 – Desenho técnico da base do encapsulamento . . . . .	61
Figura .2 – Desenho técnico do topo do encapsulamento . . . . .	63

# Lista de tabelas

Tabela 3.1 – Comparativo de sensores comerciais . . . . .	29
Tabela 4.1 – Tabela de calibração SM5420C . . . . .	42



## Lista de acrônimos e notações

**A** Ampére

**C** Celcius

**cm** Centímetros

**CPU** Central Processing Unit

**GHz** GigaHertz

**GPS** Global Position System

**kHz** KiloHertz

**LCD** Display de Cristal Líquido

**LED** Diodo Emissor de Luz

**m** Metros

**MHz** MegaHertz

**P** Pressão

**PSI** Pound-Force per Square Inch

**RAM** Random Access Memory

**RF** Radiofrequência

**TPMS** Tire Pressure Measure System

**V** Volts

# Introdução

## 1.1 Contextualização

A história do automóvel está atrelada a formação dos grandes centros urbanos no Brasil, um exemplo é a construção da capital Brasília na década de 50, que se deu no mesmo tempo do incentivo a criação da indústria automobilística nacional. Isso fez com que o automóvel se fundisse a cultura popular, tornando mais do que um objeto de transporte ou ferramenta importante para o trabalho, sendo até artigo de luxo. Isso ajudou a firmar o Brasil como o país com a quarta maior frota do mundo, chegando a 42,87 milhões de veículos entre carros, comerciais leves, caminhões e ônibus, segundo o relatório estatístico do Sindipeças [32].

Apesar de continuar com uma estrutura parecida com os modelos do século XIX, contendo quatro rodas e motor, a cada novo modelo lançado, o automóvel se torna mais tecnológico, embarcando sistemas diversos, seja através de GPS para se localizar, pela internet para sincronizar músicas, ou mesmo por sensores para garantir o bom funcionamento do carro. Tais sensores estão em uso há anos, de forma que o motorista às vezes nem percebe, dentro dos motores, em painéis ou anexados a bateria, principalmente em partes vitais para impedir que o carro pare de funcionar, mas ainda há lugares essenciais em que os sensores são utilizados em baixa escala, como nos pneus.

Segundo dados do site Portal do Trânsito [9], a falta de manutenção é a causa de mais de 30% dos acidentes nas estradas, uma destas causas é a má condição dos pneus, que envolve o desgaste, falta de alinhamento, balanceamento e má calibração. A calibração errada é grave, como a falta de pressão, por exemplo, pode fazer com que o carro sofra aquaplanagem mais facilmente em pistas molhadas. Já o excesso de pressão pode fazer

com que o carro perca a aderência mais facilmente, aumentando o tempo para reduzir a velocidade durante uma frenagem consideravelmente.

A fabricante de pneus Michelin possui em seu site a Figura 1.1<sup>1</sup> para entender de forma didática a relação de desnível pressão e os efeitos no automóvel.

	<b>Pressão Recomendada</b> Tolerância de 3 PSI acima ou abaixo	<b>Segurança</b> <b>Durabilidade</b> <b>Baixo consumo de combustível</b>
	<b>Pressão temporariamente admissível</b> Entre 3 a 7 PSI abaixo da pressão recomendada	<b>Durabilidade reduzida</b> do pneu em pelos menos 8.000 quilômetros
	<b>Pressão perigosa</b> Entre 7 a 15 PSI abaixo da pressão recomendada <b>Pressão de alto risco</b> Abaixo de 15 PSI da pressão recomendada	<b>Risco de explosão</b> Forte aumento dos riscos - Riscos de aquaplaning - Riscos de desgastes dos ombros - Aumento do consumo de combustível

Figura 1.1 – Efeitos sofridos por falta de calibração. Fonte: Michelin

Pode-se perceber então que mesmo o pneu sendo uma parte vital para o bom funcionamento do veículo, ele é subestimado em relação a outros componentes quando o assunto é manutenção e segurança. Existem no mercado sistemas denominados *TPMS* que essencialmente indicam ao condutor a pressão momentânea da roda. Estes sistemas são variados em especificações e utilidade, sendo a maioria apenas opcionais de carros de luxo, ficando indisponíveis para a população geral. Este trabalho intenciona focar no estudo e projeto de tais sistemas de forma a abranger mais veículos, sem objetivar a criação de produto para o mercado.

### 1.1.1 Meio ambiente e perdas monetárias

Pela Figura 1.1, pode se ler que o pneu pode perder 8.000km de vida útil, fazendo contas rápidas, isso representa cerca de 12% da vida útil total, que chega a 70.000 km em média. Considerando que apenas no Brasil, são descartados 450 mil toneladas de pneus todos os anos [30], podemos dizer que uma diminuição nesse número pode ser alcançada com a manutenção da vida útil dos mesmos. Abusando mais uma vez da estatística, se considerarmos que 1/4 veículos não rodam com a pressão adequada do pneu, caso eles passem a aferir melhor, isso significaria um descarte 3% menor por ano, que seria igual a 13,5 mil toneladas a menos de lixo no meio ambiente por ano.

<sup>1</sup> Disponível em <https://www.michelin.com.br/tudo-sobre-carros/Seguranca-e-Manutencao/Conhecamos-riscos-de-manter-a-pressao-errada-dos-pneus.html> Acesso em maio de 2018

Outra observação a ser feita é sobre o consumo de combustível, que aumenta em cerca de 2% a cada 3 PSI abaixo da pressão ideal [36]. Além do problema financeiro que isto acarreta, podemos indicar a maior emissão de partículas poluentes na atmosfera, como monóxido de carbono, dióxido de enxofre e outros gases do efeito estufa.

Ao considerar os consumos supra destacados de pneu e combustível, podemos pegar um carro popular como exemplo de consumo, usando dados estimados pensando em termos monetários. Considerando um carro com rodagem de 15 mil km/ano, tem-se, com uma média de 9 km/l, o consumo de 1667 litros de combustível, que caso esteja com o pneu descalibrado, pode chegar a 33 litros de desperdício, ou R\$99,00 em etanol por ano. Ainda considerando o mesmo carro, um conjunto de pneus aro 14 custa em média R\$830,00, eles podem durar 4 anos e meio, dividindo, temos um custo de R\$184,00 aproximadamente por ano. Se for pensar no pneu descalibrado, temos com o desgaste prematuro que o pneu dura 4,1 anos, aumentando para um custo de R\$201,50 por ano. Isto representa um desperdício de R\$116,50 por ano em um carro popular.

## 1.2 Definição do Problema

O recomendado para se evitar problemas com a calibragem é que, os pneus incluindo o estepe, sejam calibrados ao menos uma vez na semana, respeitando a recomendação de que o pneu não deve estar quente durante a calibração [21]. Mesmo que esta seja feita de forma correta, ainda há a possibilidade de a bomba estar descalibrada, que torna a pressão aferida no manômetro da bomba incrível. É possível então perceber que mesmo a parcela dos motoristas que seguem a recomendação está propícia a erros na calibração.

Com isso é proposto um sistema de monitoramento, na qual o motorista seja alertado sobre as condições momentâneas de pressão e temperatura, fazendo com que erros de calibração sejam menos recorrentes, já que o motorista poderia verificar o valor real calibrado pela bomba e com isso, atuar de forma a acertar melhor a pressão. Também seria possível verificar algum problema de vazamento ou de furo, para que o motorista possa intervir, podendo até evitar acidentes.

O monitoramento constante proposto traz outras vantagens como a manutenção da vida útil do pneu, já que o mesmo não sofreria com desgaste prematuro ou irregular. Também é possível dar o aviso ao motorista sobre algum problema no pneu com o carro em movimento, como uma súbita perda de pressão, fazendo com que o motorista possa

interceder em tempo hábil, parando o veículo sem maiores danos ao carro ou ao ambiente.

O problema encontrado foi a dificuldade de se aferir medidas no sistema em questão, já que o pneu encontra-se em rotação, fazendo assim necessária a utilização da telemetria sem fio. "Telemetria é a transferência (via rede fixa ou sem fio) e utilização de dados provindos de múltiplas máquinas remotas, distribuídas em uma área geográfica de forma pré-determinada, para o seu monitoramento, medição e controle"[5]. Pode-se dizer que a telemetria é o processo de se enviar dados de aferições de sensores de forma remota, sendo por meio de cabos ou sem fio.

## 1.3 Motivação

De acordo com pesquisas feitas, o problema de aferição e manutenção da calibração do pneu se mostra presente no cotidiano do brasileiro, que depende muito de veículos terrestres no dia a dia. Foi constatado além dos problemas de segurança em não se manter calibrado o pneu, têm-se perdas significativas em vida útil e consumo de combustível, que impacta no meio ambiente. O trabalho então se mostra vantajoso por apresentar uma solução para este problema.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver e construir um protótipo de estudo que seja capaz de medir a pressão e temperatura de um pneu e enviar de maneira sem fio a uma central com tela, de modo a informar ao condutor a condição momentânea, avisando caso a condição não seja a ideal.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar e revisar a bibliografia sobre sensores.
- Pesquisar e revisar sobre programação de microcontroladores.
- Projetar e simular o circuito eletrônico do sensor.
- Projetar e simular a central que recebe os dados.
- Implementar a comunicação via Radiofrequência.

- Dimensionar a estrutura física dos componentes.
- Construir um modelo eletrônico compatível com o sensor final.
- Construir um modelo eletrônico compatível com a central final.
- Construir a estrutura física dos componentes.
- Analisar o protótipo e os resultados.

## 1.5 Estado da Arte

Por ser muito abrangente e influenciar nos mais diversos tipos de dispositivos, a telemetria e o sensoriamento se tornam cada vez mais vastas áreas de pesquisa, ao passo que novas pesquisas são publicadas [20]. Por envolver na telemetria diferentes áreas da eletrônica e microeletrônica, têm-se pesquisas em aspectos diferentes e específicos no sensoriamento de pressão de pneu automotivo.

O sistema em questão envolve entre sensores, transmissão de dados e circuitos integrados, diversas áreas de estudo. Por se tratar de um dispositivo que requer energia para funcionar, o autor Kang [17] mostra uma opção de utilizar sistemas passivos que captam energia remotamente para não necessitar de baterias no dispositivo remoto. Isso se dá pela conversão de energia elétrica em magnética e da captação desta por antenas na frequência de 125 KHz que alimentam um circuito de baixa potência, na ordem de  $5\mu\text{A}$ , que faz com que a energia consumida seja baixa.

Outra preocupação é com a potência do circuito de envio de dados, pois em veículos de grande porte deve-se emitir sinal com maior potência para que o receptor consiga obtê-los. Logo, P. T. Duc [10] propõe a utilização de antenas cilíndricas-helicoidais de tamanho reduzido, por volta de  $0.01\lambda\text{m}$ , que otimiza o ganho de potência de sinal, a tensão de alimentação e simplifica o projeto em relação a antena de loop que é comumente utilizada.

Em contrapartida, devido à estrutura da roda e da montagem do sensor, temos uma grande perda de sinal, já que a roda funciona como uma antena que direciona o sinal para fora do carro, perdendo boa parte do mesmo. Kolodgie[18] publicou um estudo no qual comprova que com o uso de um acelerômetro, pode-se detectar o ângulo da roda para transmitir dados apenas quando este ângulo for ótimo, conseguindo também uma redução no consumo de energia.

## 1.6 Organização do Documento

O presente trabalho é separado de acordo com as etapas realizadas do projeto, possuindo assim, 5 capítulos. No Capítulo presente está a introdução e a contextualização do assunto a ser tratado. No Capítulo 2, está a revisão de literatura, então segue a fundamentação teórica necessária para a realização dos itens propostos. No Capítulo 3 estão a metodologia a ser aplicada ao decorrer do estudo, os testes práticos de conceitos, e o desenvolvimento do projeto, contendo programação e simulações além de testes iniciais. No Capítulo 4 está a execução do projeto, onde é mostrada a confecção do protótipo, a calibração dos sensores, a programação das placas e os testes de rodagem. O Capítulo 5 contém a conclusão do trabalho, dividida em considerações finais e propostas de trabalhos futuros.

## Fundamentos

No presente capítulo, situa-se a revisão de literatura e a fundamentação do trabalho.

### 2.1 Revisão de literatura

A história da telemetria data do século XIX, quando a tecnologia de envio de dados medidos por fios tem sua origem. No ano de 1845 tem-se a primeira transmissão de dados entre circuitos a distância, localizados respectivamente no Palácio de Inverno Russo e o quartel general do exército. Em 1874, engenheiros franceses desenvolveram um sistema de sensores climáticos e de profundidade de neve montado em Mont Blanc cujos dados eram transmitidos em tempo real para Paris [34].

Em 1901, o inventor americano C. Michalke patenteou o selsyn, um circuito constituído de dois motores síncronos ligados entre si, na qual com a movimentação de um dos motores, tem-se uma sincronia na movimentação do segundo, sendo capaz de enviar informações de motores à distância. Isso foi um avanço significativo, já que com este dispositivo pode-se medir a posição, velocidade e aceleração de um motor sem estar próximo a ele.

No ano 1906 houve a construção de uma série de estações sísmicas com telemetria no Observatório de Pulkovo na Rússia. Um sistema de telemetria para o monitoramento de linhas de transmissão de energia foi criado pela Commonwealth Edison em 1912. Seguindo em 1914, foi terminado o Canal do Panamá, um canal que liga o oceano Atlântico ao Pacífico, cuja obra conta com uma quantidade expressiva de sistemas de telemetria para a medição e monitoramento de bombas e níveis de água nas comportas, sendo o primeiro em tal escala [34].

O desenvolvimento da meteorologia se deu de maneira larga pelas radiossondas, isto é,

sistema de sonda de aquisição de dados que transmitem por RF, se deu pelo russo Pavel Molchanov e pelo francês Robert Bureau no início dos anos 1930, formando com isso os primeiros dispositivos de telemetria *wireless*. Especificamente no sistema de Molchanov, tem-se um sistema que foi acoplado a um balão meteorológico e obteve dados da temperatura e pressão atmosférica coletados e enviados por meio da modulação em sinais de código morse para a estação [20].

Enquanto isso, os alemães contavam com o Messina, um sistema de medição que consistia em um sinal primitivo multiplexado, usado no foguete V2, o primeiro míssil balístico. Mesmo que não fosse muito confiável, ele enviava 4 parâmetros a central de comando, sendo o engenheiro responsável Wernher von Braun [34].

Com a corrida espacial, durante a guerra fria, o investimento em tecnologias de posicionamento e em monitoramento a distância foram altos, que acarretou no aperfeiçoamento das técnicas e tecnologias empregadas, para o monitoramento de sondas e satélites não tripulados, além do interesse de monitoramento entre as potências, EUA e URSS. A preocupação dos EUA em monitorar seu adversário era visível, já que em 1959 é criado o Centro Nacional de Processamento de Telemetria (NTPC) [4], onde eram processados os dados captados de testes envolvendo foguetes soviéticos. Com isso, a telemetria tem um importante avanço em questão de atenção, pois ela poderia ser uma solução também de espionagem.

Nos anos 60, tem-se um rápido avanço nas tecnologias de *hardware* eletrônico, resultando em sistemas telemétricos de maior performance, de menor tamanho, peso e consumo energético, impulsionando assim o amadurecimento dos mísseis balísticos intercontinentais, além da realização do programa Apollo. Nesta época, tem também o mais importante feito em telemetria espacial com o foguete Saturno V e a cápsula Apollo e o módulo lunar. Em tais sistemas, a telemetria foi desenvolvida unificada com sistemas de rádio nas quais os mesmos enlaces de subida e de descida forneciam além de dados, funções de comando e de navegação. [20]

Nos anos 70, o avanço rápido das aplicações da telemetria, da comunicação digital e o advento dos computadores fez com que a área de telemetria se confundisse com a de telecomunicações. Tendo assim uma certa perda da visão única da área, delegando os atributos a uma área genérica da telecomunicação, mas sem perder sua devida importância. Segundo Mattos[20], temos desde então na área de telemetria, o uso de comunicação digital, onde: "o uso de componentes e subsistemas de estado discreto para executar funções

como comutação, controle de feedback, filtragem e codificação/decodificação em comunicações e telemetria.”Também, segundo Mattos, ”Sistemas de telecomunicações, telemetria e tecnologia digital formam hoje uma combinação inseparável, cada qual impulsionando a outra.”

É possível dizer que a telemetria e a telecomunicação andam juntas, e os avanços podem ser notados no dia a dia. Pequenos exemplos como o uso de celulares e internet, para a comunicação entre pessoas, e GPS e radiofrequência para a aquisição de posição e comunicação entre máquinas, são suficientes para perceber a imersão da tecnologia de telemetria em conjunto com a telecomunicação no mundo moderno.

## 2.2 Fundamentação Teórica

Por apresentar um sistema de sensoriamento de grandezas, se faz necessário a conceituação de teoria mecânica, além da eletrônica e computacional, temas principais do trabalho. Portanto, a fundamentação teórica será dividido em mecânica, eletrônica e computação.

A primeira parte será apresentada de forma sucinta, sem aprofundamento em teorias, mas, apresentando características necessárias para a fundamentação do trabalho, como faixa de utilização. As partes seguintes são apresentadas de forma mais elaboradas.

### 2.2.1 Mecânica do sistema

#### 2.2.1.1 Pneu

O conjunto formado pela roda e pneu é responsável por manter o contato entre veículo e chão, sendo o pneu o elemento que dá o atrito necessário com o solo por meio da banda de rolagem, parte mais externa do pneu. Este atrito ”segura”o carro durante o funcionamento, em momentos como a frenagem, aceleração, e curva em altas velocidades, ele garante que o comando dado pelo motorista será o efetuado pelo veículo, como por exemplo em uma curva, o pneu deve manter a trajetória do carro sem derrapar, se não, o motorista pode perder o controle da trajetória [22].

O pneu, como dito anteriormente, é o elemento de contato entre o piso e o automóvel.

A Figura 2.1, retirada do site Guia de compras Casas Bahia<sup>1</sup>, mostra os componentes de um pneu.



Figura 2.1 – Estrutura do pneu. Fonte: Guia de compra

O importante é notar a faixa lateral e a banda de rolagem por enquanto. A Faixa lateral é o componente que em conjunto com a pressão interna, tem a função de suportar o peso do veículo ao mesmo tempo que serve de amortecedor contra irregularidades de frequência maior que o amortecedor mecânico consegue agir.

Já a banda de rolagem, também influenciada pela pressão interna, tem a função de transmitir o torque do motor para o chão e frear o carro, por meio do atrito. A banda de rolagem se deforma no contato com o solo de acordo com a calibragem, como pode ser visto representado em vermelho na Figura 2.2, retirada da página da fabricante de pneus Pirelli<sup>2</sup>, que também mostra uma relação da calibragem com a vida útil do pneu.



Figura 2.2 – Representação da banda de rolagem de acordo com a pressão. Fonte: Pirelli

## Pressão

Segundo Çengel[37], "A pressão é definida como uma força normal exercida por um fluido por unidade de área". A pressão é geralmente relacionada a algum parâmetro, como

<sup>1</sup> Disponível em <http://guiadecompras.casasbahia.com.br/automotivos/guia-definitivo-saiba-tudo-sobre-pneus> Acesso em abril 2018

<sup>2</sup> Disponível em <https://www.pirelli.com/tyres/pt-br/car/about-tyre> Acesso em maio de 2018

por exemplo a pressão atmosférica ( $P_{atm}$ ) que é a pressão exercida pela coluna de ar da atmosfera, geralmente a nível do mar.

Com base na pressão atmosférica, pode-se medir a pressão manométrica ( $P_{man}$ ), sendo ela positiva ou negativa. A pressão positiva se dá quando a pressão é maior que a atmosférica, e a pressão negativa ou de vácuo ( $P_{vac}$ ) se dá quando a pressão medida é menor que a atmosférica. Outro modo de se relacionar a pressão medida é com o vácuo, ou pressão zero, e é chamada de pressão absoluta ( $P_{abs}$ ). Esta pressão pode ser definida como a pressão manométrica positiva menos a pressão atmosférica e pode ser conferida na Figura 2.3.

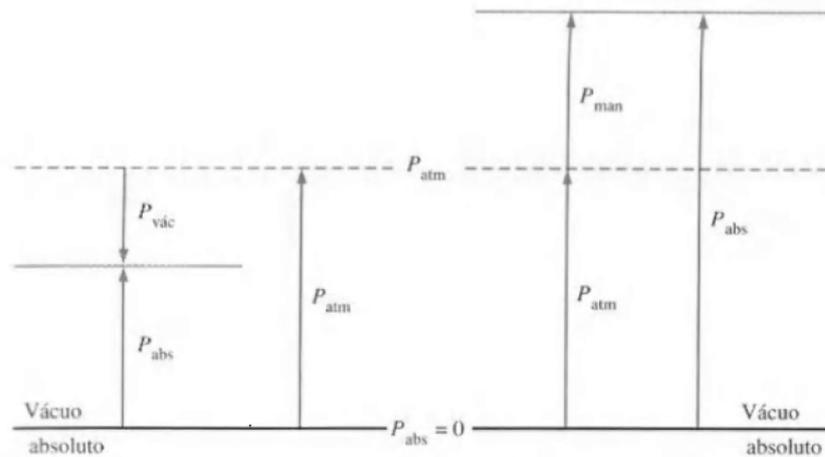


Figura 2.3 – Pressões absoluta, manométrica e de vácuo. Fonte: Çengel[37]

A medida de pressão no sistema internacional é dada por Pa (Pascal), que equivale a medida de força (N - newton) por unidade de área ( $m^2$  - metro quadrado) dada por  $\frac{N}{m^2}$ . Porém, como o automóvel tem sua história oriunda de países que utilizam o sistema imperial (EUA e Inglaterra), a medida em Psi é a mais utilizada. Psi é abreviado do inglês *Pound-force per square inch*, que indica a medida equivalente de pressão, do sistema imperial ao sistema métrico, dado por  $\frac{lbs}{in^2}$ , ou, libras por polegada quadrada.

Nos automóveis, a medida dos pneus se dá em termos de pressão manométrica positiva, já que a pressão é relacionada com a atmosférica e se dá acima da mesma.

## Vibrações

Para o trabalho em questão, não será aprofundado o tema sobre vibrações, pois este requer um grande detalhamento técnico. Entretanto, é possível analisar de aspecto mais superficial para se obter um melhor conhecimento do assunto.

”Corpo está em vibração se ele está animado de um movimento oscilatório em torno de uma posição de referência ou de equilíbrio. ”[2] Com esta explicação é possível entender que a roda e o pneu de um veículo estão sujeitas a diferentes tipos de vibrações, sejam oriundas do conjunto motor e trem de força, ou do sistema externo, como asfalto.

Estas vibrações são indesejadas por vários aspectos, incluindo a diminuição da vida útil de um equipamento, o desconforto de passageiros, o aumento de ruídos, e podem afetar o funcionamento de equipamentos eletrônicos.

Um meio de se evitar oscilações e vibrações em vários sistemas, é utilizando um conjunto amortecedor-mola. No carro, isto é feito pela suspensão e pelo pneu, este último devido a sua composição, constante elástica e pressão interna.

É possível dizer que o pneu e a roda são um sistema sujeito a oscilações, vibrações e impactos corriqueiros, causando desgastes pontuais que fazem com que o sistema perca a característica de simetria, a peça se torna assimétrica. Ao girar peças assimétricas, surgem forças radiais não equilibradas, ocasionando problemas de vibração e fadiga[23].

Ao se colocar uma massa em um objeto girante, tem-se que o objeto também se torna assimétrico. Isso indica que para se colocar um sensor de maneira que não produza interferência no veículo, é necessário balancear a roda, desde que este não seja pesado demais para realizar o balanceamento. É desejável portanto que o protótipo possua menor massa possível.

### 2.2.2 Eletrônica

#### 2.2.2.1 Microcontrolador

O microcontrolador é ”Um circuito integrado digital de alta densidade (larga escala de integração) que pode ser programado com uma série de instruções para realizar uma função específica sobre os dados.”[11]. É, em suma: Um circuito integrado que encorpora um núcleo de processador (CPU), na qual executa instruções lógicas e aritméticas; Memória de programa, onde fica armazenado a programação a ser executada; Memória de dados, onde pode ser armazenados dados gerados; E periféricos de entrada e saída programáveis. Ele é muito utilizado atualmente pela facilidade de programação e tamanho reduzido, além do poder de processamento que está em constante expansão, devido a densidade dos elementos componentes aumentar.

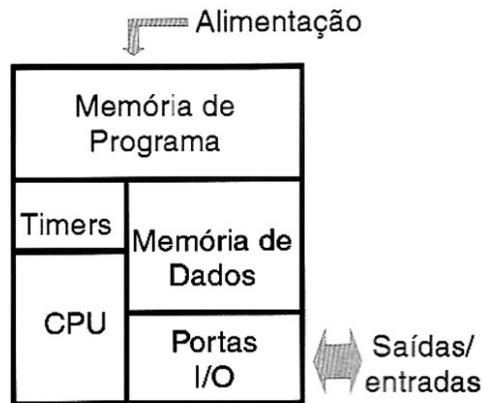


Figura 2.4 – Estrutura interna de um Microcontrolador. Fonte: Newton C Braga[6]

Agora será feita uma pequena explicação sobre os sistemas que compõem o microcontrolador.

## CPU

É o "Cérebro" do microcontrolador, a unidade central de processamento (em inglês *Central Process Unit - CPU*), executa os dados e instruções.

Seu poder de processamento pode ser medido em MIPS (ou *Millions of Instructions Per Second*) que traduzido é Milhões de instruções por segundo. Isso significa que quanto maior o MIPS de um processador, melhor é o tempo de execução de seu código [29].

## Memória de programa

Parte do dispositivo na qual o programa a ser executado pela CPU está inserido. É feito por programas e dispositivos gravadores, que serão explicados na seção de Computação.

## Entradas e saídas - Portas I/O

Microcontroladores contam com portas de entradas e saídas, ou *Input/Output(I/O)*, como observado na Figura 2.4, que servem para comunicar o dispositivo com o mundo externo, seja recebendo ou enviando dados para outros dispositivos. Um dispositivo muito importante é o conversor analógico/digital que será explicado abaixo.

Conceitualmente, qualquer fenômeno físico é contínuo, isso quer dizer que eles podem ser quantizados, porém, não se descontinuum ao mudar de valor. Isso quer dizer que, por exemplo, a temperatura de um determinado ambiente ao ser aquecido não "salta" de 24 para 25° C, isto é, ele se eleva de forma contínua, sendo acrescido de maneira infinitesimal até alcançar o valor final. Isto gera um problema para a computação, já que na eletrônica digital, os dados são binários, portanto, descontínuos.

### **Conversor A/D**

Um conversor analógico-digital (ADC ou A/D) é um aparelho para a conversão de valores digitais em um fenômeno que varia no tempo [24]. Microcontroladores geralmente possuem portas com tais conversores, como já citado acima, isto é de grande ajuda pois nem sempre é possível ou viável usar de sensores que transmite os dados aferidos no formato digital.

### **Memória de dados - EEPROM e RAM**

Enquanto o programa é executado, a CPU pode utilizar da memória de dados para armazenar estados, variáveis ou qualquer tipo de dados ou resultados a ser posteriormente utilizados.

Esta memória pode ainda estar disponível em formas diferentes, RAM, EEPROM ou *flash*. A memória RAM é volátil, ou seja, apenas armazena dados enquanto está energizada, quando a alimentação cessa, os dados são perdidos. A EEPROM e a flash são memórias não-voláteis, que indica que ao contrário da RAM, elas não perdem os dados com a falta de energização. Todas são úteis para o microcontrolador, pois a memória RAM por exemplo é mais rápida na leitura/escrita de dados em comparação com a EEPROM, além de possuir uma durabilidade maior, o que faz com que possa ser utilizada durante a execução do programa. Enquanto a EEPROM e a *flash* são utilizadas quando se quer manter dados, por exemplo, de medições anteriores, funcionando como um registro [7].

### **Timer**

O Timer é uma unidade de temporização, tem grande importância desde que ele é um contador que pode ser utilizado pelo programa em execução, como temporizador ou

registro de diferença de tempo, com sua contagem sendo mantida com um tempo fixo, na qual varia de acordo com o modelo do microcontrolador utilizado [3].

#### **2.2.2.2 Sensor**

”O elemento sensor é o componente do instrumento que converte a variável física para outra forma mais usável”[27]. O elemento sensor pode ser chamado de transdutor, já que se traduz grandezas em outras, como foi definido. No caso deste trabalho, serão abordados dois sensores de natureza eletrônica, que transmitem grandezas mecânicas (pressão e temperatura) em grandezas elétricas (tensão).

Existem diferentes tipos de sensores para as mais variadas aplicações, por isso, suas características são de vital importância para se quantizar e qualificar a utilização em determinados processos. Algumas destas características são citadas a seguir, com uma breve análise de sua importância.

#### **Sensibilidade**

A sensibilidade de um transdutor indica qual deve ser a variação menor da intensidade da grandeza medida que o sensor pode detectar, ou seja, a menor variação da grandeza medida que cause uma alteração sensível do sinal elétrico de saída. Este sinal pode ser uma tensão, corrente, resistência ou ainda uma frequência [6].

#### **Resolução**

Define-se como resolução o menor incremento da grandeza física medida que provoca uma mudança no sinal de saída do sensor. No caso de sensores digitais, a resolução se dá pelo menor incremento da grandeza física medida que provoca uma mudança de 1 bit na leitura de saída do sensor digital [35]. Na Figura 2.5, tem um exemplo de diferenças entre resoluções de saída para uma entrada senoidal.

#### **Linearidade**

Dado um sensor, sua capacidade de converter medidas deve ser o mais próximo do real, ou seja, para cada variação da grandeza medida, a variação da grandeza emitida deve ser proporcional. Isso se dá pela linearidade do sensor. A linearidade é importante

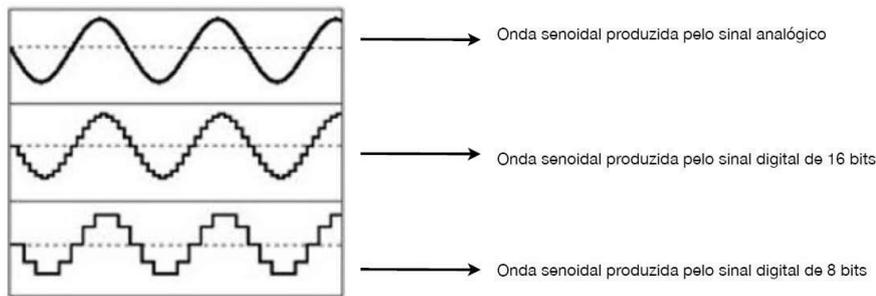


Figura 2.5 – Diferença entre resoluções. Fonte: Santo Ângelo[31]

para o tratamento de dados já que permite que o microcontrolador trabalhe com contas simples e que seja invariável, independente da faixa de medição.

### Faixa de Medição e *Span*

”A Faixa de Medição é definido a todos os níveis de amplitude da grandeza física medida nos quais se supõe que o sensor pode operar dentro da precisão especificada”[35]. Seguindo temos o *span* que é a ”diferença algébrica entre o valor superior e inferior da faixa de medição do instrumento”[35]. Ex: um instrumento com Faixa de medição entre 100°C e 250°C possui *span* igual a 150°C.

### Precisão

Precisão é a quantificação do maior erro que um instrumento pode ter em sua faixa de operação. A exatidão é a diferença absoluta entre o valor de saída do sensor e a saída esperada, ou real, do sistema [35]. Abaixo, temos a imagem comparando precisão e exatidão.



Figura 2.6 – Diferença entre precisão e exatidão. Adaptado de Thebas[35]

Tem-se na imagem acima, a cruz azul que seria o ponto medido, e as cruces em preto os valores medidos. É possível perceber que existem configurações que influenciam a dinâmica do sensor, e caso o sensor não seja bem dimensionado de acordo com a necessidade

do sistema, podem ocorrer resultados indesejados. Deve-se conhecer bem o sistema, tal como suas propriedades e pontos de operação para obter um sensor ideal.

### Calibração

Por fim, tem-se a calibração, que segundo o Inmetro [14] trata-se de: "Conjunto de operações que estabelece,(...) a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição (...) e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões." Também pode ser chamada de aferição, que é o resultado de uma comparação. Em outras palavras, utiliza-se a calibração para configurar o sistema de medição de forma que, usando de uma ou mais medidas conhecidas, seja possível detectar um erro comparando-as e minimizando o erro, agindo no sensor aferido.

A calibração será melhor avaliada e descrita na seção 4.2.

#### 2.2.2.3 Radiofrequência - RF

A RF é a "faixa de frequência que abrange aproximadamente de 3 kHz a 300 GHz e que corresponde a frequência das ondas de rádio"[28]. Ela é gerada quando há movimentação de corrente elétrica em fios condutores, que produz perturbações de natureza eletromagnética capaz de se propagar no espaço [8]. Isso significa que qualquer tipo de dispositivo eletrônico é capaz de produzir perturbações eletromagnéticas, porém, o alcance do sinal é definido por uma série de fatores, como a potência e, principalmente, a frequência do sinal.

A frequência é dividida em faixas de utilização, para haver um uso disciplinado em todo mundo. As faixas são:

- 100 a 500 kHz, Utilizado em comunicação militar e na aviação.
- 550kHz a 1,6MHz, Utilizado pela radiodifusão de ondas médias (AM)
- 1,6 a 50MHz, Utilizado para serviços públicos, radioamadores, comunicação rural e radiodifusão de longo alcance.
- 50MHz a 300GHz, Utilizado para serviços públicos, polícia, radiodifusão (FM), aviação, bombeiros e afins.

A legislação é bem rígida de acordo com a faixa a ser atuada, com frequências e potências que podem ser operadas definidas, sendo algumas faixas dentro das citadas até

proibidas de serem usadas. No mercado são facilmente encontrados módulos de transmissão e recepção nas faixas de 315 e 433MHz, que se dá por ser uma faixa de livre uso, ou seja, não interferir em frequências essenciais de comunicação, sendo assim de uso irrestrito.

Uma aplicação de comunicação sem fio utilizando RF depende além de sua frequência, de uma modulação. Esta modulação é a forma na qual os dados vão ser enviados e interpretados pelo emissor e receptor, como uma forma de codificação do sinal. Isto é necessário devido a natureza dos dados a ser emitido serem digital enquanto o sinal de RF ser da natureza analógica senoidal.

Existem muitos tipos de modulação diferentes, cada um trata os dados enviados diferentemente. Abaixo será citado alguns mais conhecidos.[8]

- AM - Modulação em amplitude: Tem-se um sinal portador fixa na qual é somado um sinal analógico desejado, sem alterar sua frequência ou fase, sendo apenas sua amplitude.
- FM - Modulação em frequência: Tem-se um sinal portador fixo na qual sua frequência é variada de acordo com o sinal analógico a ser emitido.
- FSK - Modulação por chaveamento de frequência: Baseando-se em um sinal digital, a frequência de um sinal base é modificado, análogo ao FM, porém em um valor predefinido para os valores do bit emitido (0 ou 1).
- ASK - Modulação por chaveamento de amplitude: Baseia-se na alteração da amplitude de um sinal portador, análogo ao AM, porém, seu valor apenas varia entre 0 (amplitude mínima) e 1(amplitude máxima).

### 2.2.3 Computação

O microcontrolador não possui utilidade caso não seja programado, devido ao fato de seu processador não executar nenhuma ação caso a memória esteja sem dados. A programação de microcontroladores se dá de forma análoga a confecção de programas para computadores, pois é necessário utilizar uma linguagem de programação, de um compilador e, diferentemente dos computadores, de um gravador de microcontrolador. A diferença entre as programações está na necessidade de se "baixar"o programa compilado ao microcontrolador para este executá-lo.

Antes, deve-se conceituar algumas expressões.

### 2.2.3.1 Linguagem de Programação

É "uma forma de "interação" que possibilita que um determinado sistema (seja qual for, desde que "programável") compreenda o que deve ser feito através de comandos implementados de acordo com o que se conceitua Lógica de Programação "[33]. Do ponto de vista do programador, é o código com comandos lógicos padronizados que devem ser executados pelo sistema.

As linguagens existentes se diferem quanto a sintaxe e lógica de programação, sendo divididas por alguns autores pelo "nível". O nível de uma linguagem se dá por meio de uma comparação entre a "língua" utilizada pelo programador e a "língua" de um microcontrolador, sendo o que mais se aproxima do programador chamado "nível alto", com comandos mais intuitivos e sucintos, como é o caso do Portugol. Ao passo que a linguagem mais aproximada do sistema é chamada "nível baixo", com comandos menos intuitivos, sendo necessário saber melhor sobre o hardware a ser programado, como é o caso da linguagem Assembly [33].

Qualquer editor de texto ASCII pode ser utilizado para criar códigos para serem posteriormente compilados, porém, a maioria de compiladores já contam com editor integrado.

Alguns exemplos de linguagem são: C/C++, Java, Assembly, BASIC, Python e Pascal.

### 2.2.3.2 Editor

É o programa editor de texto, onde o mesmo é escrito e formatado de acordo com a necessidade. Geralmente é unido ao compilador em um mesmo conjunto, sendo assim pouco conhecido que na verdade se tratam de *softwares* diferentes.

### 2.2.3.3 Compilador

É um programa "tradutor" que converte a linguagem do código em uma linguagem na qual o microcontrolador reconheça. Essa conversão é necessária desde que o dispositivo trabalha com bits, diferente da linguagem escrita pelo programador.

### 2.2.3.4 Gravador

O processador apenas executa o que está em sua memória, se faz necessário então que o código compilado esteja na memória do microcontrolador. Para transferir o código compilado para o microcontrolador, utiliza-se um gravador.

Na Imagem 2.7 retirado da Apostila Microcontroladores PIC [29], temos um exemplo de sequência de programação em um microcontrolador, neste caso um PIC da empresa MICROCHIP. Onde se lê tradutor e programador, tem-se o compilador e gravador respectivamente .

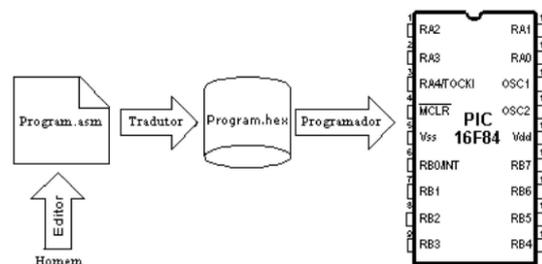


Figura 2.7 – Estágios para se configurar um PIC. Fonte: Apostila PIC[29]

## 2.2.4 Computação física

A computação física é uma área de pesquisa que associa dados analógicos e digitais, num processo chamado transdução [12], que já foi citado no tópico de sensores 2.2.2.2 como sendo uma definição para sensor. Isso se dá pois é o sensor o elemento primário na conversão de dados analógicos em digitais [35], e a partir destes dados, o microcontrolador pode realizar ações de acordo com sua programação.

Tem-se que, a computação física, é uma espécie de mistura entre *hardware* (parte física) e *software* (parte virtual), na qual a interação entre o computador e o ambiente evolui de acordo com a necessidade de aquisição de dados e de atuação, por meio de sensores e sistemas controlados. A computação física tem por proposta reduzir a distância entre o mundo físico e o virtual, e isso, com o advento dos microcontroladores tem se tornado mais propício, já que os sistemas embarcados se tornam mais baratos, precisos, simples e fáceis de se programar [25].

A programação se dá pelos mesmos meios da computação "clássica", se diferenciando pela proposta de focar nos dispositivos a serem programados, contendo assim soluções em programação diferentes, dados dispositivos diversos. Tem-se o LEGO NXT Mindstorm

como exemplo de computação física microcontrolada. O Mindstorm é um kit com vários sensores e atuadores modulares que se conectam a centrais que processam estes dados e interagem de acordo com sua programação. Na Figura 2.8 <sup>3</sup>é mostrado um exemplo de programação simples em blocos voltado a crianças.

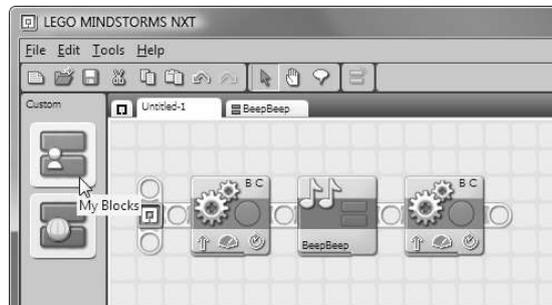


Figura 2.8 – Programação em blocos. Fonte: NXT Programs

A programação se dá de maneira intuitiva, fazendo com que a distância entre o virtual e o real se torne menor, sendo um exemplo de aplicação da computação física.

<sup>3</sup> Disponível em <http://www.nxtprograms.com/help/MyBlocks/tutorial.html> Acesso em Maio de 2018



## Desenvolvimento

É necessário primeiramente planejar as etapas que deverão proceder para o desenvolvimento do projeto, e em seguida com os estudos feitos, escolhe-se os elementos que farão parte do dispositivo. Tais elementos devem ser compatíveis entre si e possuir as características necessárias para atender aos requisitos do projeto. Será iniciado então a escolha dos componentes divididos nas próximas seções, respeitando as características necessárias.

Faremos também uma relação entre as placas que compõem o projeto. Nomearemos a placa que disponibiliza os dados para o usuário como Central e a placa que contém os sensores de Medidora, para facilitar a relação.

### 3.1 Metodologia

Busca-se primeiramente revisões bibliográficas sobre a dinâmica do pneu, sensores e telemetria, para iniciar os estudos em tais temas. Por ser um sistema sujeito a oscilações, pressão e temperatura acima das médias ambientes (26°C e 14,5PSI ambiente, contra 65°C e 70PSI que pode chegar um pneu [19]), deve-se estar atento as particularidades dos componentes, para obter um modelo que suporte. A partir disso é possível definir o projeto, parâmetros e recursos necessários, como equipamentos, microcontroladores usados e sensores.

O circuito de medição descrito será formado de sensores de temperatura e pressão, devidamente dimensionados de forma a suportar o ambiente em que serão submetidos. Possuirá então um microcontrolador para fazer a leitura dos dados dos sensores e os organizarem a fim de se enviar via radiofrequência. Ele contará também com uma bateria

para energizar o sistema, pois, o circuito ficará numa posição de difícil acesso para cabos, por isso a radiofrequência se faz necessária.

O circuito da central receptora por sua vez funcionará com um Arduino configurado para receber os dados via radiofrequência (RF) e os mostrar na tela. Os dados mostrados serão tratados a fim de se analisar a condição do pneu, caso seja deferida alguma anormalidade, a central alertará o motorista por meio de avisos sonoros, por meio de *buzzer*, e visuais, como uma mensagem na tela. Sua alimentação se dará pelo conector 12V, disposto no painel de muitos carros no mercado, por meio de uma fonte reguladora para alcançar a tensão de trabalho do circuito de 5V.

Com a definição dos parâmetros, simulações eletrônicas serão feitas para comprovar a funcionalidade do sistema, assim, outra revisão será feita com base nos resultados das simulações caso seja necessário. Então, serão feitos o orçamento final e o pedido das peças, para assim, seguir com a montagem. Já com o equipamento devidamente montado e soldado, mais testes comparativos às simulações serão feitos para comprovar o bom estado das peças e montagens. Então será feita a análise final do equipamento em rodas preparadas para receber o sistema.

## 3.2 Escolha dos componentes

### 3.2.1 Microcontrolador

O projeto necessita de 2 microcontroladores, um para emitir os dados do sensor e outro na central para receber, entre outras coisas, o microcontrolador da central deve possuir:

- Duas portas de entrada com conversor A/D
- Memória EEPROM para guardar dados adquiridos
- Dez entradas/saídas digitais

O microcontrolador da central escolhido é o ATmega328p (Figura 3.1)<sup>1</sup> da Atmel, empresa comprada pela Microchip em 2016, seguiremos falando dele. A escolha se dá pelas especificações do ATmega328p serem compatíveis com o projeto e o microcontrolador ser de fácil programação, já que é utilizado na placa de desenvolvimento Arduino

---

<sup>1</sup> Disponível em <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328P> Acesso em Maio de 2018

UNO(Figura 3.2)<sup>2</sup>, podendo ser programado pela interface Arduino IDE que será melhor detalhada abaixo.



Figura 3.1 – ATmega328p Fonte: Microchip

O Arduino UNO, como dito anteriormente, é uma placa de desenvolvimento baseada no ATmega328p, que auxilia no projeto de aplicações que utilizam este microcontrolador. Ela conta com uma interface USB para a conexão com o computador, além de reguladores de tensão para que possa alimentar a placa com tensões acima dos 5V nominais do microcontrolador, caso seja necessário. A placa será utilizada no trabalho para auxiliar na programação do microcontrolador externo assim como será utilizada no projeto da central, por não necessitar de tamanho reduzido, a placa se mostra prática por eliminar a necessidade de componentes adicionais, como os reguladores de tensão supracitados.



Figura 3.2 – Arduino UNO. Fonte: Arduino

O ATmega328p trabalha na faixa de tensão entre 1,8 e 5V, possuindo 23 portas I/O. Estas portas são conexões entre o microcontrolador e o circuito externo, podendo funcio-

<sup>2</sup> Disponível em <https://arduino.cc> Acesso em Maio de 2018

nar como entrada ou saída de dados, como por exemplo, pode ser utilizado para receber bits de um sensor.

São algumas características do microcontrolador (Retirados do *datasheet* da fabricante):

- 23 portas I/O;
- 8 canais de conversor A/D com 10 bit de resolução;
- Memória EEPROM 1KByte;
- até 20 MIPS em 20MHz;
- Temperatura de trabalho entre -40°C e 105°C;

Estas características mostram que o microcontrolador escolhido é indicado para o projeto.

O segundo microcontrolador deve possuir a seguinte configuração:

- Duas portas de entrada com conversor A/D
- Memória EEPROM para guardar dados adquiridos
- Uma saída digital
- Suportar temperaturas de até 80°C
- Um dos microcontroladores deve ter tamanho reduzido

O microcontrolador do sensor escolhido foi o ATTINY 85, da Atmel (Figura 3.3)<sup>3</sup> da Atmel, A escolha se dá de maneira semelhante a escolha do Atmega, sendo que o attiny tem a proposta de ser um microcontrolador mais simples e menor, para realizar trabalhos que exigem menor poder de processamento e entradas/saídas lógicas.

O ATTINY também pode ser programado pela IDE do arduino, através de um arduino UNO, que funciona como gravador, facilitando a programação do microcontrolador, por este ultimo não conter interface USB.

O ATTINY trabalha com uma faixa de 1,8 a 5V, que é suficiente para o sensor.

São algumas características deste microcontrolador (Retirados do *datasheet* da fabricante):

---

<sup>3</sup> Disponível em <https://potentiallabs.com/cart/image/cache/attiny%2085-800x800.jpg> Acesso em Maio de 2018



Figura 3.3 – Atmel ATTINY. Fonte: Potential Labs

- 6 portas I/O;
- 2 canais de conversor A/D com 10 bit de resolução;
- Memória EEPROM 512 bytes;
- até 20 MIPS em 20MHz;
- Temperatura de trabalho entre -40°C e 105°C;

Estas características mostram que o microcontrolador escolhido é adequado para o projeto.

### 3.2.2 Sensor de pressão

O sensor utilizado deve:

- Suportar e medir pressões entre 99KPa e 300KPa (Faixa de Medição);
- Operar em 5V;
- Suportar temperaturas de até 80°C;
- Possuir boa resolução (sentir a mudança de 1 PSI);
- Possuir boa linearidade;

O sensor escolhido foi o SM5420CP - 100PSI PORT fabricado pela SMI, mostrado na Figura 3.4<sup>4</sup>, nas configurações HOLE (à direita) e PORT (à esquerda). O sensor é indicado para aplicações de tamanho reduzido, sendo inclusive utilizado em sensores *TPMS* de fábrica, como afirma o *Datasheet* do sensor.

Suas características incluem:

- Faixa de medição de 0 a 689KPa (100PSI);
- Opera entre 0 e 10V;
- Suporta temperaturas entre -40 e 125°C;
- Span de 100mV (1mV por PSI);
- Possui linearidade entre -0,2 e 0,2%;

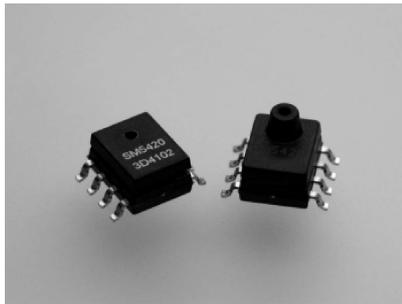


Figura 3.4 – SM5420C. Fonte: Datasheet do fabricante

A linearidade de 0,2% indica que o sensor pode ser considerado linear, já que no pior ponto de operação (onde a medição é menos fiel ao real), a variação da linearidade é mínima, não atrapalhando o sistema.

Contando com as características descritas, o sensor é adequado para o projeto.

### 3.2.3 Sensor de temperatura

Por contar com muitos modelos no mercado, foram listados três modelos diferentes de sensores, para comparação. Segundo testes realizados por Martinazzo[26] à temperatura ambiente (25°C), foram obtidos os seguintes dados da tabela:

Observa-se que os três sensores atendem aos requerimentos do sistema, visto que, o sensor com maior valor de variação possui erro de 0,57% em relação ao valor medido. Isso

<sup>4</sup> Disponível em [http://www.mouser.com/ds/2/589/SM5420C\\_Datasheet2-274879.pdf](http://www.mouser.com/ds/2/589/SM5420C_Datasheet2-274879.pdf) Acesso em Maio de 2018

<sup>5</sup> Menores valores encontrados no site Mercado Livre no dia 03 de Junho de 2018



É esperado que o módulo escolhido não sofra com ruídos e que ele seja compatível com o Arduino, operando em 5V.

Contando com a simplicidade e o baixo custo, além de ser compatível com Arduino, foram escolhidos os modelos MX-FS-03V (Receptor) e MX-05V (Emissor), mostrados na Figura 3.6 <sup>7</sup>, sendo o receptor à esquerda e o emissor à direita.

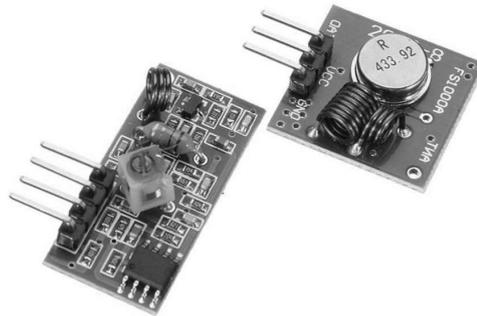


Figura 3.6 – Módulos receptor e emissor RF. Fonte: FilipeFlop

Estes módulos contam com modulação ASK, emitindo assim sinais apenas quando se envia bit de dados com valor alto (1), gastando menos corrente em estado de espera, que pode ser de grande ajuda ao utilizar este módulo em dispositivos que são alimentados por bateria, que é o caso deste projeto.

Sendo assim, o módulo escolhido é adequado para o projeto.

### 3.2.5 Display de Cristal Liquido LCD

É necessário que o display funcione em 5V, seja retroiluminado, para facilitar na leitura, possua espaço suficiente para mostrar os dados obtidos, considerando o seguinte formato:

Pres: XX,X PSI

Temp: XX °C

Tem-se 14 caracteres utilizados no máximo.

<sup>7</sup> Disponível em <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rf-transmissor-receptor-433mhz-am/> Acesso em Maio de 2018

O display escolhido é o LCD de 16x2 da Figura 3.7 <sup>8</sup>, que possui este nome por possuir 16 espaços de escrita de caracteres em 2 linhas, podendo assim escrever frases de até 32 caracteres seguidos. Isto é mais que o necessário, já que a expectativa é que o projeto mostre para o condutor os dados de pressão e temperatura em uma roda como supracitado.



Figura 3.7 – Display 16x2. Fonte: UsinaInfo

## 3.3 Programação

Foi utilizada a interface de desenvolvimento do Arduino (Arduino IDE), que conta com o conjunto de ferramentas *GNU* e o *AVR Libc* para compilar o programa.

Em seguida o código compilado é enviado para a placa Arduino por meio do *avrdude*, sendo este último o gravador citado anteriormente no texto (Subseção 2.2.3.4).

A seguir é explicado a lógica utilizada para criar o algoritmo.

### 3.3.1 Fluxogramas

A programação a ser implementada será mostrada de forma sucinta por meio de fluxogramas. Serão utilizadas diferentes abordagens para a placa central e a medidora, devido ao funcionamento distinto.

A Figura 3.8 mostra os fluxogramas a serem implementados no Arduino uno e no atmega, de forma a funcionar como placas central e medidora. A distinção de qual placa se refere o fluxograma está abaixo dele na figura.

<sup>8</sup> Disponível em <https://www.usinainfo.com.br/displays-arduino/display-lcd-16x2-com-fundo-azul-2304.html> Acesso em Maio de 2018

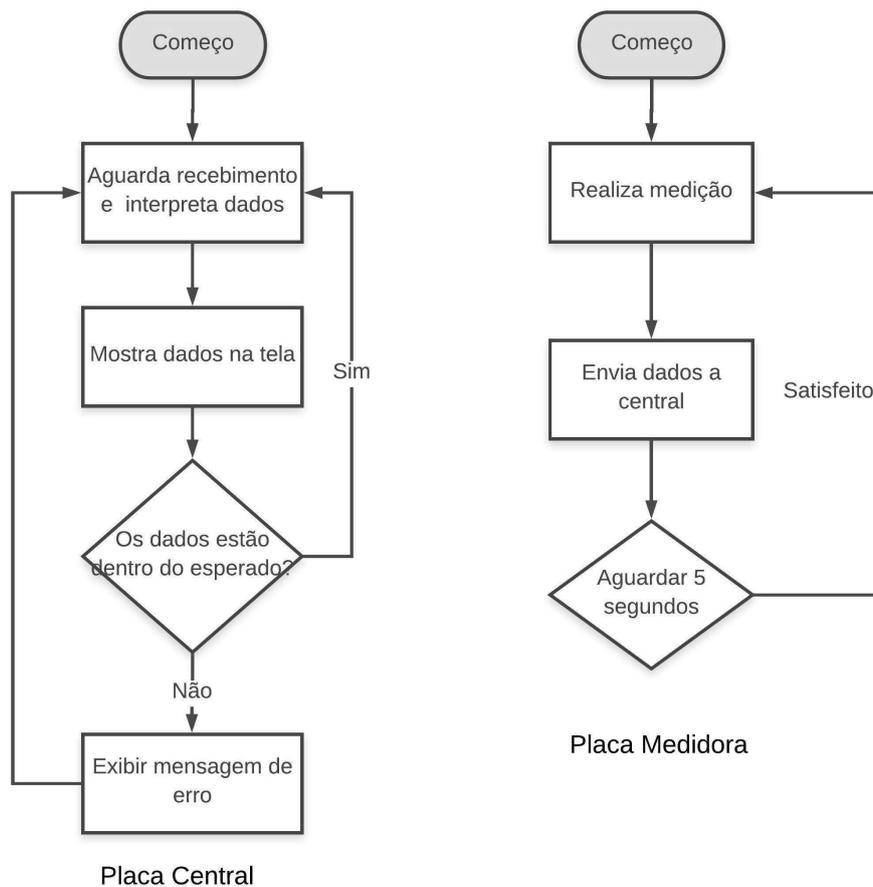


Figura 3.8 – Fluxograma da programação das placas

Pode ser notado que ambos os programas começam a funcionar quando é energizado e só param ao cessar da alimentação. A tomada de decisão é feita após tratar e exibir os dados recebidos, pois, a placa medidora envia os dados de forma sequencial única em bits, sendo necessária a conversão de tais valores para decimais, separando os dados de pressão e temperatura.

Ao notar a condição de dados fora do esperado, a central deve mostrar uma mensagem de erro no *display* alternando com o valor medido. A mensagem terá diferentes níveis de urgência de acordo com a relevância do problema. Por exemplo, um pneu que está um pouco abaixo da pressão ideal mas não varia este valor deve ter pouca importância, apenas mostrando a mensagem na tela. Em contrapartida, um pneu que está perdendo pressão a cada minuto, deve ser considerado como mais urgente, chamando a atenção do condutor ao problema, para poder intervir.

O programa da Medidora se mostra mais simples que o da Central, isso se dá pelo fato de que a função do microcontrolador é ler os dados dos sensores nas portas analógicas e



simulação no mercado. Estes testes são divididos em: Transmissão, Distância e Confiabilidade.

Em seguida, foi realizado um teste para aferir a capacidade de leitura de sensores analógicos, e de se enviar periodicamente os dados adquiridos a um computador, por intermédio de dois Arduinos.

Todos os testes supracitados são apresentados nas subseções a seguir.

### 3.5.1 Transmissão

Nesta subseção, a intenção foi testar a capacidade de se enviar um dado por um microcontrolador e receber em outro utilizando a radiofrequência. O teste foi feito usando os seguintes itens:

- Dois computadores
- Um Arduino UNO
- Um Arduino Nano<sup>9</sup>
- Um emissor RF
- Um receptor RF

O teste foi executado com o envio de sequências pré definidas de dados decimais entre os microcontroladores, a uma distância média de 30cm. Com isso, o computador, enviará para o Arduino caracteres, fornecidos pelo operador, por meio da comunicação serial que por sua vez enviará pela radiofrequência para o outro Arduino, o qual exibirá o estes caracteres na tela. Espera-se que os dados enviados sejam recebidos.

O teste foi bem sucedido, visto que o operador forneceu três números distintos (2999992, 2000002 e 2335402) os quais foram exibidos no outro computador, por meio da comunicação em RF entre os Arduinos.

---

<sup>9</sup> A utilização desta placa se deve a facilidade e disponibilidade do aluno, sendo que esta utiliza o mesmo microcontrolador a ser utilizado no projeto final

### 3.5.2 Distância

Nesta subseção, a intenção foi testar a distância na qual a Central consegue receber os dados emitidos pela Medidora sem perdas. Os itens utilizados foram os mesmos do teste de Transmissão, com o acréscimo de um LED de 3,3V e um resistor de 410  $\Omega$ (Ohm).

O teste funcionou com o envio de sinais para ligar e desligar um LED que estará conectado a um Arduino contendo o receptor. Com isto, a cada 10 alterações de estado do LED, o Arduino será afastado por 1 metro, até a distância de 10m em ambiente aberto. A medida de 10m foi considerada o suficiente para a aplicação desejada em vista que o comprimento de um carro médio se dá na faixa de 4,7m [1].

O teste feito mostrou a capacidade da operação a distância, tendo como resultado a alternância entre estados do LED até a distância máxima.

### 3.5.3 Confiabilidade

O intuito deste teste foi de medir a confiabilidade dos dados recebidos. Isto se dá na transmissão periódica de um valor fixo de forma que, após 100 transmissões, os dados sejam comparados e os erros quantificados. O teste deverá utilizar os mesmos itens da subseção Transmissão (3.5.1).

Foi escolhido um valor arbitrário decimal, dado por "20550", na qual será enviado 100 vezes pelo emissor. O trabalho do receptor será esperar por dados e, ao receber, conferir se o valor recebido é igual ao pré-definido (20550). Caso o valor não fosse o mesmo, tem-se um erro de comunicação, então cabe ao receptor armazenar o erro. Ao final de 100 dados recebidos, o receptor deve apresentar ao usuário o número total de dados recebidos, o número total de erros e a média dos valores obtidos, espera-se um erro pequeno.

O teste se mostrou um sucesso visto que, após a sequência de recebimentos, o receptor indicou que todos os dados apresentaram o mesmo valor emitido, a média dos dados obtidos foi igual ao valor transmitido pelo emissor, sendo assim o erro nulo.

### 3.5.4 Teste periódico com LM35

Este teste foi feito com o sensor de temperatura LM35, que será utilizado no projeto final, em conjunto com um Arduino para que, este envie periodicamente, dados referente a temperatura ambiente para um segundo Arduino. Este teste tem a intenção de analisar

a leitura de dados analógicos pelo microcontrolador, enviando os dados de forma remota *wireless*.

A leitura dos valores de temperatura pelo microcontrolador se deu em 20 segundos, na qual os dados serão enviados com intervalos de 1 segundo. Portanto, serão feitas 20 leituras no total, as quais devem ser quase sempre iguais, visto que o ambiente não sofre alterações notáveis de temperatura em um período curto como o amostrado.

O resultado do teste foi satisfatório, dado que a leitura dos dados se deu de forma quase contínua, com valores próximos ao esperado. A variação de leitura foi mínima (menos de  $0,5^{\circ}\text{C}$ ), que pode ser creditado a variações na alimentação e precisão do sensor, como já foi citado no texto, podendo assim ser desconsiderado como erro de leitura.

## Execução do Projeto

A execução do projeto se deu da mesma maneira como estão listados os subcapítulos a seguir, iniciando com a confecção das placas, depois do encapsulamento, em seguida a calibração e seguindo finalmente pelos testes de rodagem.

### 4.1 Confecção do Protótipo

#### 4.1.1 Placa-medidora

Definiu-se a posição de encaixe da placa-medidora na ponta da válvula de calibração do pneu, portanto, desenvolveu-se esta com a intenção de ocupar um menor espaço volumétrico, então o sensor foi pensado em vários níveis, com os sensores de pressão e temperatura e o microcontrolador na mesma face de uma placa de fenolite, enquanto a bateria e o emissor de radiofrequência foram encaixados de maneira a ficar em camadas paralelas.

A placa de circuito (PCB) foi concebida com a ajuda do software Proteus de CAD/-CAE de eletrônica, na versão de estudante, com o desenho das trilhas, que pode ser visualizado na Figura 4.1.

Na Figura 4.2 é mostrada a placa de fenolite confeccionada a partir do desenho anterior, com suas trilhas de cobre formando os condutores.

Posteriormente, os componentes foram soldados a placa e esta, submetida a testes de continuidade para verificar a solda e a transmissão de corrente e tensão entre os componentes.

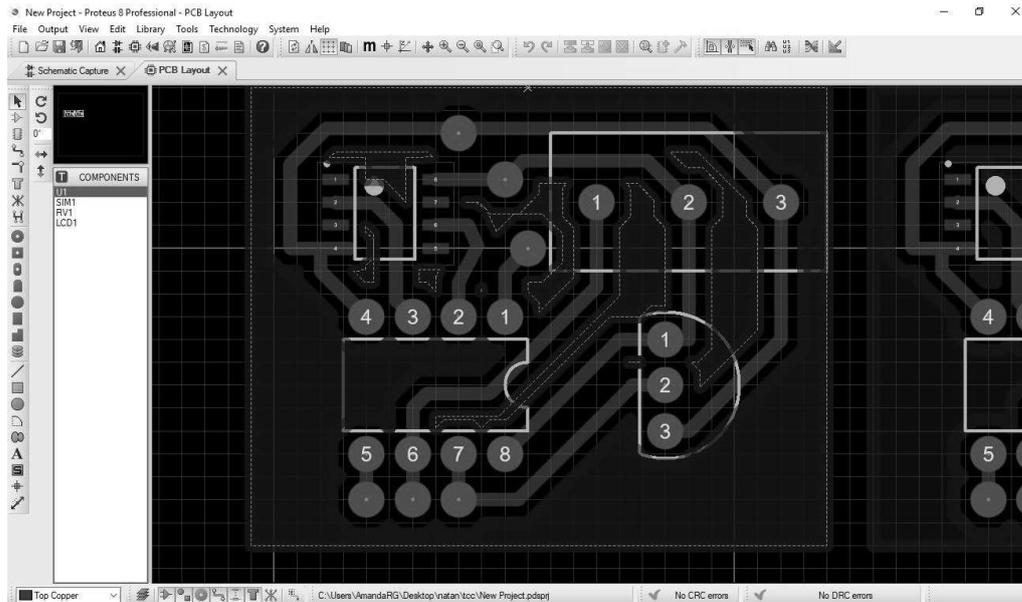


Figura 4.1 – Desenho da placa-sensor

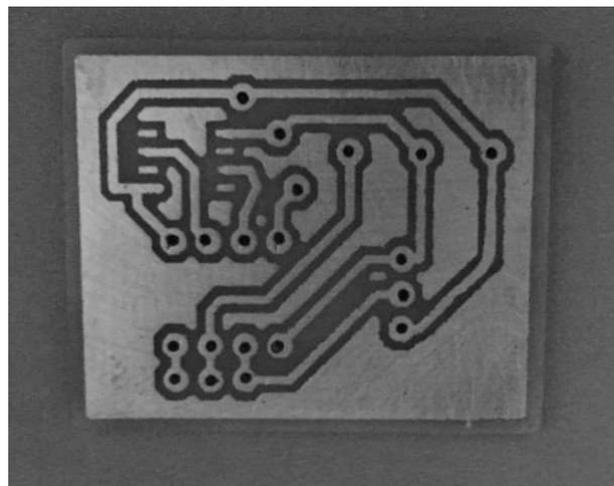


Figura 4.2 – Placa pronta

### 4.1.2 Encapsulamento

Encapsulamento diz respeito a "capa" necessária para o sensor, como mencionado anteriormente, foi decidido que a placa fique acoplada ao bico do pneu, para isso se fez necessário então que a placa esteja dentro de um invólucro que seja capaz de suportar e manter a pressão sem vazamentos.

Para facilitar a prototipagem e o desenvolvimento, foi escolhido como método de fabricação a "impressão 3D" que consiste na extrusão de plástico ABS aquecido sobre uma mesa, de forma a produzir um objeto físico com 3 dimensões subdividido em camadas, que vão se sobrepondo.

O desenho foi feito a partir de programa especializado em CAD 3D, tomando por base

as dimensões da placa-sensor e de forma a manter um tamanho reduzido para facilitar o acoplamento ao bico. Em seguida, o modelo foi "fatiado" em camadas para prosseguir com a impressão.

De forma sucinta, a Figura 4.3 mostra uma vista isométrica do modelo desenvolvido, em anexo estão mais vistas técnicas com cotas do modelo. Como não é a intenção do trabalho aprofundar na durabilidade ou resistência do sensor, tal como o desenvolvimento, testes de resistência e detalhamentos da fabricação foram omitidos.

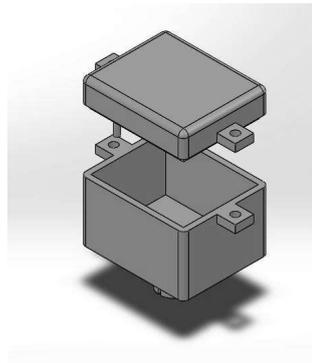


Figura 4.3 – Vista isométrica do modelo desenvolvido

A Figura 4.4 a seguir mostra o encapsulamento físico impresso.

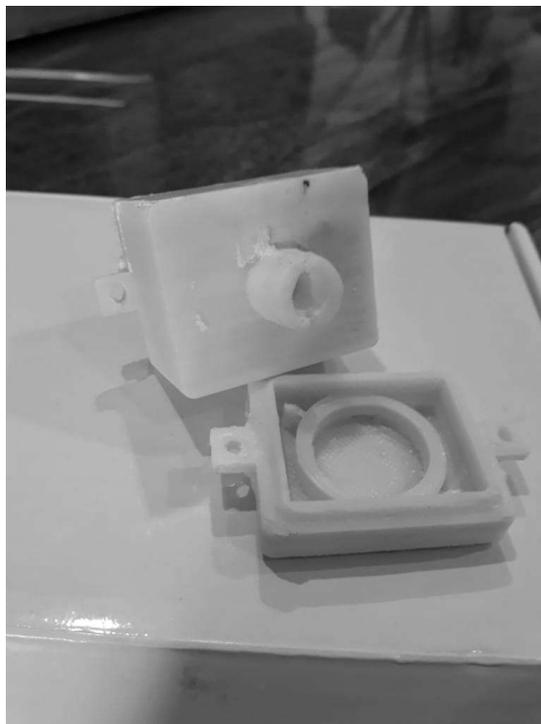


Figura 4.4 – Encapsulamento físico

Foram acrescentados ao final deste trabalho os Anexos C e D contendo respectivamente a base e o topo do encapsulamento do sensor.

### 4.1.2.1 Montagem

A Figura 4.5 mostra a montagem do sensor no encapsulamento.

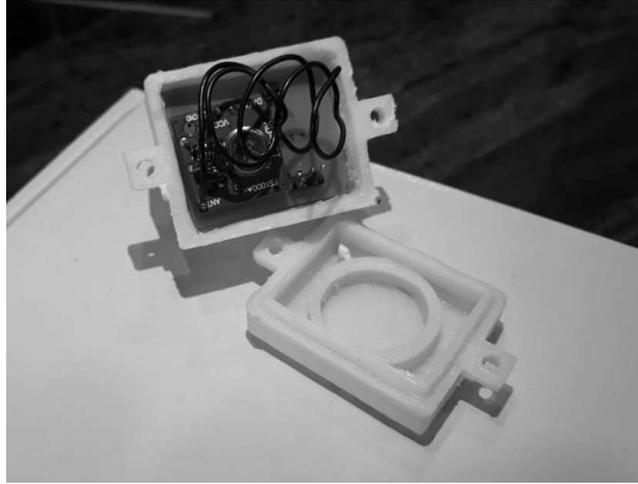


Figura 4.5 – Encapsulamento físico

Alem do sensor, são acrescentadas duas baterias 3V de tensão e um regulador de 3.3V para fornecer energia a placa.

### 4.1.3 Central

A central não recebeu uma placa de fenolite com os componentes soldados. Isso se deve ao tempo exigido para a confecção da placa sensor, deixando a central um pouco em segundo plano. Entretanto, o circuito da central foi concebido de maneira funcional, utilizando-se de uma protoboard para fazer as conexões necessárias. O esquemático de ligação está representado na Figura 4.6.

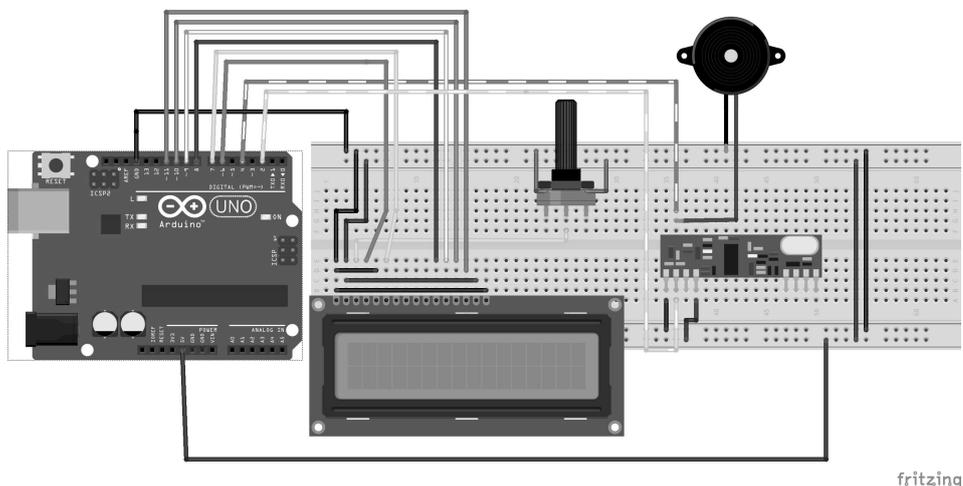


Figura 4.6 – Circuito eletrônico da central

É possível perceber que além do receptor de RF, do display de LCD e do próprio Arduino UNO, a central também conta com um buzzer, sua funcionalidade será melhor explicada nos capítulos sobre programação.

## 4.2 Calibração dos sensores

### 4.2.1 Pressão

A calibração é necessária para se parametrizar o funcionamento de um elemento sensor/transdutor, no caso deste trabalho, foi utilizado como referência o Guia para calibração de transdutor/transmissor de pressão do INMETRO [15].

Segundo o guia, deve se utilizar "como padrão de referência uma balança de pressão ou um padrão adequado de pressão". Foi então utilizado um medidor analógico de pressão manométrica como padrão de referência, apresentado na Figura 4.7<sup>1</sup>, por falta de opções de fácil acesso e por apresentar baixo custo.



Figura 4.7 – Medidor de Pressão analógico

É necessário salientar que este medidor utilizado não foi calibrado e não é conhecida a confiabilidade do mesmo. O correto a se fazer é utilizar um medidor com alta confiabilidade e possuindo a calibração aferida por outro medidor também de alta confiabilidade. Isso não foi possível, pois como já foi citado, por falta de opções no mercado e pela redução de custos, optou-se por manter este medidor como padrão e considerado calibrado.

Ainda de acordo com o guia: "Os transdutores/transmissores de pressão são calibrados de 10 em 10% do seu intervalo de medição". Este teste é inviável, já que o sensor SM5420C utilizado no trabalho trabalha na faixa de pressão absoluta, de 0 a 100PSI, como mencio-

<sup>1</sup> Adaptado de <https://www.magazineleuza.com.br/calibrador-medidor-de-pressao-de-pneus-p-carro-moto-bike-western/p/6405888/au/aepc/>

nado anteriormente, e não é possível fazer teste de pressão manométrica negativa (abaixo de 14,7PSI).

Portanto, levando em consideração a faixa de operação de um pneu de automóvel, o autor decidiu calibrar o sensor entre 0 e 50PSI de pressão manométrica positiva, ou, entre 14,7 e 64,7PSI de pressão absoluta, variando em 10%. Os resultados foram dispostos na tabela a seguir.

Tabela 4.1 – Tabela de calibração SM5420C

Pressão (PSI)	Medição (mV)
0	12,89
5	19,34
10	22,56
15	29
20	32,23
25	38,67
30	41,9
35	48,34
40	51,56
45	58,01
50	64,45

A partir desta tabela, foi gerado um gráfico no programa Microsoft Excel para a realização da regressão linear, de forma a definir a função que rege a conversão da tensão do sensor em PSI para a leitura do usuário.

O gráfico é mostrado na Figura 4.8, onde é possível ver que a linearidade do sensor foi afetada pela resolução do microcontrolador, porém, não compromete a funcionalidade da placa. Ainda na figura, é mostrada a relação entre tensão aferida e pressão, tal relação será utilizada no código da central para conversão dos valores recebidos para mostrar ao usuário. A relação é dada pela Equação 4.1.

$$y = 4,9805x + 8,2031 \quad (4.1)$$

Onde  $y$  é a tensão em mV e  $x$  a pressão manométrica medida em PSI

O problema encontrado sobre a linearidade do sensor se deve ao fato do sensor possuir o span de 100mV com uma faixa de medição de 100PSI. Apesar de descrito no trabalho, esse fato passou despercebido pelo autor, já que o problema acontece pois o microcontrolador escolhido para fazer a medição possui uma resolução de 10 bits no conversor A/D, que, ao ser ligado em 5V nos dá uma resolução de 4,88mV entre os incrementos de estados

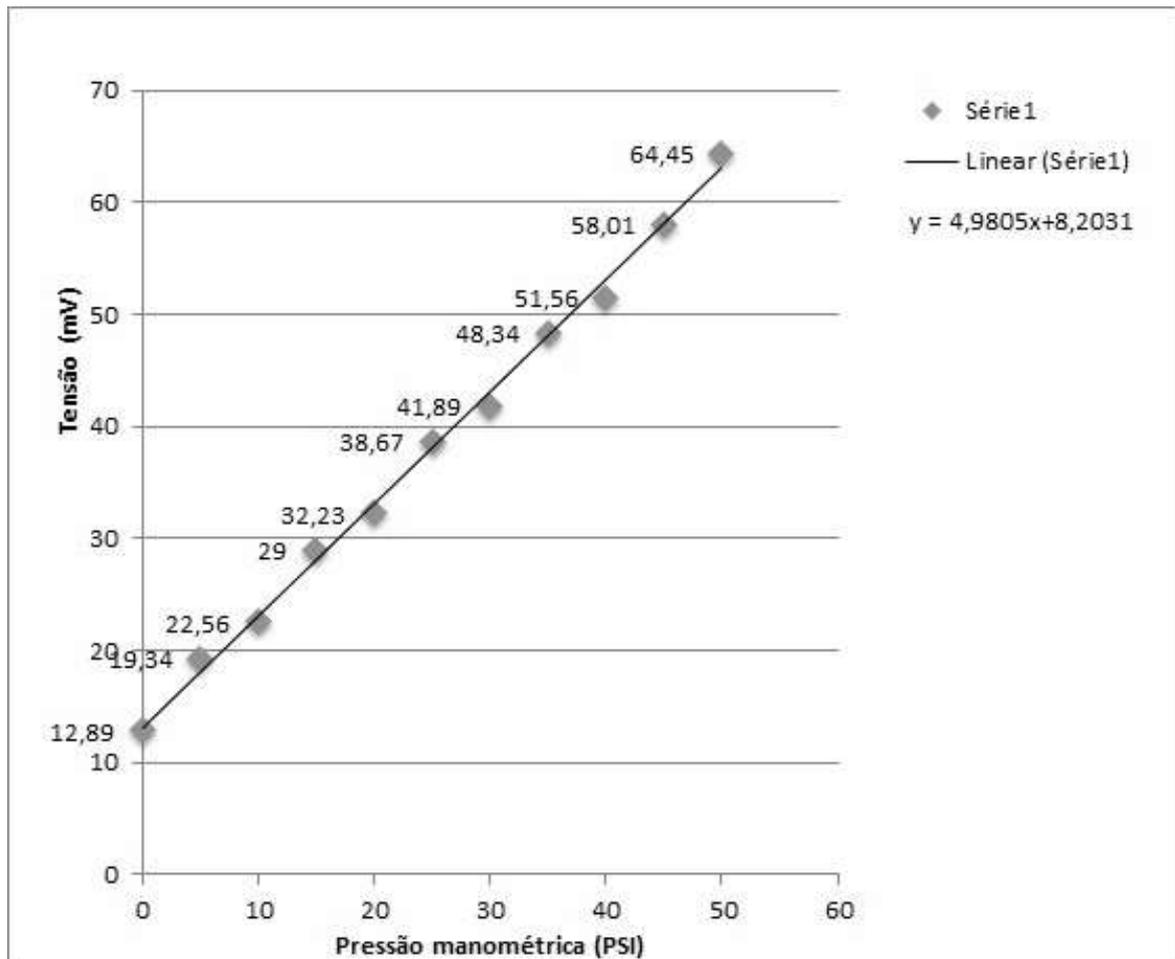


Figura 4.8 – Dados de calibração do sensor de pressão

do conversor, ou seja, o microcontrolador só percebe mudanças de pressão a cada 4,88 PSI de mudança. No presente trabalho isso foi melhorado com a diminuição da tensão no microcontrolador para 3.3V, que diminuiu para 3,22mV de resolução, melhorando a precisão da leitura.

### 4.2.2 Temperatura

O LM35 é linearmente proporcional a temperatura em graus centígrados e, segundo o datasheet do fabricante "The LM35 device does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$  at room temperature and  $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$  over a full  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $150^{\circ}\text{C}$  temperature range"[16], que, em tradução livre, diz que o LM35 não necessita de calibração externa ou ajuste para entregar a precisão de  $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$ . Por isso e por não possuir um meio de comparar a temperatura aferida, o valor de conversão

disponibilizado pelo fabricante será mantido. Esta conversão é dada pela Equação 4.2.

$$y = 0.48828x \quad (4.2)$$

Onde  $y$  é a temperatura em graus celcius e  $x$  a tensão no terminal de saída do LM35.

## 4.3 Programação das placas

O código referente emissão e recepção via RF estão prontos desde os testes iniciais, mencionados no Subcapítulo 3.5. Resta combinar os códigos necessários com o código da central desenvolvido para as simulações, vide no Capítulo 3.4 e acrescentar funções que serão necessárias.

Os códigos finais foram acrescentados no texto em forma de anexo, sendo o Anexo A a placa-medidora e o Anexo B a placa-Central.

É interessante abordar de maneira separada os aspectos principais sobre configurações e programação das placas, isso será feito nos subcapítulos a seguir.

### 4.3.1 Medidora

Ambas placas foram programadas utilizando a Arduino IDE, porém, de maneira diferente. A medidora, por utilizar o ATTINY e este não possuir interface usb, foi programada utilizando um Arduino UNO como gravador, por meio da biblioteca Arduino ISP.

O código consiste na leitura das portas analógicas em que os sensores estão conectados, e depois no envio destes dados utilizando a biblioteca mySwitch. O envio dos dados de temperatura e pressão são feitos separadamente, de forma que cada um possui uma quantidade de bits própria, para serem recebidos e tratados pela placa central de maneira separada.

Entre o tempo de leitura e emissão de dados a medidora demora na faixa de 0,5 segundos, que são acrescidos de uma "pausa" de 3 segundo ao final do código, para depois voltar ao começo do programa principal (loop). Isso faz com que a medidora emite dados a cada 3,5 segundos em média para a placa Central.

### 4.3.2 Central

O código em Anexo possui o tratamento dos dados de pressão e temperatura para serem exibidos ao usuário, além da análise de situação do pneu, verificando se é necessário sinalizar uma situação de perigo ao condutor.

É interessante que a central contenha um alerta sonoro, para chamar a atenção do motorista em casos de pressão ou temperatura fora do ideal, por isso, foi implementado um buzzer para apitar em condições adversas. Foram definidos 3 tipos de alertas sonoros, sendo o primeiro para condições de baixa urgência, o segundo para emergências e o terceiro para condições péssimas de rodagem.

Na primeira situação, é considerado de baixa urgência a condição na qual a pressão ou temperatura do pneu está fora do ideal, porém sem variação ao longo das últimas 4 medições. Isso seria um caso normal de perda de pressão ou variação das condições climáticas. Foi definido que neste caso a central deverá emitir um bipe de um segundo.

Na segunda situação tem-se a emergência, tal qual que o pneu perde ou ganha pressão continuamente nas últimas 3 medições, neste caso seria devido a um furo ou rasgo sofrido pelo pneu. Foi definido neste caso que a central emitirá 1 bipe a cada 3 segundos.

Na terceira situação temos o pneu fora da condição de pressão e temperatura de funcionamento, definido como 10PSI e 0°C para condição mínima e 60PSI e 70°C para valores máximos. Tais valores foram escolhidos levando em consideração a faixa operacional de temperatura e pressão de um pneu, discutido anteriormente. Foi definido que neste caso o bipe seja acionado a cada segundo.

Com a programação feita, o protótipo pode ser testado na rua.

## 4.4 Testes de rodagem

Foi escolhido o carro do aluno para realizar os testes. O carro se trata de um Palio Attractive 2012, com rodas de liga leve aro 14", que teve a pressão interna de seus pneus calibrados e aferidos usando o mesmo medidor de pressão utilizado na calibração do sensor. A capa contendo a placa-medidora foi encaixada no bico do pneu traseiro do lado do motorista, levando em consideração que este é o pneu mais distante da central, e submetido a condição de rodagem nas ruas, enquanto a placa-central estava posicionada no interior do veículo. Os testes foram feitos entre os dias 2 e 6 de novembro de 2018.

Nas Figuras 4.9 e 4.10 temos a montagem da medidora na roda para a realização dos testes.



Figura 4.9 – Montagem do sensor na válvula.



Figura 4.10 – Montagem do sensor na válvula.

Para a central, por motivos já detalhados anteriormente no texto, foi utilizado um modelo mínimo de utilização, com utilização de caixa de papelão como encapsulamento da central. Na Figura 4.11 temos o funcionamento da central com a tela de boas vindas.



Figura 4.11 – Tela de boas vindas.

O carro foi submetido ao percurso entre a residência do aluno e o CEFET, sendo aproximadamente 5,6km em trajeto totalmente urbano, composto praticamente por vias de asfalto, sendo apenas 600 m de pavimento. Este deslocamento se deu em média 2 vezes ao dia, considerando ida e volta.

Os testes tiveram como finalidade verificar o sensor, e foram divididos em tópicos para validar a funcionalidade do mesmo.

O primeiro tópico diz respeito ao recebimento dos dados oriundos da medidora pela central. O teste se deu com o carro parado, ligado e com portas fechadas. A central captou os dados do sensor de maneira que o display atualizou os dados a cada 3 ou 4 segundos, que era o esperado, podendo assim admitir que as perdas de dados foram pequenas, se existiu. A Figura 4.12 mostra a central posicionada no carro recebendo dados do medidor.

O segundo tópico diz respeito ao recebimento de dados pela central com o veículo em trânsito por um período de tempo, sofrendo ações de vibração, velocidade angular e acelerações diversas durante o funcionamento. O teste se deu com o equipamento executando a leitura ao longo do trajeto, que conseguiu atualizar os dados da medição no display para o usuário de forma satisfatória, atualizando a cada 3 ou 4 segundos, semelhante ao primeiro tópico.

O terceiro tópico de testes seria avaliar se o protótipo conseguiria avisar a falta de pressão no pneu. Durante os testes o pneu não teve alterações significativas de pressão e temperatura para acusar o aviso do sensor, portanto este teste até o presente momento



Figura 4.12 – Dados de leitura disponibilizados ao usuário.

da escrita não foi satisfeito em condições de rua.

Um teste extra foi realizado com o veículo parado, na qual sua pressão interna fora intencionalmente diminuída. Como esperado, o equipamento foi capaz de acusar a falta de pressão com uma advertência sonora ao condutor, conforme sua programação.

## Considerações Finais

Para o usuário regular de automóveis e outros veículos que utilizam pneu com pressão interna, é fácil notar que é necessário manter a calibração destes, porém, nem sempre o usuário comum sabe o quanto é realmente essencial. Foi visto que a manutenção da calibragem ideal ajuda a aumentar a vida útil do pneu, proporciona uma melhor estabilidade e segurança ao dirigir, e também melhorar a eficiência de consumo do veículo. Tendo em vista a grande frota de carros utilizados pela sociedade, a diminuição do consumo de combustível e de pneu pode acarretar em um impacto positivo no meio ambiente e também reduzir custos para a população. Com as vantagens da calibração em vista, foram então elaborados objetivos para o trabalho. Depois, foi feita uma metodologia a ser seguida para o desenvolvimento de um protótipo, com a intenção de se aplicar conhecimentos adquiridos ao longo da graduação e aprimorá-los, utilizando-se de mais de uma das áreas de concentração do curso de maneira multidisciplinar, para observar a viabilidade de tal projeto.

O tópico principal de estudo foi analisar a viabilidade e confiabilidade de se medir grandezas físicas em que o sensor esteja em um local de difícil acesso para cabos, sendo assim necessária a implementação de comunicação sem fio.

O desenvolvimento do projeto se deu levando em consideração o custo de implementação, já que o recurso para tal foi limitado, utilizando então, componentes de fácil aquisição. Após a escolha dos componentes, foram desenvolvidas simulações e aplicações de maneira a testar a viabilidade e permitir a continuidade do projeto. Com os testes iniciais concluídos, prosseguiu-se para a construção do protótipo, e então com a calibração do sensor e programação final dos componentes.

Prosseguindo com o equipamento pronto, foram executados testes de rua de maneira

que pudesse ser avaliado a comunicação e robustez do sensor, já que a alta rotação da roda e a lataria do carro pudesse atrapalhar o funcionamento do protótipo. Concluiu-se que o protótipo possui robustez o suficiente para os testes realizados, sendo importante salientar que foram feitos em um curto horizonte de utilização, onde não se teve velocidades ou tempo de rodagem altos. Para o proposto, tais testes foram realizados sem problemas, atingindo o objetivo do trabalho.

## 5.1 Trabalhos futuros

Para a continuidade deste trabalho, é necessário realizar estudos sobre esforços e vibrações sofridos pelo sensor, de forma a melhorar a estrutura e a confiabilidade da placa medidora. É recomendado que se façam testes mais extensivos e intensos de rodagem, contando com vários terrenos e situações mais adversas, variando com velocidades altas. Recomenda-se estudar o consumo da placa medidora, de forma a verificar a autonomia da placa conectada a baterias.

É necessário também resolver o problema de leitura do sensor de pressão que consta na Seção 4.2. Como sugestão, podem ser adotadas duas medidas para a resolução. A primeira é a utilização de um amplificador operacional para aumentar a amplitude do sinal vindo do sensor, porém poderia aumentar também a complexidade e o espaço ocupado pelo sensor. A segunda opção é a utilização de microcontroladores com melhor resolução no conversor A/D. Este último é viável pois é possível encontrar microcontroladores com 12 bits de resolução, que poderiam detectar 0,8mV de variação, melhorando a precisão de medição. A última proposta de melhoria neste projeto seria o estudo de viabilidade para a adoção de um microcontrolador com interface *wireless* embutido, utilizando *bluetooth* ou *zigbee*, de maneira que a medidora tenha seu peso e tamanho reduzidos.

# Bibliografia

- [1] Kleber Gonçalves de Almeida. *Leis sobre tamanho médio de vagas de garagem*. 2005.
- [2] Fernando Gonçalves Amaral. *Vibrações*. 2018. URL: [http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/481\\_vibracoes.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/481_vibracoes.pdf).
- [3] Pietro Diovane Keoma Bergamaschi de Assis. *Microcontrolador*. Português - BR. Trabalho de conclusão de curso. 2004.
- [4] Richard L. Bernard. *Telemetry Intelligence (TELINT) During the Cold War*. Inglês. 2016. URL: <https://www.nsa.gov/about/cryptologic-heritage/historical-figures-publications/publications/misc/assets/files/telint-9-19-2016.pdf> (acesso em ).
- [5] Ian Bonde. *Telemetria*. 2003. URL: [http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmtelemetria/pagina\\_1.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmtelemetria/pagina_1.asp).
- [6] Newton C Braga. *Entenda as especificações dos sensores*. 2006. URL: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/electronica/52-artigos-diversos/4888-art645>.
- [7] Newton C. Braga. *Como funcionam as memórias*. Ed. por Instituto Newton C Braga. 1984.
- [8] Newton C. Braga. *Transmissores*. Ed. por Instituto Newton C Braga. 2015.
- [9] Mariana Czerwonka. *Falta de manutenção triplica risco de acidentes*. News. 2016. URL: <http://portaldotransito.com.br/noticias/falta-de-manutencao-triplica-risco-de-acidentes/>.

- 
- [10] P. T. Duc e H. Dinh Thuyen. “Proposal structure of very small helical antenna using parasitic element for TPMS”. Em: *2017 7th International Conference on Integrated Circuits, Design, and Verification (ICDV)*. 2017, pp. 127–132. DOI: 10.1109/ICDV.2017.8188652.
- [11] Tom Floyd. *Sistemas Digitais - Fundamentos e aplicações*. Ed. por Bookman. 9th. 2007. ISBN: 0131946099.
- [12] Alessandra Gomes. *Sobre computação física*. 2016. URL: <https://computacaofisicabr.wordpress.com/o-que-e-computacao-fisica/>.
- [13] iBytes. *Módulos de RF 433MHz*. 2016. URL: <http://www.ibytes.com.br/modulos-que-atuam-na-faixa-dos-315-e-dos-433-mhz/>.
- [14] INMETRO. *Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia - VIM*. Português - BR. 1995.
- [15] Dimec INMETRO Dimci. *Guia para calibração de transdutor/transmissor de pressão*. Ed. por INMETRO. 2010.
- [16] Texas Instrument. *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. Ed. por Texas Instrument. 2017. URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>.
- [17] Q. Kang et al. “125KHz wake-up receiver and 433MHz data transmitter for battery-less TPMS”. Em: *2017 IEEE 12th International Conference on ASIC (ASICON)*. 2017, pp. 1101–1104. DOI: 10.1109/ASICON.2017.8252672.
- [18] A. Kolodgie et al. “Enhanced TPMS security through acceleration timed transmissions”. Em: *MILCOM 2017 - 2017 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*. 2017, pp. 35–39. DOI: 10.1109/MILCOM.2017.8170841.
- [19] H. Golbakhshi M. Namjoo a. “Finite Element Analysis for Estimating the Effect of Various Working Conditions on the Temperature Gradients Created Inside a Rolling Tire”. Inglês. Em: *International Journal of Engineering* (2014).
- [20] Alessandro Nicoli de Mattos. *Telemetria e conceitos relacionados*. Ed. por Alessandro Nicoli de Mattos. 2014. URL: <https://books.google.com.br/books?id=6sLBOUMaFrMC>.
- [21] Michelin. *Manual do proprietário Michelin*. 2010.

- 
- [22] W.F. Milliken e D.L. Milliken. *Race Car Vehicle Dynamics*. Premiere Series. SAE International, 1995. ISBN: 9781560915263. URL: <https://books.google.com.br/books?id=opgHfQzlnLEC>.
- [23] Prof. Dr. Francesco E. Baccaro Nigro. *Balanceamento de rotores*. 2018. URL: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/213400/mod\\_resource/content/1/Balanceamento.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/213400/mod_resource/content/1/Balanceamento.pdf).
- [24] Lucia Nouira. *Analógico e Digital*. 2017. URL: <https://br.ccm.net/faq/2962-analogico-e-digital>.
- [25] Dan O’Sullivan e Tom Igoe. *Physical Computing: Sensing and Controlling the Physical World with Computers*. Boston, MA, United States: Course Technology Press, 2004. ISBN: 159200346X.
- [26] Claodomir Antonio Martinazzo ; Tailan Orlando. *Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com arduíno*. 2016.
- [27] Marco Antônio Ribeiro. *Instrumentação*. Português - BR. 9<sup>a</sup> ed. 2002.
- [28] I. Roditi e I.A. Houaiss. *Dicionário Houaiss de Física*. OBJETIVA, 2005. ISBN: 9788573026948. URL: <https://books.google.com.br/books?id=HP75GYQ5J8YC>.
- [29] Antônio Sérgio Sena. *Microcontroladores PIC*. 2007.
- [30] SEST SENAT. *Cerca de 450 mil toneladas de pneus são descartados por ano no Brasil*. News. 2017. URL: <http://www.sestsenat.org.br/imprensa/noticia/cerca-de-450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-por-ano-no-brasil>.
- [31] Kleber K. Shima. *III Guerra mundial: Analógico x Digital*. 2016. URL: <http://blog.santoangelo.com.br/iii-guerra-mundial-analogico-x-digital/>.
- [32] Sindipeças. *Relatório da frota circulante*. Report. 2017. URL: [https://www.sindipeças.org.br/sindinews/Economia/2017/R\\_Frota\\_Circulante\\_2017.pdf](https://www.sindipeças.org.br/sindinews/Economia/2017/R_Frota_Circulante_2017.pdf).
- [33] Márcio José Soares. *Microcontroladores - Qual a melhor linguagem de programação?* Português-BR. web. 2002. URL: [http://www.arnerobotics.com.br/eletronica/linguagem\\_de\\_programacao\\_escolha.htm](http://www.arnerobotics.com.br/eletronica/linguagem_de_programacao_escolha.htm) (acesso em 2018).
- [34] Oriel Systems. *A short history of telemetry*. 2012. URL: <http://www.orielsystems.com/short-history-telemetry/>.

- [35] Vantuil Manoel Thebas. *Características dos sensores industriais*. 2009.
- [36] wm1. *Pneu bem calibrado dura mais e reduz o consumo*. News. 2018. URL: <https://www.wm1.com.br/dinheiro-e-economia/pneu-calibrado-dura-mais-reduz-consumo>.
- [37] Michael A. Boles Yunus A. Çengel. *Termodinâmica*. Ed. por Mcgraw-hill Interame. 1982.

# Apêndice A

```
1 //Programa final da placa-medidora
2 #include <RCSwitch.h>
3
4 RCSwitch mySwitch = RCSwitch();
5
6 void setup() {
7
8     mySwitch.enableTransmit(1);
9     mySwitch.setPulseLength(270);
10    mySwitch.setRepeatTransmit(6);
11
12 }
13
14 void loop() {
15     int analog2 = analogRead(A2);
16     int analog3 = analogRead(A3);
17     int temp = analogRead(A1);
18     int dif = analog2 - analog3;
19
20     mySwitch.send(dif,11);
21     delay(300);
22     mySwitch.send(temp,10);
23     delay(3000);
24 }
```



# Apêndice B

```
1 //Programa da placa-cental
2 #include <LiquidCrystal.h>
3 #include <RCSwitch.h>
4
5 LiquidCrystal lcd(6, 7, 8, 9, 10, 11);
6 RCSwitch mySwitch = RCSwitch();
7 const int buzzer = 4;
8 int disparo = 1;
9 int tempo = 0;
10
11 float temperatura = 0;
12 float pres = 0;
13 float pres1 = 0;
14 float pres2 = 0;
15 float pres3 = 0;
16 int presint;
17 int valorLido;
18 byte grau[8] =
19 {
20     0b00001100,
21     0b00010010,
22     0b00010010,
23     0b00001100,
24     0b00000000,
```

```
25     0b00000000,
26     0b00000000,
27     0b00000000
28 };
29
30 void setup() {
31     Serial.begin(9600);
32     lcd.begin(16, 2);
33     lcd.createChar(1, grau);
34     lcd.setCursor(3,0);
35     mySwitch.enableReceive(0); // interrupt 0 => pin #2
36     lcd.print("BEM VINDO!");
37     delay(1500);
38     pinMode(buzzer,OUTPUT);
39     lcd.setCursor(0,0);
40     lcd.print("PRES:          ");
41     lcd.setCursor(0,1);
42     lcd.print("TEMP: ");
43 }
44
45 void loop() {
46 if (mySwitch.available()) {
47     if( mySwitch.getReceivedBitlength() == 10){
48         valorLido = mySwitch.getReceivedValue();
49         temperatura = (valorLido * 0.48828);
50     }
51     else if( mySwitch.getReceivedBitlength()== 11){
52         presint = mySwitch.getReceivedValue();
53         pres3 = pres2;
54         pres2 = pres1;
55         pres1 = pres;
56         pres = presint*0.805-14.7;
57     }
58     mySwitch.resetAvailable();
59 }
```

```
60
61 tela(temperatura,pres);
62 if(pres>0&&temperatura>0){
63     if(pres<26||pres>34){
64         bipe(disparo,1000,100);
65         disparo= 0;
66     }
67     else if((pres<pres1)&&(pres1<pres2)&&(pres2<pres3)){
68         bipe(1,300,2600);
69     }
70     else if ((pres<11)|| (temperatura<1)|| (pres>59)|| (temperatura
71         >69)){
72         bipe(1,300,600);
73     }
74     }
75 delay(100);
76 }
77 void tela(float temperatura,float pres){
78     lcd.setCursor(6,0);
79     lcd.print(pres);
80     lcd.setCursor(12,0);
81     lcd.print("PSI");
82     lcd.setCursor(6,1);
83     lcd.print(temperatura);
84     lcd.setCursor(12,1);
85     lcd.write(1);
86     lcd.setCursor(13,1);
87     lcd.print("C");
88     delay(100);
89 }
90
91 void bipe(int tipo, int tempo,int tempo2){
92     for(int aux= 0; aux <tipo; aux++){
93         delay(tempo2);
```

```
94         tone(buzzer ,1500);  
95         delay(tempo);  
96         noTone(buzzer);  
97     }  
98 }
```

# Apêndice C

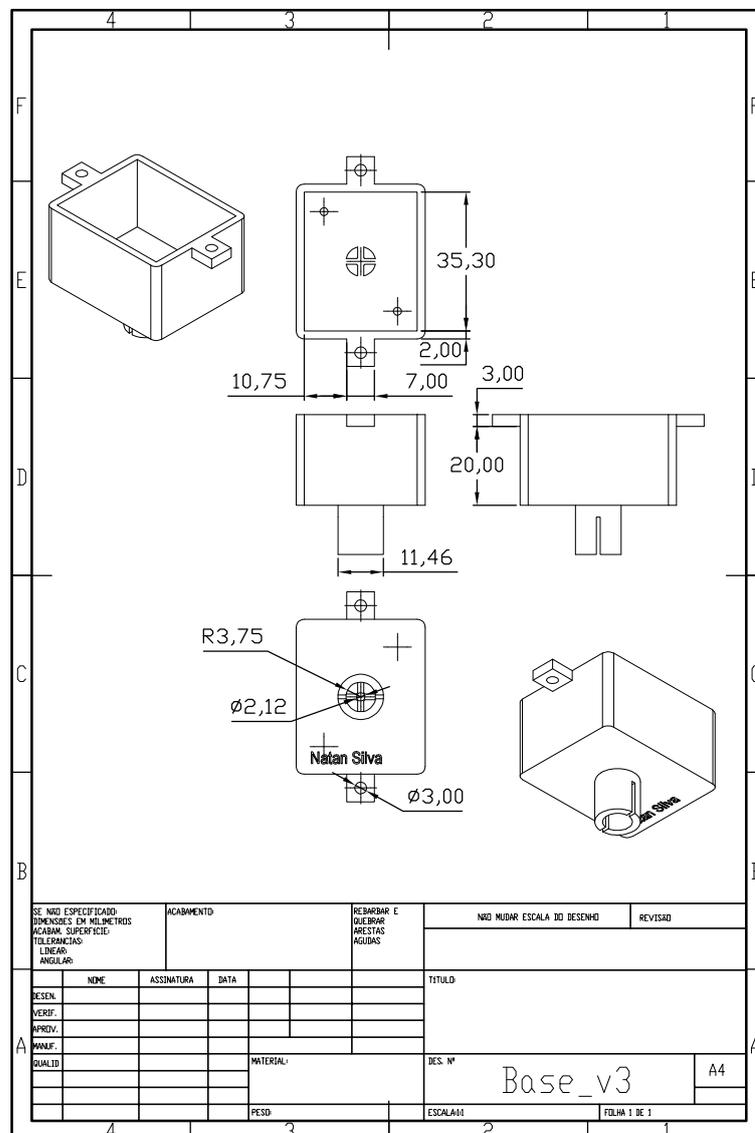


Figura .1 – Desenho técnico da base do encapsulamento



# Apêndice D

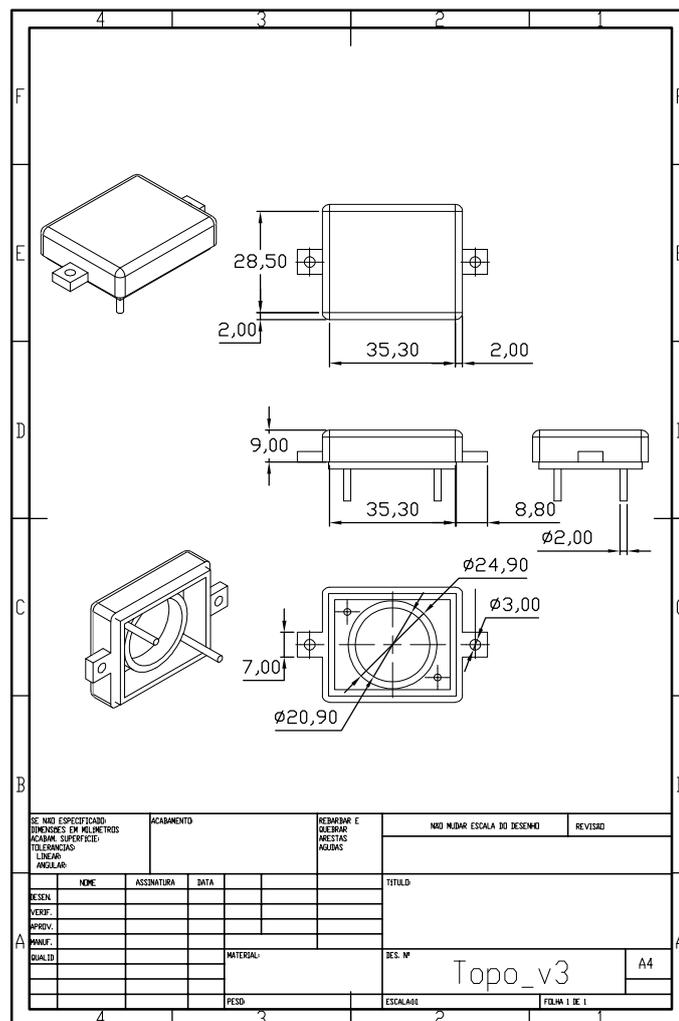


Figura .2 – Desenho técnico do topo do encapsulamento