

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Carlos Augusto Pereira
Reginaldo da Silva Carpanezi

“PROTÓTIPO ACADÊMICO DO SISTEMA TPMS
***(TIRE PRESSURE MONITORING SYSTEM)*”**

Santo André – São Paulo

2014

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Carlos Augusto Pereira
Reginaldo da Silva Carpanezi

“PROTÓTIPO ACADÊMICO DO SISTEMA TPMS
***(TIRE PRESSURE MONITORING SYSTEM)*”**

Trabalho de Conclusão de Curso entregue
à Fatec Santo André como requisito
parcial para obtenção do título de
Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof. Wesley Medeiros Torres

Coorientador: Prof. Rogério R. Lima Cisi

Santo André – São Paulo

2014

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 20 de dezembro de 2014.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "PROTÓTIPO ACADÊMICO DO SISTEMA TPMS" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. WESLEY MEDEIROS TORRES



MEMBROS:

PROF. ROGÉRIO RODRIGUES LIMA CISI

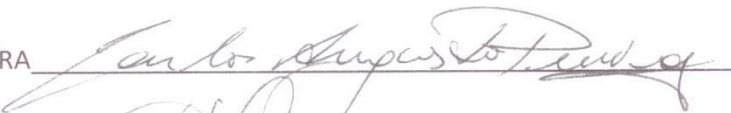


ENGº LUCAS DE MELO

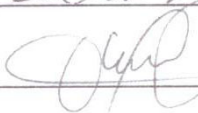


ALUNOS:

CARLOS AUGUSTO PEREIRA



REGINALDO DA SILVA CARPANEZI



FICHA CATALOGRÁFICA

P436p

Pereira, Carlos Augusto
Protótipo acadêmico do sistema TPMS (Tire Pressure Monitoring System) / Carlos Augusto Pereira, Reginaldo da Silva Carpanezi. - Santo André, 2014. – 74 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso – FATEC Santo André.
Curso Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2014.

Orientador: Prof. Wesley Medeiros Torres
Coorientador: Prof. Rogério Rodrigues de Lima Cisi

1. Segurança 2. Conforto 3. Pressão 4. Temperatura
5. Aceleração. 6. Eletrônica embarcada 7. Microcontrolador
I. Carpanezi, Reginaldo da Silva II. Título

621.389

Dedicamos este trabalho as nossos familiares
e aos nossos amigos que sempre estiveram
próximos apoiando-nos durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, aos colegas de sala e principalmente aos nossos familiares que mantiveram estímulos nos momentos mais árduos desta jornada. Agradecemos aos professores, colaboradores e funcionários da Fatec Santo André que sempre estiveram prontos para nos auxiliar.

“Quando nada parece ajudar, eu penso em um cortador de pedras martelando uma rocha talvez cem vezes sem que nem uma só rachadura apareça. No entanto, na centésima primeira martelada, a pedra se abre em duas e eu sei que não foi aquela a que conseguiu, mas todas as que vieram antes.”

Jacob Riis

RESUMO

Com o avanço da tecnologia embarcada para veículos automotores, a procura por maior segurança automotiva e produtos ecologicamente corretos, possibilitou-se uma constante evolução dos equipamentos eletrônicos disponíveis nos automóveis, resultando em veículos mais eficientes e seguros. Assim, tornam-se cada vez mais necessários o desenvolvimento de novas tecnologias para segurança ativa e passiva dos ocupantes de um veículo automotivo.

Abrangendo o fator principal da segurança e de forma resultante também o conceito de um veículo com melhor rendimento e maior eco eficiência gerando menos desgastes de peças e consumo de combustível, um dos fatores importantes abordando estes conceitos são a monitoração da pressão dos pneus e suas condições operacionais, pois a pressão, ou outros fatores como temperatura e aceleração centrípeta interna do pneu em operação podem também comprometer a segurança e o desempenho do veículo, interferindo diretamente no consumo de combustível e na vida útil das peças.

Esse trabalho consiste no desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento da Pressão dos Pneus (*Tire Pressure Monitoring System*), em modelo direto, para fins acadêmicos de estímulo à pesquisa e ao estudo de uma das tecnologias embarcadas presentes no mercado. Esse sistema é *microcontrolado* em ambos os módulos, e é capaz de monitorar e indicar em um *display* no módulo receptor UHF o *status* de pressão, temperatura e a condicional de aceleração dos pneus, após ter efetuado a leitura e interpretação dos níveis de tensões em potenciômetros que executarão o meio simulado, de sensores de pressão, temperatura e aceleração no módulo transmissor UHF deste projeto.

Palavras chaves: *Segurança, conforto, pressão, temperatura, aceleração.*

ABSTRACT

With the breakthrough of embedded technology for automotive vehicles and the demand for environmentally friendly products, enabled a constant evolution of electronic equipment available in cars, resulting in more efficient vehicles and safety. Thus, it become necessary to develop new active and passive safety technologies for the occupants of a motor vehicle.

Covering the main factor of safety and resulting way also the concept of a vehicle with better performance and greater eco-efficiency generating less wear parts and fuel consumption, one of the important factors addressing these concepts are monitoring the pressure of tires and yours operational conditions, as the pressure or other factors how temperature and internal centripetal acceleration tire in operation may also compromise the safety and performance of the vehicle, directly interfering in fuel consumption and parts life.

This work is the development of a Tire Pressure Monitoring System, in direct model, for academic purposes stimulus to research and study of one of embedded technologies on the market, and yet so little explored in our country. This system is microcontroller in both modules, and able to monitor and show on a display in the UHF receiver module pressure status, temperature and conditional acceleration of tires, having done the reading and interpretation of stress levels in pots perform the simulated environment, pressure sensors, temperature and acceleration in the UHF transmitter module of this project.

Key words : *Safety, comfort , pressure, temperature , acceleration.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Componentes de um sistema TPMS [Extraído de (Revista Saber Eletrônica - Ano 42 - Nº 401 - Junho/2006)].	18
Figura 2 – Definição matemática de Pressão [Extraído de (Bonjorno, 1993)].	20
Figura 3 – Diagrama de blocos de um sistema analógico [Extraído de (Princípios de Telecomunicações)].	22
Figura 4 – Conector DB9 Male [Extraído de (Notas de aula Disciplina Conforto e Conveniência Fatec Santo André)].	27
Figura 5 – Imagem sensor MD-50-100 mA Conector DB9 Male [Extraído de (Datasheet Sensor MD-50-mA)].	29
Figura 6 – Dimensões do sensor de pressão MD-50-100mA [Extraído de (Datasheet Sensor MD-50-mA)].	30
Figura 7 – Imagem sensor de temperatura LM 35 [Extraído de (Datasheet Sensor LM35)].	31
Figura 8 – Acelerômetro [Extraído de (Notas de aula Disciplina conforto e Conveniência Fatec Santo André)].	31
Figura 9 – Eixos de leitura do Acelerômetro [Extraído de (Notas de aula Disciplina Conforto e Conveniência Fatec Santo André)].	32
Figura 10 – Amplificador Operacional [Extraído de (Eletrônica Aplicada)].	33
Figura 11 – Imagem Sistema TPMS Indireto [Extraído de (Pneucyt.com)].	36
Figura 12 – Sensor magnético e Roda dentada do sistema ABS [Extraído de (Notas de Aulas Sistema de Freios Fatec Santo André)].	37
Figura 13 – Imagem Sistema TPMS Direto [Extraído de (Pneucyt.com)].	38
Figura 14 – Imagem do Sistema TPMS direto [Extraído de (Notas de aula Conforto e Conveniência)].	38
Figura 15 – Imagem do Sistema TPMS direto [Extraído de (Notas de aula Conforto e Conveniência)].	39
Figura 16 – Kit Deso System [Extraído de (www.deso.com.cn/)].	40
Figura 17 – Montagem do sistema TPMS na roda [Extraído de (Revista Saber Eletrônica - Ano 42 - Nº 401 - Junho/2006)].	40
Figura 18 – Sensor de pressão fixado diretamente à válvula [Extraído de (www.tyresafety.co.uk)].	41
Figura 19 – Sensor para ser fixado diretamente na válvula e sua central de recepção [Extraído de (Revista saber Eletrônica - Ano 42 - Nº 401 - Junho/2006)].	41

Figura 20 – Fluxograma programa do circuito transmissor (TX) [“Dados do Autor”].....	43
Figura 21 – Fluxograma programa do circuito Receptor (RX) [“Dados do Autor”].	45
Figura 22 – Transmissor RF [Extraído de (Datasheet TWS-DS RF MODULE Series)].....	46
Figura 23 – Circuito representativo do transmissor com codificador [Extraído de (Datasheet TWS-BS Module series)].	47
Figura 24 – Imagem da placa circuito Receptor RWS-374 [Extraído de (Datasheet RWS-374)].	47
Figura 25 – Circuito representativo transmissor RF [Extraído de (Datasheet RWS-374)].	48
Figura 26 – Imagem Microcontrolador PIC16F877A [Extraído de (Datasheet PIC16F877A)].	49
Figura 27 – Diagrama da pinagem do PIC16F877A [Adaptado de (Datasheet PIC 16F87X)].	49
Figura 28 – Display JHD 162 [Extraído de (Datasheet display JHD 162)].	50
Figura 29 – Ilustração dos ID’s em modo de transmissão RF [“Dados do Autor”].....	55
Figura 30 – Ilustração dos ID’s em modo de transmissão RF [“Dados do Autor”].....	55
Figura 31 – Imagem dos módulos TX / RX Status "Pneu Cheio" [“Dados do Autor”].....	59
Figura 32 – Imagem módulos TX/RX– Status “Pneu Vazio” “[“Dados do Autor”].	59
Figura 33 – Circuito - modelo simulado [“Dados do Autor”].....	60
Figura 34 – Circuito Inicial simulado no Protheus [Extraído (Protheus v. 7.40)].....	61
Figura 35 – Circuito TX Final	64
Figura 36 – Circuito RX Final	64
Figura 37 – Circuito final do Projeto.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pinagem do Conector DB9 para RS 232 [Extraído de (Manual da comunicação serial RS 232)].	27
Tabela 2 - Representação Status de pressão do pneu / ID's Transmissor ["Dados do Autor"].	44
Tabela 3 - Relação tensão de entrada e Referência de Status ["Dados do Autor"].	44
Tabela 4 - Representação dos ID's / Status Display Receptor["Dados do Autor"].	46
Tabela 5 - Pinagem do Display JHD 162 [Extraído de (Conectando o PIC edição 4)].	50
Tabela 6 - Representação do RS display JHD 162 [Extraído de (Conectando o PIC edição 4)].	51
Tabela 7 - Representação do R/W display JHD 162 [Extraído de (Conectando o PIC edição 4)].	51

Lista de Siglas e Abreviaturas

°C	<i>Graus Celsius</i>
A	<i>Área</i>
A/D	<i>Analógico / Digital</i>
ABS	<i>Anti-lock Brake System</i>
ACEL	<i>Aceleração</i>
ADC	<i>Conversor Analógico Digital</i>
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
ASK	<i>Amplitude shift keying</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CI	<i>Circuito integrado</i>
D/A	<i>Digital / Analógico</i>
dB	<i>decibel</i>
dBm	<i>decibel por miliwatt</i>
DC	<i>Corrente Contínua</i>
EBS	<i>Eltronic Brake System</i>
ECU	<i>Eletronic Control Unit</i>
EIA	<i>Eletronics Industry Assotiation</i>
F	<i>Força</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
FV	<i>Fator de perda do cabo da antena</i>
GND	<i>Ground</i>
GSM	<i>Global System for mobile</i>
Hz	<i>Hertz</i>
km	<i>quilômetro</i>
km/h	<i>quilômetro por hora</i>
lb/in ²	<i>Libra por polegada ao quadrado</i>
MHz	<i>Mega Hertz</i>
mmHg	<i>milímetros de mercúrio</i>
N	<i>Newton</i>
N/m ²	<i>Newton por metro quadrado</i>
NHTSA	<i>National Highway Traffic Safety Administration</i>

NTC	<i>Negative Coefficient Temperature</i>
OOK	<i>On-Off Keying</i>
P	<i>Pressão</i>
Pa	<i>Pascal</i>
Patm	<i>Pressão Atmosférica</i>
PRESS	<i>Pressão</i>
PSD	<i>Potência Espectral</i>
PSI	<i>Pound force per Square Inch</i>
PSK	<i>Phase Shift Keying</i>
PTC	<i>Positive Coefficient Temperature</i>
RF	<i>Radiofrequência</i>
RX	<i>Módulo Receptor RF</i>
SMD	<i>Surface Mounted Device</i>
TEMP	<i>Temperatura</i>
TPMS	<i>Tire Pressure Monitoring system</i>
TX	<i>Módulo Transmissor RF</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
V	<i>Volts</i>
Vcc	<i>Voltagem corrente contínua</i>
λ	<i>Comprimento de onda da luz no vácuo</i>
λ'	<i>Comprimento de $\frac{1}{4}$ de onda</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos e Motivação	17
1.2	Conteúdo	17
1.3	Metodologia	18
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Introdução	19
2.2	Pressão	19
2.2.1	Definição de Pressão	19
2.2.2	Pressão Isotrópica	20
2.2.3	Pressão Atmosférica	20
2.3	Comunicação Digital	21
2.3.1	Telecomunicação em Sistemas de Radiofrequência	21
2.3.1.1	Modulação ASK	22
2.3.1.2	Modulação FSK	23
2.3.1.3	Chaveamento PSK	24
2.3.1.4	Velocidade de Propagação e Comprimento de Onda	25
2.3.1.5	Antena de Comunicação em Radiofrequência	25
2.3.1.5.1	Antena Vertical	25
2.4	Comunicação Serial	26
2.4.1	Geração dos Bits	26
2.4.2	Comunicação Serial RS232	26
2.5	Comunicação Analógica para Circuitos Analógicos	28
2.5.1	Sensor de Pressão	28
2.5.2	Sensor de Temperatura	30
2.5.3	Sensor de Aceleração	31
2.5.4	Amplificador Operacional	32
2.5.5	Sistema <i>Energy Scavenging / Harvesting</i>	34
2.6	Tipos de Sistemas TPMS	35
2.6.1	TPMS Indireto	35
2.6.1.2	Funcionamento da Roda dentada no sistema TPMS Indireto	36

2.6.2	TPMS Direto.....	37
2.6.3	Local de Instalação do TPMS.....	39
2.6.4	Aplicações Comerciais	39
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
3.1	Introdução	42
3.2	Descrição do <i>Hardware</i>	42
3.2.1	Aquisição de Sinais do Projeto	42
3.2.2	Circuito Transmissor.....	42
3.2.3	Circuito Receptor	44
3.3	Componentes	46
3.3.1	Transmissor RF.....	46
3.3.2	Receptor RF	47
3.3.3	Microcontrolador	48
3.3.4	Display	50
4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	53
4.1	Introdução	53
4.2	Relatórios de Testes Realizados.....	53
4.2.1	1º Teste Realizado.....	53
4.2.1.1	Conclusões 1º Teste	56
4.2.2	2º Teste Realizado	56
4.2.2.1	Conclusões 2º Teste.....	60
4.2.3	3º Teste Realizado.....	61
5.	CONCLUSÃO.....	65
5.1	Propostas Futuras	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	67
	ANEXO A: CIRCUITO FINAL DO PROJETO.....	68
	ANEXO B: CÓDIGO FONTE PROGRAMA TX.....	69
	ANEXO C: CÓDIGO FONTE PROGRAMA RX.....	72
	ANEXO D: DATASHEET SENSOR DE PRESSÃO.....	74

1. INTRODUÇÃO

O segmento da indústria automotiva possui um grande mercado para a utilização da eletrônica embarcada. Na grande maioria dos componentes de um veículo a eletrônica é predominante para o seu funcionamento, por exemplo, em sistemas de segurança como freios *ABS (Anti-lock Brake System)* e *EBS (Eletronic Brake System)*, no funcionamento dos sensores e atuadores, e principalmente no gerenciamento das centrais de comando.

A importância do monitoramento da pressão dos pneus está em consonância com as leis que têm como objetivo promover limites de taxas de poluição, promover alternativas para proporcionar maior segurança aos ocupantes dos veículos, reduzir o número de acidentes e amenizar os danos causados ao meio ambiente. As principais atribuições do *TPMS* são a segurança, conforto, durabilidade, desempenho e economia. Estes são alguns dos motivos para o monitoramento constante da pressão e a temperatura dos pneus de carros, caminhões, motos e ônibus, pois poucos motoristas possuem o hábito de verificar a pressão dos pneus frequentemente (como recomendado pelos fabricantes), mas estudos mostram que esse item merece atenção.

De acordo com a *NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration)* estima-se que 3000 acidentes e 535 mortes por ano ocorrem devido a pneus furados ou estourados, dos quais podem ser resultados de pneus não calibrados corretamente. (MECATRÔNICA, 2006).

Caso estas variações de pressão e temperatura possam ser detectadas com antecedência, acidentes podem ser evitados e vidas serem salvas. Desde então, os Estados Unidos criaram uma lei em que sistemas de monitoramento de pressão e temperatura devem ser utilizados nos pneus, a fim de avisar com antecedência a ocorrência de problemas. Nesta lei, a partir de 2007, 100% dos veículos já deveriam ter este sistema implantado.

Mas além da prevenção contra acidentes, realizar a detecção se a pressão dos pneus está adequada e em acordo com as recomendações do fabricante pode garantir maior economia. Somente no mercado americano, pesquisas indicam que 32% dos veículos rodam com pneus calibrados abaixo de 30% da pressão recomendada. (MECATRÔNICA, 2006).

Rodar com pneus com baixa pressão, dentre os principais problemas, esta a deformação na banda de rodagem, fazendo com que seja maior o esforço necessário para o deslocamento, consequentemente resultando em um maior consumo de combustível. Desta maneira a economia que se obtém com a instalação de sistemas *TPMS* ao longo do tempo amortiza os custos de instalação e manutenção deste.

1.1 Objetivos e Motivação

Conscientes da necessidade de abrir as fronteiras para os profissionais e estudantes da área automobilística, esse projeto tem por objetivo específico o estudo e desenvolvimento de um Protótipo Acadêmico do Sistema *TPMS*.

Apesar da diversificada presença de sistemas *TPMS* no mercado, principalmente no mercado internacional, sua tecnologia é tratada de forma restrita por desenvolvedores ocasionando escassez na disponibilidade de informação técnica, inclusive em âmbito acadêmico em nosso país.

As principais motivações foram a possibilidade de se projetar um primeiro protótipo para estudos acadêmicos na Fatec de Santo André e utilizar a radiofrequência na comunicação sem fio.

1.2 Conteúdo

Este trabalho está dividido em cinco capítulos:

No primeiro capítulo, o objetivo é mostrar as principais razões do tema escolhido e desenvolvido; O segundo capítulo traz ao leitor a parte teórica dos assuntos pertinentes ao projeto assim como alguns dos sistemas *TPMS* existentes no mercado; O terceiro capítulo mostra a metodologia aplicada e uma explanação teórica sobre os principais componentes utilizados neste projeto. No quarto capítulo temos a análise dos resultados dos testes realizados em bancada. E por fim o quinto capítulo tem a conclusão final sobre o funcionamento do sistema e sugestões para projetos futuros.

1.3 Metodologia

Este projeto, utiliza-se de um protótipo construído com base em sistemas existentes no mercado utilizando técnicas e componentes eletrônicos explorados nas pesquisas realizadas na faculdade, servindo como estímulo para desenvolvimento de estudos e estratégias de melhorias futuras, como exemplo a otimização na leitura e interpretação *ADC* dos sensores do circuito afinando as suas resultantes expostas, entre outras.

O sistema possui um transmissor e um receptor que se comunicam através da comunicação serial RS232 por radiofrequência, em uma frequência de 433,92 MHz onde todo o gerenciamento será executado utilizando-se de um sistema *microcontrolado* para fazer a análise das informações coletadas e para que gerencie a comunicação entre o transmissor/receptor nos tempos pré-determinados. Foram projetados e construídos dois circuitos eletrônicos que estão divididos em duas partes distintas, de modo que cada um deles possui um *microcontrolador* interno. O primeiro será responsável por coletar os dados, ou seja, é um circuito onde estão conectados os potenciômetros em simulação aos sensores e o transmissor RF. O segundo possui o receptor RF, que é o responsável por receber o sinal e enviar os dados ao *microcontrolador* que após executar o processamento envia o *status* do pneu a um *display*.

Na figura 1 está representado o diagrama em blocos do sistema.

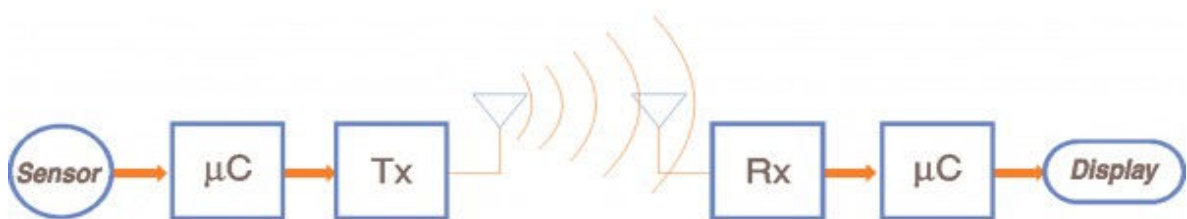


Figura 1 – Componentes de um sistema TPMS [Extraído de (Revista Saber Eletrônica - Ano 42 - Nº 401 - Junho/2006)].

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

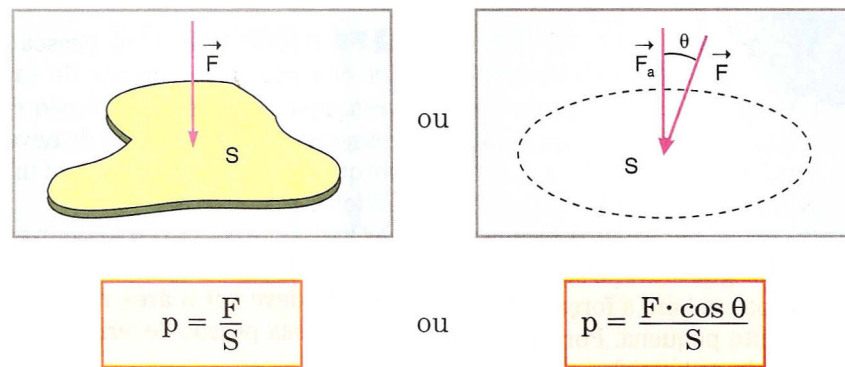
Neste capítulo, aborda-se um breve estudo dos sistemas *TMPS* existentes e seus componentes a fim de oferecer os subsídios necessários para a melhor assimilação do objetivo específico deste trabalho, analisando os conceitos fundamentais para o entendimento do protótipo acadêmico do sistema *TPMS*.

2.2 Pressão

2.2.1 Definição de Pressão

A pressão (P) é definida pela física relacionando as grandezas força e área através da razão da intensidade de uma força (F) aplicada perpendicularmente sobre a área (A) de uma superfície:

$$p = \frac{F}{A}$$



Unidades de medida de pressão

SISTEMA	UNIDADE
SI	N/m ² = pascal (Pa)
CGS	dyn/cm ² = bária (ba)

Figura 2 – Definição matemática de Pressão [Extraído de (Bonjorno, 1993)].

A unidade de pressão no Sistema Internacional de Unidades, como podemos observar se substituirmos as unidades de força (N) e área (m^2) na definição de pressão é o Newton por metro quadrado (N/m^2), também conhecida como pascal (Pa). Logo:

$$N/m^2 = 1 \text{ pascal} = 1 \text{ pa}$$

2.2.2 Pressão Isotrópica

Quando uma pressão age igualmente em todas as regiões no interior de um volume é chamada de pressão isotrópica, por exemplo, líquidos que exercem a mesma pressão em todas as áreas e a uma certa profundidade é o caso mais comum da pressão exercida sobre a atmosfera, mais conhecida como pressão atmosférica.

2.2.3 Pressão Atmosférica

Pressão atmosférica é a pressão que o ar exerce sobre a superfície da terra, ela é composta por uma mistura gasosa cujos principais componentes são o oxigênio e o nitrogênio. Essa camada de ar é da ordem de dezoito quilômetros de altura em relação à superfície da terra (ROBERTO, 1993).

2.3 Comunicação Digital

A eletrônica digital passou a ser utilizada na comunicação há algumas décadas, na época haviam varias limitações em virtude da carência de tecnologia e recursos. No início na comunicação digital eram utilizadas enormes válvulas termoiônicas para gerar o sinal.

Com o passar dos anos, surgiram os transistores e foram substituindo as válvulas reduzindo em grande escala os circuitos eletrônicos e melhorando a eficiência.

O grande avanço da tecnologia possibilitou a miniaturização através da microeletrônica e a melhoria dos componentes no quesito qualidade e aplicações. O *microprocessador* é o responsável por gerenciar os aparelhos eletrônicos modernos. Em prosseguimento os circuitos foram ficando mais sofisticados e menores fisicamente e a montagem dos componentes passou a ser em *SMD (surface mounted device)*, em consequência, a era da nanotecnologia passou a ser explorada nas últimas décadas em grande demanda tornando os sistemas eletrônicos mais eficientes e menores. (MEDEIROS, 2007).

O sistema de comunicação digital possui um modelo de comunicação que utiliza de transmissor, canal de comunicação e o receptor passando por um conversor A/D, na transmissão dos dados digitais seriais. A recepção é realizada em sequência inversa passando pelo modem e conversor D/A.

2.3.1 Telecomunicação em Sistemas de Radiofrequência

Entende-se por sistemas de telecomunicação o conjunto de equipamentos, materiais elétricos e eletrônicos, necessários para compor um sistema físico, com o objetivo de estabelecer enlaces de telecomunicações entre pelo menos dois pontos distantes. São exemplos de materiais aplicados: centrais telefônicas, transmissores e receptores de rádio, antenas, fios e cabos isoladores.

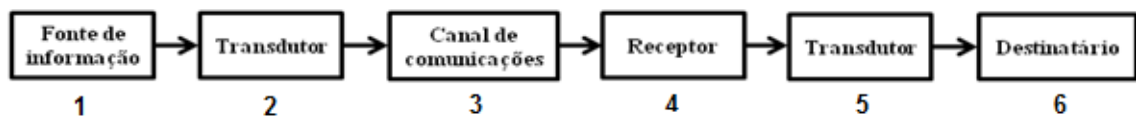


Figura 3 – Diagrama de blocos de um sistema analógico [Extraído de (Princípios de Telecomunicações)].

2.3.1.1 Modulação ASK

O *ASK* (*Amplitude Shift Keying*), chaveamento por desvio da amplitude, é o sistema utilizado pelo transmissor/receptor deste projeto. Através do transmissor TWS-BS e receptor RWS-374 a uma frequência de 433,9 MHz, consiste em alterar a amplitude da onda portadora com a fixação de dois níveis de amplitude, para representar o bit 1 e o bit 0, mantendo-se constantes a frequência e a continuidade da fase. O chaveamento *on-off* – *OOK* (*on-off keying*) é o tipo mais simples em que G é a portadora senoidal.

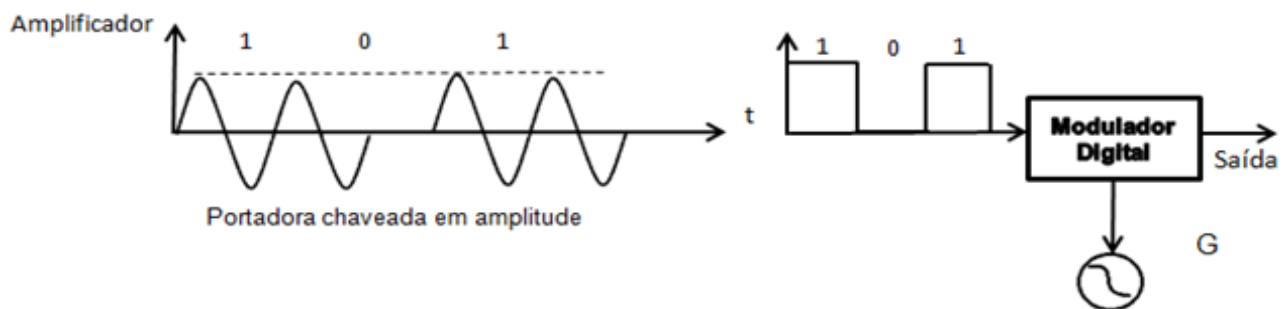


Gráfico 1 - Chaveamento ASK do tipo ON-OFF [Extraído de (Princípios de telecomunicações)].

O espaço vazio apresentado no gráfico pode ser ocupado pelo ruído e ocasionar erros na recepção: o bit 0 pode ser interpretado como 1.

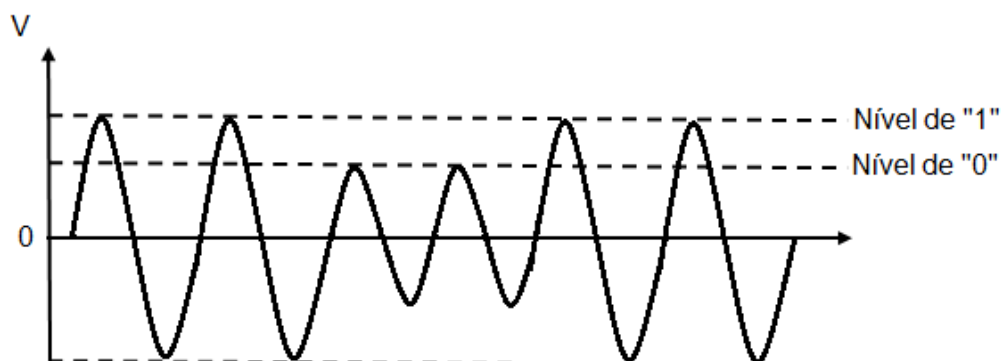


Gráfico 2 - Portadora chaveada em dois níveis de amplitude [Extraído de (Princípios de telecomunicações)].

2.3.1.2 Modulação FSK

A técnica de modulação mais utilizada pelo sistema *TPMS* existente no mercado é a *FSK* (*Frequency Shift Keying*), modulação por chaveamento de frequência, com bastante utilização em sistema de rádio, o chaveamento altera a frequência de chaveamento do molde, mantendo a amplitude e a continuidade da fase. Este sistema consiste em modular o sinal digital entre 0 e 1 aumentando ou diminuindo a frequência de modulação. Deste modo, a portadora assume dois valores de frequência, um para o *bit* 1 e outro para o *bit* 0. (MEDEIROS, 2007).

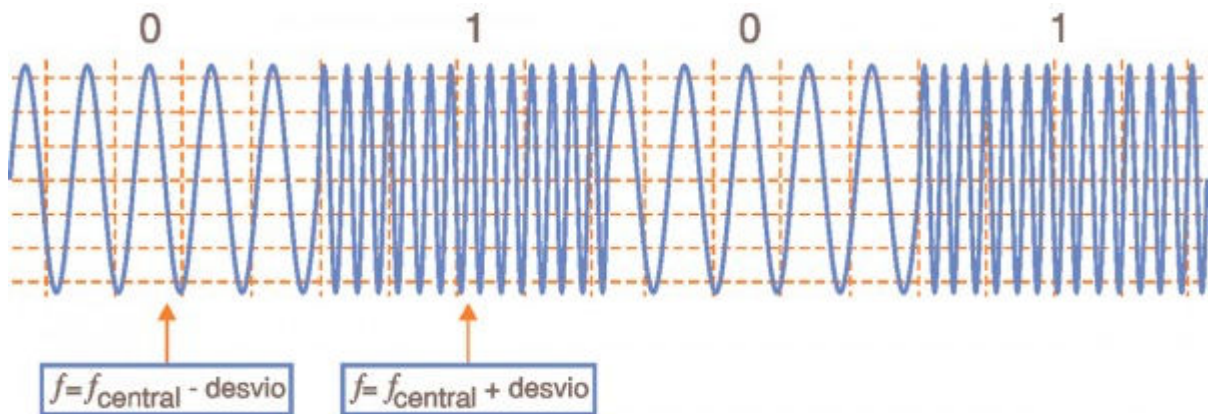


Gráfico 3 – Modulação FSK [Extraído de (revista Saber Eletrônica - Ano 42 - Nº 401 - Junho/2006)].

Para melhorar a integridade do sinal transmitido, eles são codificados através do método *Manchester*, onde cada *bit* é representado por duas mudanças de frequência conforme mostrado no gráfico 4.

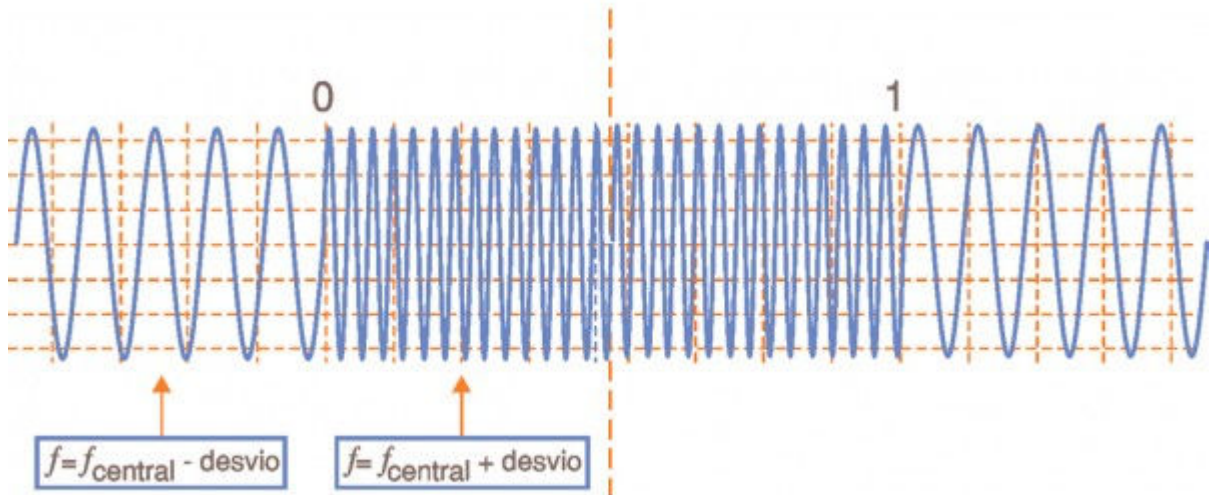


Gráfico 4 - Modulação FSK com codificação Manchester [Extraído de (revista Saber Eletrônica - Ano 42 - Nº 401 - Junho/2006)].

2.3.1.3 Chaveamento PSK

O *PSK (Phase Shift Keying)*, chaveamento por desvio da fase, o chaveamento é realizado alterando a fase da portadora em um ou mais pontos do período da senóide (entre 0 e 2π). A amplitude e a frequência da onda matem-se constantes. (MEDEIROS, 2007).

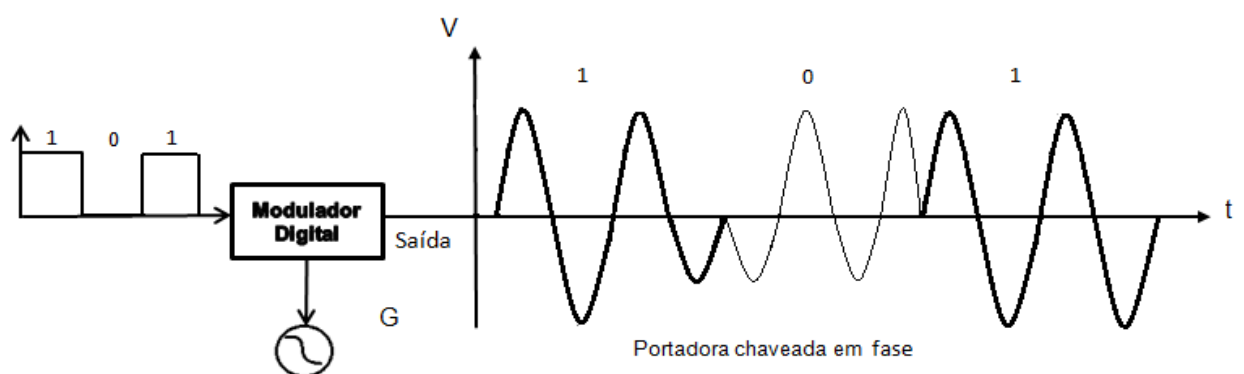


Gráfico 5 - Chaveamento PSK, bit a bit [Extraído de (Princípios de Telecomunicações)].

2.3.1.4 Velocidade de Propagação e Comprimento de Onda

Em espaço livre uma onda de rádio se propaga aproximadamente a 3×10^8 m/s, sendo este valor considerado a velocidade da luz no vácuo. A relação entre essa velocidade da luz e de uma determinada frequência nos estabelece o comprimento de onda λ da frequência relacionada. (MEDEIROS, 2007).

$$\lambda = \frac{V_c}{f} \text{ [m]}$$

2.3.1.5 Antena de Comunicação em Radiofrequência

Alimentada pelo transmissor, que gera uma corrente senoidal de RF, a antena é usada na transmissão dos sistemas de rádio para irradiar ondas eletromagnéticas e na recepção para captá-las. Durante a transmissão a antena converte a corrente de RF gerada pelo transmissor em ondas eletromagnéticas. Na recepção a antena faz o caminho inverso, convertendo a onda eletromagnética em corrente elétrica de RF, que será processada por um receptor visando deixar o sinal como foi transmitido funcionando hipoteticamente como um transdutor. (MEDEIROS, 2007).

2.3.1.5.1 Antena Vertical

Esse tipo de antena omnidirecional pode assumir diversos tipos de tamanhos de acordo com a frequência empregada, pois ela possui o comprimento sempre igual a:

$$\lambda' = \frac{V_c}{4f}$$

2.4 Comunicação Serial

2.4.1 Geração dos Bits

A informação digital é constituída de pulsos gerados a partir do chaveamento eletrônico de uma fonte de tensão contínua. Os *bits* correspondem a duas situações: tem ou não tem tensão, chamado de sinal binário. A figura abaixo é comparada à de uma lâmpada que está acesa (1) ou apagada (0). (MEDEIROS, 2007).

A largura do pulso ou tempo de duração do bit, medido na unidade de tempo segundo (s) e a taxa de geração da quantidade de *bits* por segundo. Na geração do caractere ou na conversão A/D, o elemento de informação geralmente é representado pela combinação de 8 *bits*, que corresponde a 1 *byte*.

O gráfico 6 abaixo mostra uma combinação genérica de 8 bits: 11001101.

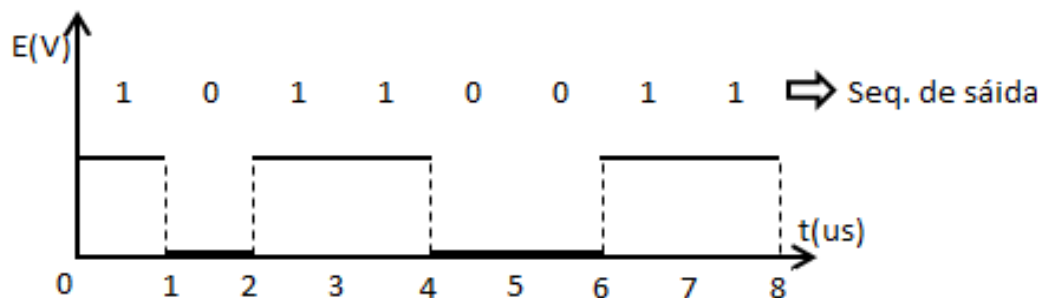


Gráfico 6 - Representação de um Byte [Extraído de (Princípios de Telecomunicações)].

2.4.2 Comunicação Serial RS232

O padrão de comunicação serial RS232 desenvolvido pela *EIA (Electronics Industry Association)*, é um dos mais difundidos no mundo da automação. A transmissão pode ser realizada através de um único fio *bit a bit* ou dois uma para envio e outro para o recebimento da informação. Na figura 4 está demonstrado um dos principais conectores utilizados na comunicação serial RS232.

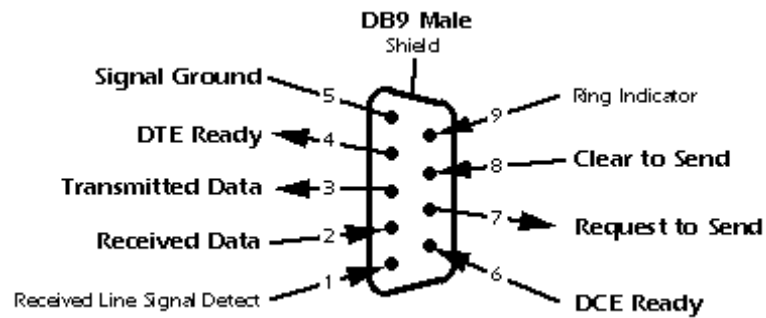


Figura 4 – Conector DB9 Male [Extraído de (Notas de aula Disciplina Conforto e Conveniência Fatec Santo André)].

Pino	Nome	Função
1	Não conectado	
2	RX	Recepção de dados
3	TX	Transmissão de dados
4	Não conectado	
5	GND	Referência para circuito RS 232
6	Não conectado	–
7	Não conectado	–
8	Não conectado	–
9	Não conectado	–

Tabela 1 - Pinagem do Conector DB9 para RS 232 [Extraído de (Manual da comunicação serial RS 232)].

O tipo de comunicação RS232 é realizado no padrão “Assíncrono”, ou seja, os *bits* são enviados em uma velocidade constante com formato específico.

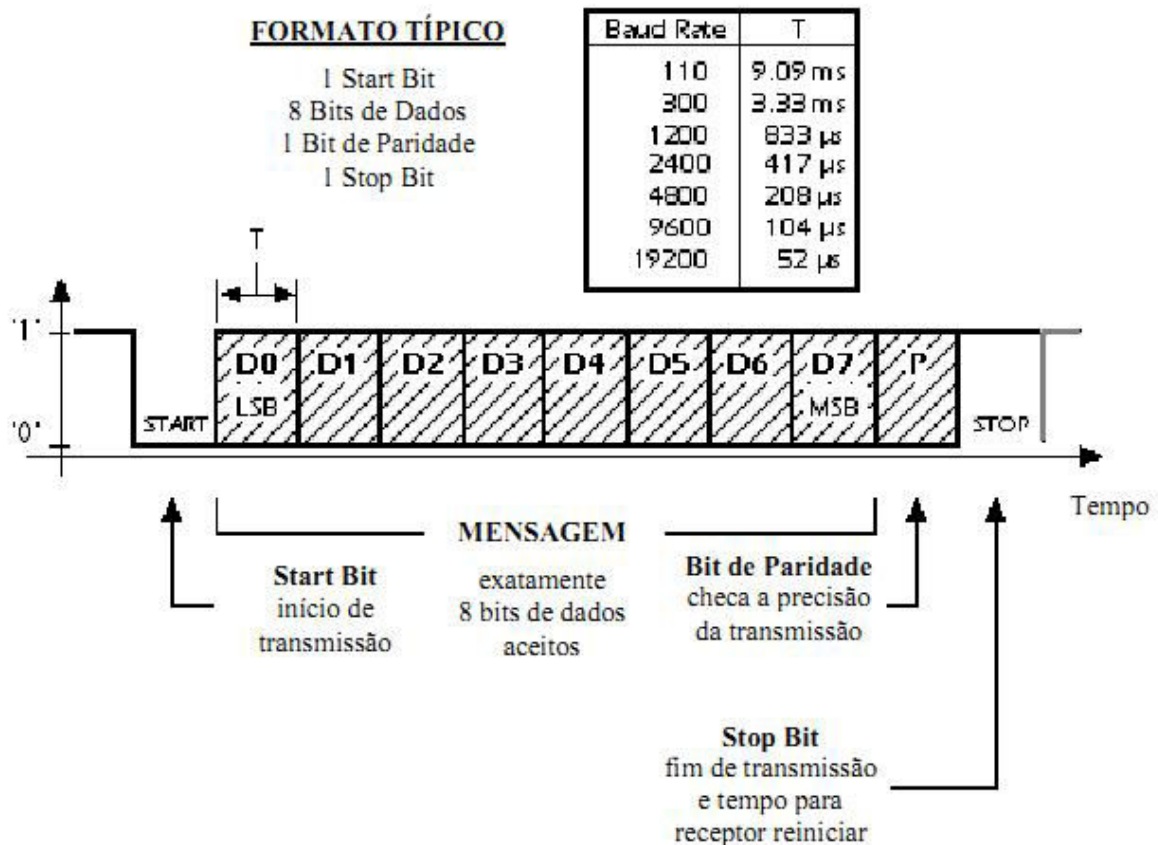


Gráfico 7 - Sinal lógico RS232 [Extraído de (Notas de aula Tópicos avançados de programação FATEC SANTO ANDRÉ)].

2.5 Comunicação Analógica para Circuitos Analógicos

2.5.1 Sensor de Pressão

O sensor de pressão M50-100 mA sugerido para aplicação neste projeto é um sensor de silício piezoresistivo, fabricado pela empresa *Measurement Specialties*. Considerado fisicamente pequeno o sensor pode medir pressão absoluta e pressão relativa. Uma medição de pressão absoluta inclui a pressão padrão do peso da atmosfera (101.325 Kpa) e a pressão adicional no interior do pneu. Geralmente a pressão ideal de trabalho do pneu é 34 PSI (podendo variar dependendo do fabricante e devido as propriedades mecânicas do pneu entre outros fatores). (DATASHEET SENSOR M50-100 mA).

Abaixo algumas características relevantes do sensor:

- Tensão de saída de 0 a 60 milivolts;
- Baixo consumo de excitação em 3.3 Vcc com 1 mA;
- Faixa de trabalho de 0 a 500 PSI.

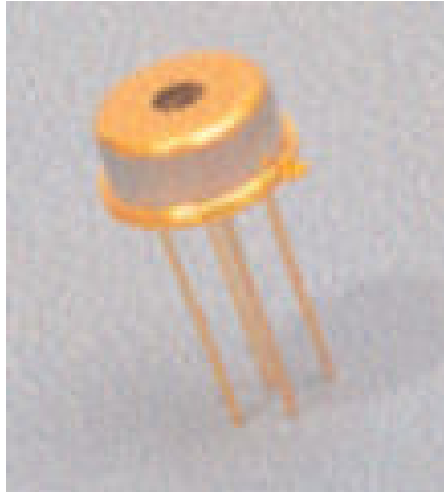


Figura 5 – Imagem sensor MD-50-100 mA Conector DB9 Male [Extraído de (Datasheet Sensor MD-50-mA)].

As dimensões do sensor são mostrada nas figura 6 abaixo:

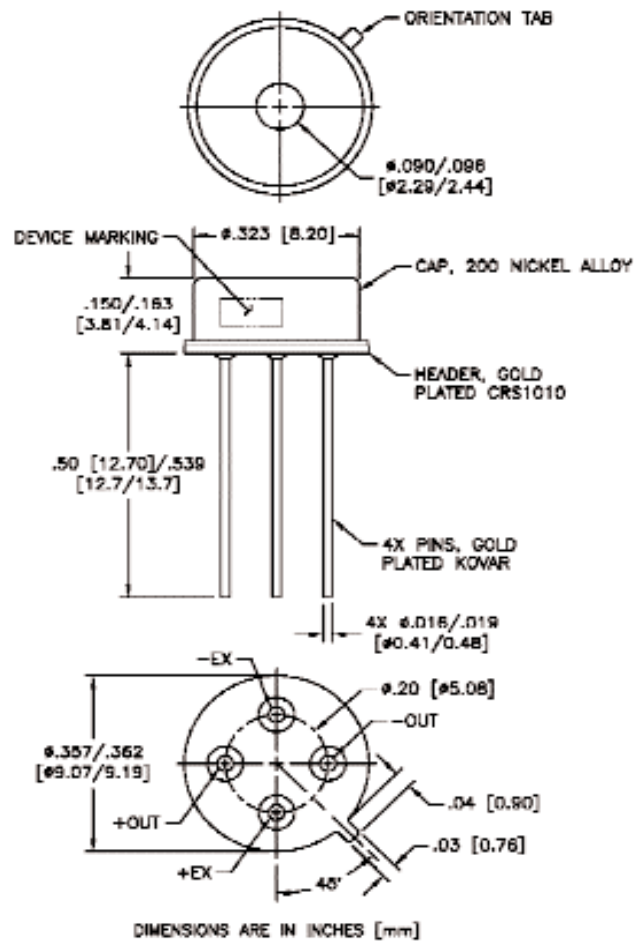


Figura 6 – Dimensões do sensor de pressão MD-50-100mA [Extraído de (Datasheet Sensor MD-50-mA)].

2.5.2 Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura LM35 fabricado pela empresa *National Semiconductor* é considerado um sensor preciso, (precisão de $\pm \frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$), possui baixo custo (~R\$ 1,60), e é bastante utilizado em aplicações acadêmicas e industriais. Sua tensão de saída é linearmente proporcional à temperatura em graus Celsius em que está submetido. Sua faixa de trabalho varia entre -55°C à 150°C . A temperatura máxima de trabalho do pneu pode chegar até 125°C . (DATASHEET SENSOR LM 35).

Abaixo algumas características relevantes:

- Tensão de alimentação -2 à 35 Vdc;

- Tensão de saída linearmente proporcional à temperatura em °C;
- Saída de 10 mV/°C.

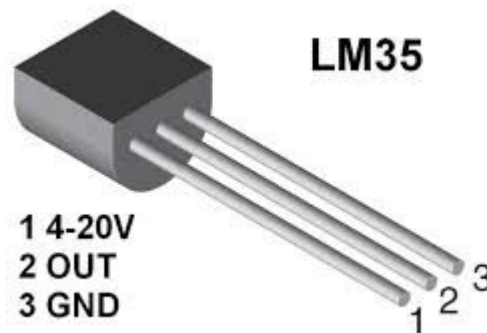


Figura 7 – Imagem sensor de temperatura LM 35 [Extraído de (Datasheet Sensor LM35)].

2.5.3 Sensor de Aceleração

O princípio de funcionamento dos acelerômetros baseia-se na segunda lei de Newton onde nos diz que uma força agindo sobre uma massa que sofre uma aceleração terá a magnitude de $F = m \cdot a$. (DAVID HALLIDAY).

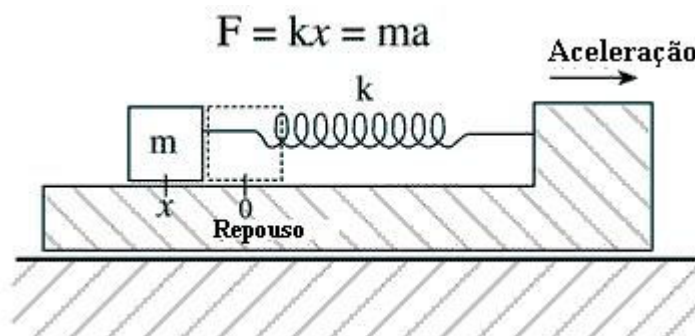


Figura 8 – Acelerômetro [Extraído de (Notas de aula Disciplina conforto e Conveniência Fatec Santo André)].

Onde conforme é submetido a uma vibração provoca uma variação no diafragma no interior no sensor tendo como saída uma variação de tensão em milivolts.

O sensor de aceleração serve para identificar o sentido de rotação da roda do veículo. Os dados coletados pelo acelerômetro são enviados para o *microcontrolador* e o mesmo executa os cálculos para identificação do sentido da rotação.

No caso do pneu, as principais acelerações em que está submetido são: a axial, radial e a tangencial. Os acelerômetros utilizam um, dois ou até três eixos de leitura da aceleração. Com princípios piezelétricos ou piezoresistivo, na ocorrência da vibração o acelerômetro consegue mensura-las através de meios elétricos e informá-las a uma central de gerenciamento que converte esses dados elétricos em valores de aceleração.

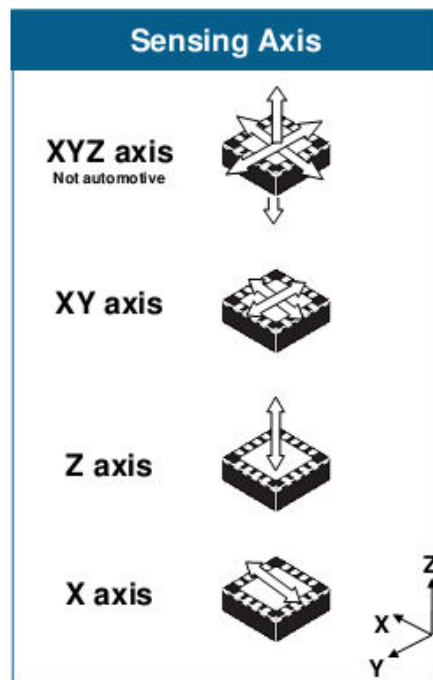


Figura 9 – Eixos de leitura do Acelerômetro [Extraído de (Notas de aula Disciplina Conforto e Conveniência Fatec Santo André)].

2.5.4 Amplificador Operacional

O amplificador operacional é um dispositivo utilizado para realização de operações matemáticas, adição, subtração, amplificação, atenuação entre outras funções.

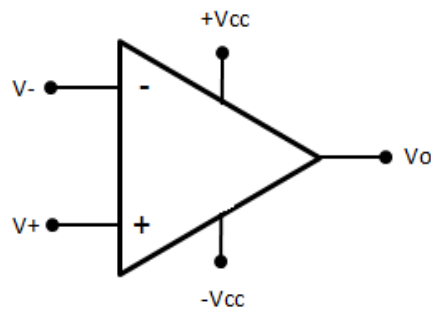


Figura 10 – Amplificador Operacional [Extraído de (Eletrônica Aplicada)].

O amplificador é composto por diversos transistores, diodos e resistores em um circuito integrado. Possui duas entradas, a inversora (V-) e a não inversora (V+); uma saída (Vo) e dois terminais de alimentação, um positivo (+Vcc) e outro negativo (-Vcc).

A operação básica do amplificador operacional é amplificação da tensão diferencial das entradas conforme gráfico 8 abaixo:

$$V_o = A_o \cdot V_e$$

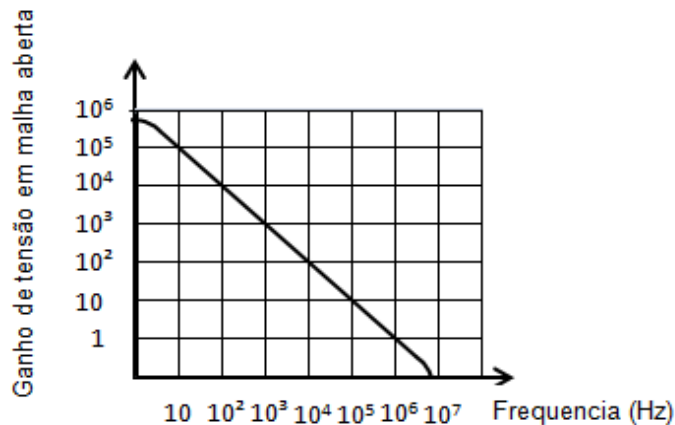


Gráfico 8 - Largura de Banda de um Amplificador Operacional [Extraído de (Eletrônica Aplicada)].

No circuito deste projeto indica-se a utilização dos amplificadores operacionais como sugestão para condicionar os sinais elétricos produzidos pelos sensores. Como por exemplo o sensor de pressão modelo M50-100mA sugerido para este projeto trabalha na faixa de 0 – 60 milivolts necessitando passar por circuitos eletrônicos de condicionamento de sinais amplificando a tensão para 0 – 5 volts para que este sinal seja lido corretamente pelo *microcontrolador*. No caso do sensor de temperatura foi sugerido o LM35 que trabalha na

faixa de -550 mV – 1500 mV e também necessita ser amplificado para 0 – 5 Volts conforme tensão de trabalho do *microcontrolador*.

Os sinais analógicos obtidos de transdutores, sensores e outras fontes de sinal, da ordem de milivolts ou ainda menores, na maioria das vezes, são de pequenas amplitudes e necessitam de amplificação para produzir o efeito do sinal desejado e para seja processado pelo *microcontrolador*.

O amplificador então destina-se a elevar o nível do sinal elétrico da informação em tensão ou em corrente elétrica. No passado o dispositivo ativo de ampliação era a válvula eletrônica e hoje são usados transistores e circuitos integrados (*CI*).

Os amplificadores de pequenos sinais, quase sempre lineares, destinam-se a produzir o sinal amplificado na forma digital e quando isso não acontece, diz-se que o sinal sofreu distorção. Amplificadores de corrente costumam ser chamados de amplificadores de potência. Quanto aos tipos de sinais, os amplificadores são classificados em amplificadores de áudio, de vídeo e de RF.

O ganho de amplificação (quantas vezes o sinal foi amplificado) costuma se expresso em decibel (dB). (MEDEIROS, 2007).

2.5.5 Sistema *Energy Scavenging* / *Harvesting*

O sistema *energy harvesting* ou captação de energia consiste basicamente na utilização de vibrações mecânicas como fonte de energia. No interior do pneu, pode-se dizer que existem acelerações em três direções principais, a radial, axial e a tangencial, todas resultantes da revolução do pneu. O sistema de captação de energia utiliza-se de um dispositivo piezelétrico no interior do sensor de pressão que gera corrente para o sensor através da vibração eliminando a necessidade de bateria.

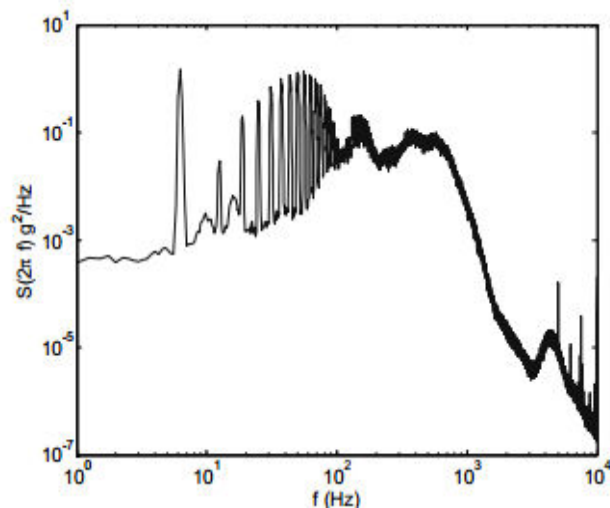


Gráfico 9 - Potência espectral coletada do interior do pneu a uma velocidade de 50km/h [Extraído de(www.nhtsa.dot.gov)].

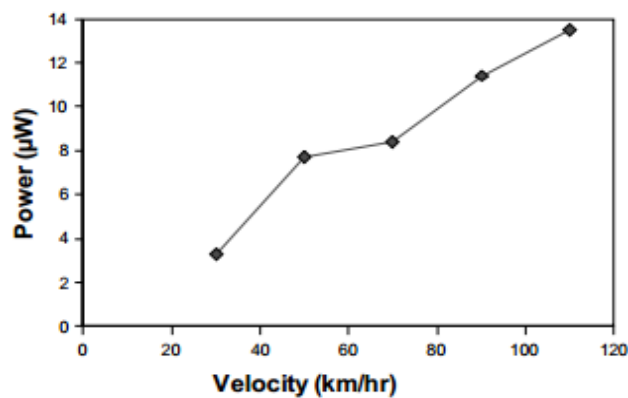


Gráfico 10 - Simulação de saída de potência e velocidade do veículo [Extraído de (www.nhtsa.dot.gov)].

2.6 Tipos de Sistemas TPMS

2.6.1 TPMS Indireto

O sistema de *TPMS* indireto foi o primeiro desenvolvido, realiza somente medidas indiretas da pressão dos pneus através dos sensores *ESP / ABS*. A variação de pressão era detectada através da variação do diâmetro dos pneus, ou seja, ocorrendo mudança de diâmetro significava alteração da velocidade. Funcionando em paralelo com o sistema *ABS* eram implantados sensores de velocidade nas rodas. Enviando as informações a uma *ECU* (*Eletronic Control Unit*). Com todos os pneus calibrados e de mesmo volume, para uma determinada velocidade do veículo todos os pneus devem estar na mesma rotação, caso algum

dos pneus venha ter uma queda de pressão, a rotação se altera e o sistema detecta essa variação através da velocidade.

Porém esse sistema apresenta uma falha: se todos os pneus sofrerem a mesma queda de pressão, a velocidade será a mesma para todas as rodas e o sistema não irá interpretar a queda de pressão. Se apenas duas rodas do mesmo eixo tiverem a mesma queda de pressão o sistema também não detecta. Devido a essas falhas esse sistema foi abandonado.

Desvantagens:

- menor precisão
- não indica temperatura
- não funciona com o veículo parado. (www.pneucyt.com, 2006)

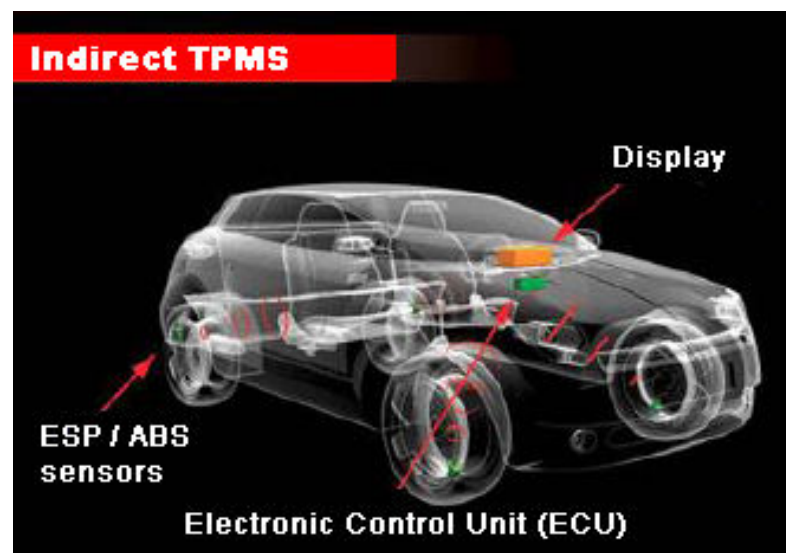


Figura 11 – Imagem Sistema TPMS Indireto [Extraído de (Pneucyt.com)].

2.6.1.2 Funcionamento da Roda dentada no sistema TPMS Indireto

A velocidade das rodas é detectada através um anel do sistema *ABS* que gira solidário a roda em rotação e de sensores magnéticos que realizam a leitura dos pulsos gerados pela movimentação do anel *ABS*. Desta forma, a velocidade é medida e enviada para uma unidade de controle eletrônico (*ECU*). Adaptado (Notas de aula Disciplina Sistemas de Freios Fatec Santo André).

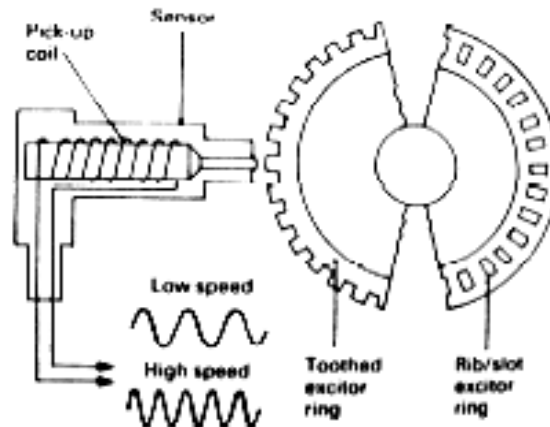


Figura 12 – Sensor magnético e Roda dentada do sistema ABS[Extraído de (Notas de Aulas Sistema de Freios Fatec Santo André)].

2.6.2 TPMS Direto

Sistema bem mais eficiente que o sistema indireto. O monitoramento da pressão e temperatura é realizado por meio de sensores acoplados dentro ou entorno de todos os pneus do veículo. A faixa de trabalho indicada pelos fabricantes de pneus variam em torno de 8 PSI a 32 PSI. Os dados obtidos através dos sensores são enviados por meio de radiofrequência para um receptor central que realiza o processamento dos dados e indica no painel do veículo ao condutor. A grande vantagem do sistema direto é que os valores coletados são valores reais, ou seja, é um sistema independente de qualquer outro instalado no veículo, diferentemente do sistema indireto que é utilizado em conjunto com o sistema *ABS*. Os valores são coletados através de sensores acoplados no interior do pneu que dimensionam as variáveis de pressão, temperatura e também a aceleração, e são transmitidos por RF até o circuito receptor localizado no painel de instrumentos do veículo. O condutor do veículo pode acompanhar em tempo real o comportamento da pressão e temperatura dos pneus, e em alguns casos, até mesmo o sentido de direção do pneu. Outra vantagem do sistema direto é a precisão do sinal transmitido.

A medida da pressão dos pneus é realizada por microsensores construídos em células baseadas em silício e elementos piezelétricos. Uma variação de pressão ocasiona uma deformação no diafragma conectado a um elemento sensível. Esta deformação causa uma variação na tensão gerada pelo cristal piezelétrico e após tratamento do sinal é medida e convertida pelo sistema. A medida de temperatura é feita por elementos como *PTC* e *NTC*,

resistores que variam sua resistência proporcionalmente em relação a temperatura submetida. (MECATRÔNICA, 2006).

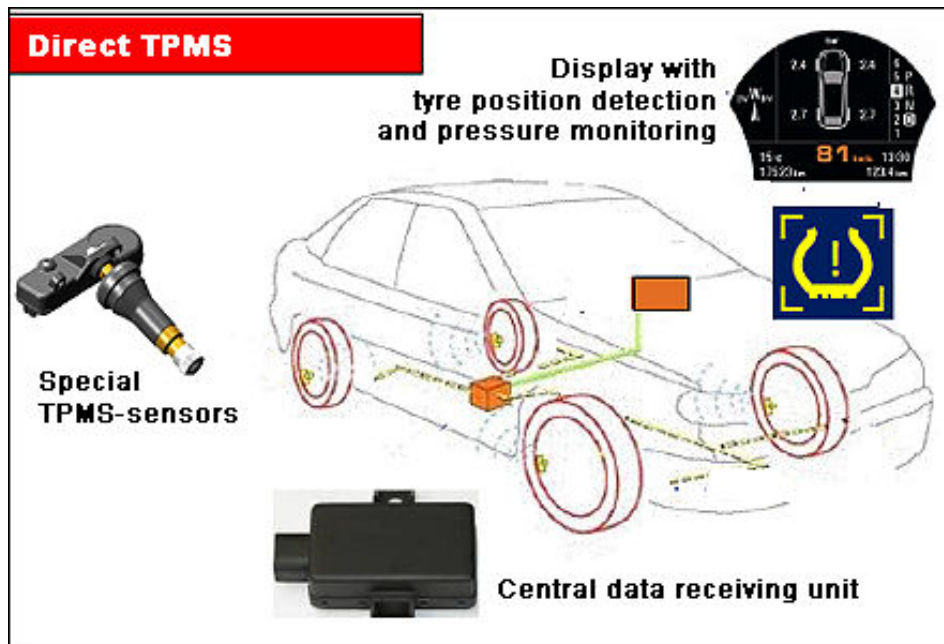


Figura 13 – Imagem Sistema TPMS Direto [Extraído de (Pneucyt.com)].



Figura 14 – Imagem do Sistema TPMS direto [Extraído de (Notas de aula Conforto e Conveniência)].

2.6.3 Local de Instalação do TPMS

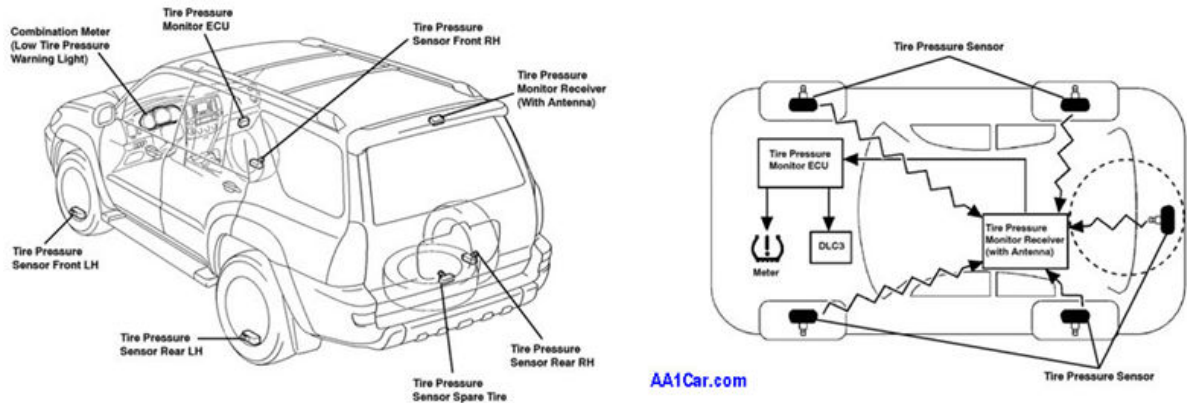


Figura 15 – Imagem do Sistema TPMS direto [Extraído de (Notas de aula Conforto e Conveniência)].

Benefícios do TPMS

- Prolonga a vida útil dos pneus;
- Conserva a geometria dos pneus;
- Diminui as chances de uma falha catastrófica dos pneus;
- Melhora o consumo de combustível;
- Diminui os riscos de acidentes;
- Mantêm a estabilidade do veículo;
- Contribui para boa capacidade de frenagem;

2.6.4 Aplicações Comerciais

Nos *EUA* e na Europa é possível encontrar o sistema *TPMS* em lojas de acessórios de veículos desenvolvidos por fabricantes comerciais.



Figura 16 – Kit Deso System [Extraído de (www.deso.com.cn/)].

Modo de instalação do sistema *TPMS*. O sensor pode ser instalado com fita metálica conforme figura. A central de gerenciamento deve ficar em local de fácil visualização.



Figura 17 – Montagem do sistema TPMS na roda [Extraído de (Revista Saber Eletrônica - Ano 42 - Nº 401 - Junho/2006)].



Figura 18 – Sensor de pressão fixado diretamente à válvula [Extraído de (www.tyresafety.co.uk)].



Figura 19 – Sensor para ser fixado diretamente na válvula e sua central de recepção [Extraído de (Revista saber Eletrônica - Ano 42 - Nº 401 - Junho/2006)].

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Introdução

Este capítulo descreve os módulos de gerenciamento do *hardware* contido no sistema, ou seja, a aquisição dos dados através dos potenciômetros, a interpretação dos sinais e a comunicação entre os circuitos em radiofrequência.

3.2 Descrição do *Hardware*

Serão descritas as principais características dos módulos do *hardware* responsáveis pelo funcionamento deste sistema implementado.

3.2.1 Aquisição de Sinais do Projeto

Neste projeto, como já foi dito anteriormente, inicialmente, os sinais serão adquiridos através de potenciômetros para a simulação de leitura dos sensores. Esses sinais são analógicos e para a correta interpretação do *microcontrolador* necessitam passar por um conversor A/D.

3.2.2 Circuito Transmissor

É o responsável por coletar todas as variáveis envolvidas no projeto, processá-las e enviá-las com um sinal eficiente suficiente para a correta interpretação do circuito receptor.

Os potenciômetros utilizados para a simulação dos sensores estão conectados na placa do circuito transmissor, e o *microcontrolador* monitora esse sinal em tempo real. Após a interpretação do sinal recebido, o *microcontrolador* envia os dados em tempos pré-estabelecidos para a entrada serial do transmissor RF (*TX*) que envia o sinal serial em *frames* por radiofrequência ao receptor RF (*RX*).

Foi confeccionada uma antena tipo vertical utilizando o cabo coaxial RG 174 de fator $FV = 0.66$.

$$\lambda' = \left(\frac{vc}{4f} \right) \cdot FV \text{ [m]}$$

A alimentação do circuito transmissor é realizada através de uma bateria de 9 volts. Para a correta alimentação dos componentes do circuito transmissor foi necessário desenvolver um circuito regulador de tensão que regula a tensão para 5 volts.

Antes de começar o desenvolvimento do programa foi realizado um fluxograma com os objetivos do projeto descrevendo passo a passo as funções do mesmo. (Figura 20):

Fluxograma TX

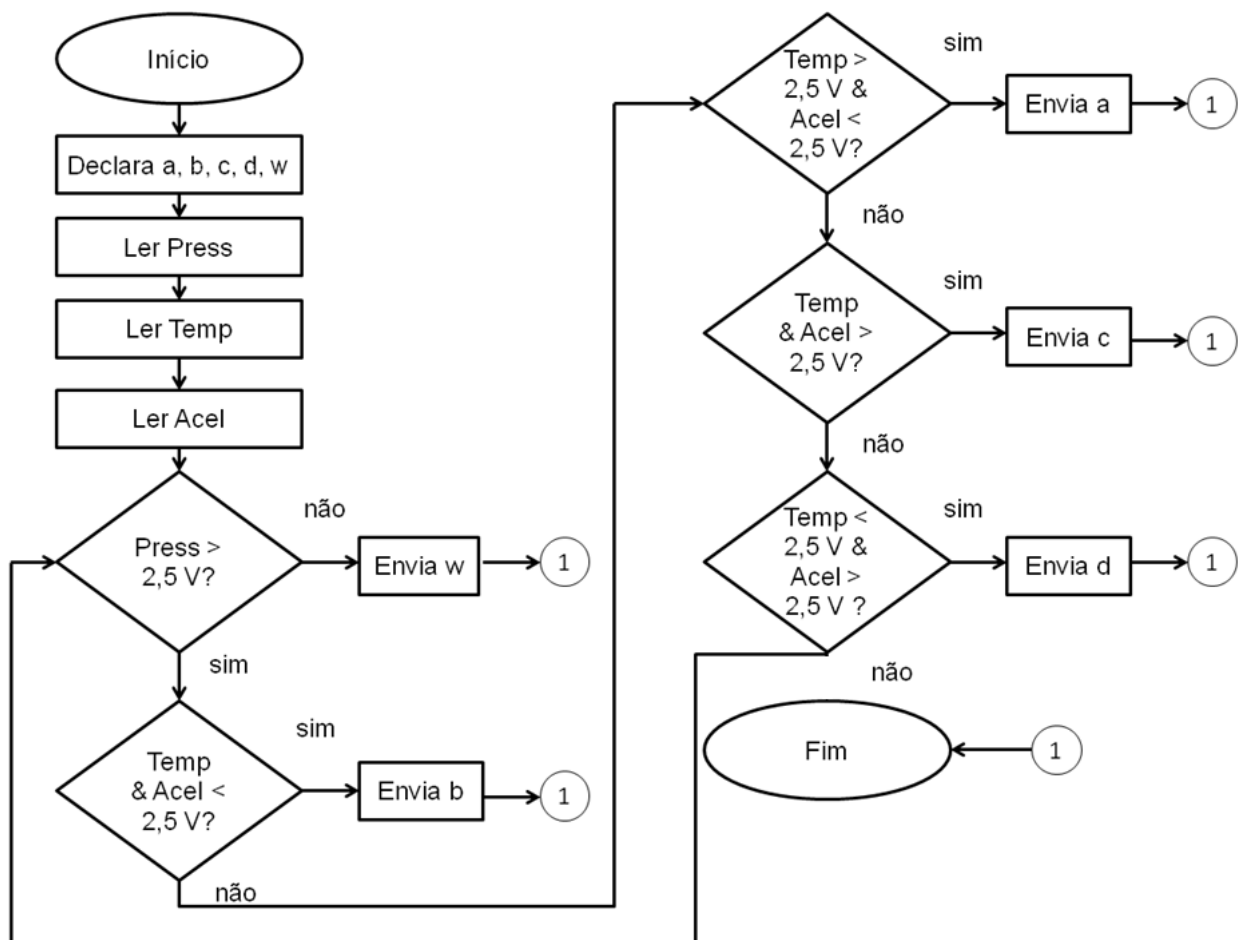


Figura 20 – Fluxograma programa do circuito transmissor (TX) [“Dados do Autor”].

O *microcontrolador* do circuito transmissor, após realizar as leituras executa o programa e envia os sinais em *frames* conforme tabela 2 indicada abaixo.

TX									
Status	Saída Digital								
Press < 2.5 V	0b	0	0	0	1	0	0	0	1
Temp & Acel < 2.5 V	0b	1	1	1	1	1	1	1	1
Temp > 2.5 V & Acel < 2.5 V	0b	0	0	0	0	0	0	0	0
Temp & Acel > 2.5 V	0b	1	1	1	0	0	1	1	1
Temp < 2.5V & Acel > 2.5 V	0b	0	0	0	0	1	1	1	1

Tabela 2 - Representação Status de pressão do pneu / ID's Transmissor ["Dados do Autor"].

Como já foi dito anteriormente, a coleta dos dados de pressão, temperatura e sentido de aceleração dos pneus foram simuladas através de potenciômetros que trabalham em uma faixa de 0 – 5 Volts. A tabela 3 abaixo mostra as referências de tensão na entrada analógica do *microcontrolador* considerada para a simulação utilizada neste projeto:

Pressão	Ref.	Temperatura	Ref	Aceleração	Ref
> 2.5 Volts	OK	> 2.5 Volts	OK	> 2.5 Volts	Ré
< 2.5 Volts	Baixa	< 2.5 Volts	Ruim	< 2.5 Volts	Frontal

Tabela 3 - Relação tensão de entrada e Referência de Status ["Dados do Autor"].

3.2.3 Circuito Receptor

É o responsável por receber os dados seriais enviados via RF pelo transmissor, interpretá-los e enviar o "Status" a um *display* utilizado em nosso projeto.

Foram estabelecidos *frames* de comparação com os sinais que serão recebidos pelo receptor (*RX*). O sinal de 8 *bits* que chega na entrada do receptor RF passa pelo *microcontrolador* que está programado para executar comparações dos *frames* recebidos com os *frames* previamente estabelecidos no programa e em caso de verdadeiro, o programa identifica a mensagem a ser enviada no *display* sobre as condições de pressão, temperatura e sentido de rotação dos pneus naquele momento. Foram definidas 5 possibilidades: "Pneu

Vazio reparo”, “Press OK / Temp OK / Acel Frontal”, “ Press OK / Temp Ruim / Acel Frontal”, “Press OK / Temp OK / Acel Ré” e “Press OK / Temp Ruim / Acel Ré” cada uma delas está referida a um “frame” conforme descrito na tabela 4 abaixo.

A figura 21 mostra o Fluxograma da estratégia de programação do circuito receptor (RX):

Fluxograma RX

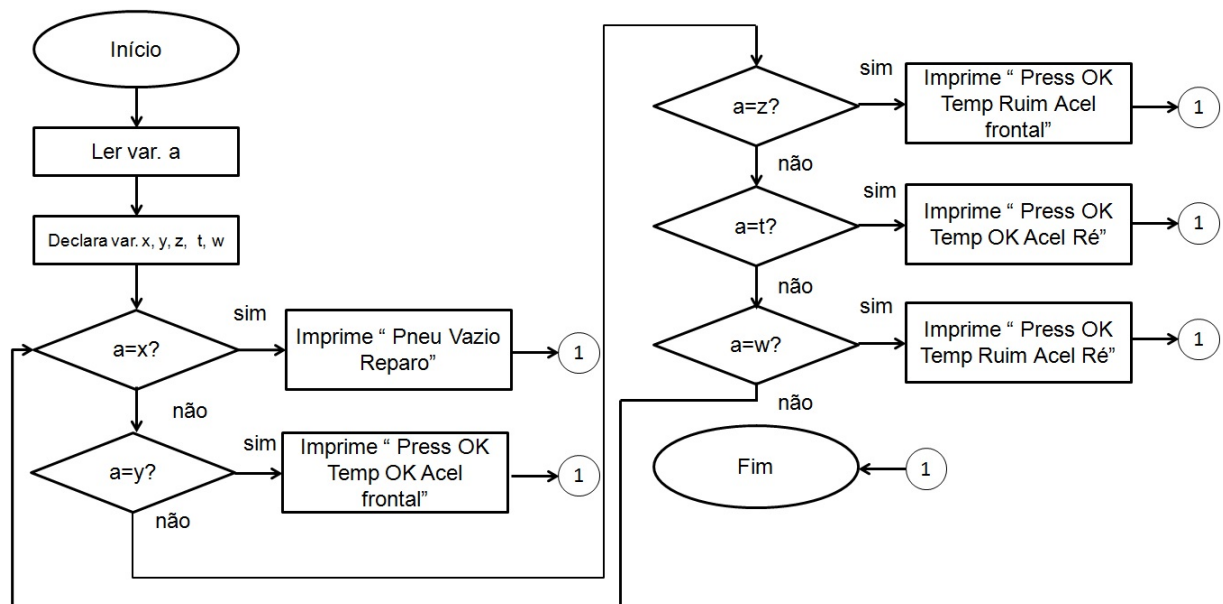


Figura 21 – Fluxograma programa do circuito Receptor (RX) [“Dados do Autor”].

O circuito de recepção dos dados será composto por um receptor RF, um *microcontrolador* e um *display* digital conectados em uma placa.

O sinal digital enviado pelo transmissor através de *frames* de 8 *bits* chega ao receptor (RX) em um período de tempo programado e a saída do receptor está conectada na entrada C6 (pino 25) do *microcontrolador*.

O *microcontrolador* está programado para ler esse sinal e interpreta-lo conforme os *frames* recebidos.

A placa ficará acoplada no painel para visualização do condutor do veículo.

Os dados do receptor estão representados conforme tabela 4:

RX									
Entrada Digital									Saída Display
0b	0	0	0	1	0	0	0	1	Pneu Vazio Reparo
0b	1	1	1	1	1	1	1	1	Press OK Temp Ruim Acel Frontal
0b	0	0	0	0	0	0	0	0	Press OK Temp OK Acel Frontal
0b	1	1	1	0	0	1	1	1	Press OK Temp OK Acel Ré
0b	0	0	0	0	1	1	1	1	Press OK Temp Ruim Acel Ré

Tabela 4 - Representação dos ID's / Status Display Receptor[“Dados do Autor”].

3.3 Componentes

3.3.1 Transmissor RF

O transmissor utilizado neste projeto *TWS-BS* trabalha em uma frequência de 433,92 MHz, suas características relevantes estão informadas na figura 22 e 23 conforme abaixo:

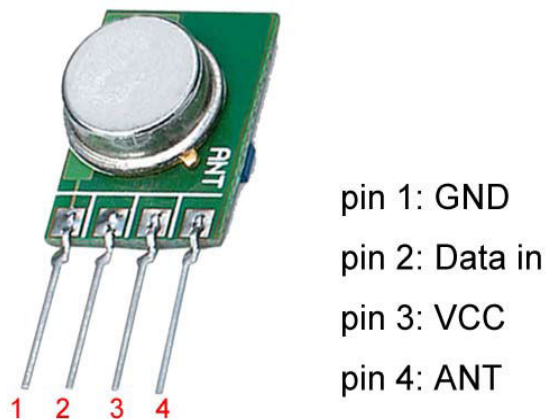


Figura 22 – Transmissor RF [Extraído de (Datasheet TWS-DS RF MODULE Series)].

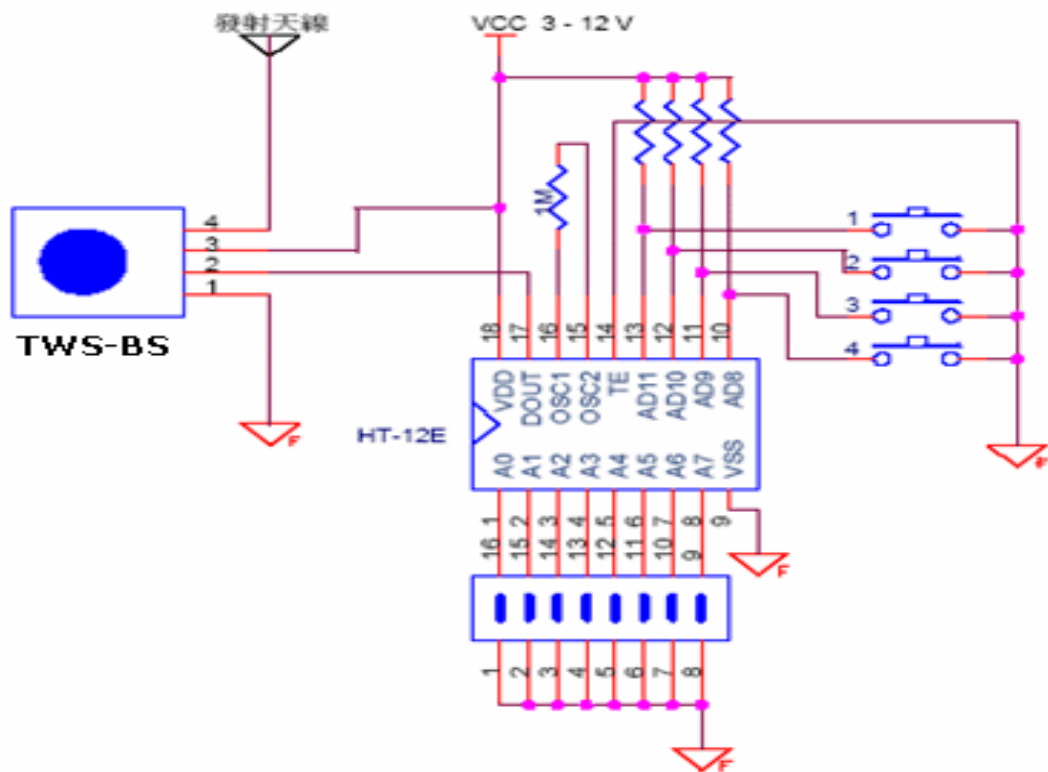


Figura 23 – Circuito representativo do transmissor com codificador [Extraído de (Datasheet TWS-BS Module series)].

3.3.2 Receptor RF

Nas figuras 24 e 25 está representado o receptor RF *RWS-374-6*, trabalha na mesma frequência do transmissor que recebe os dados e os envia para o *microcontrolador* do (RX).

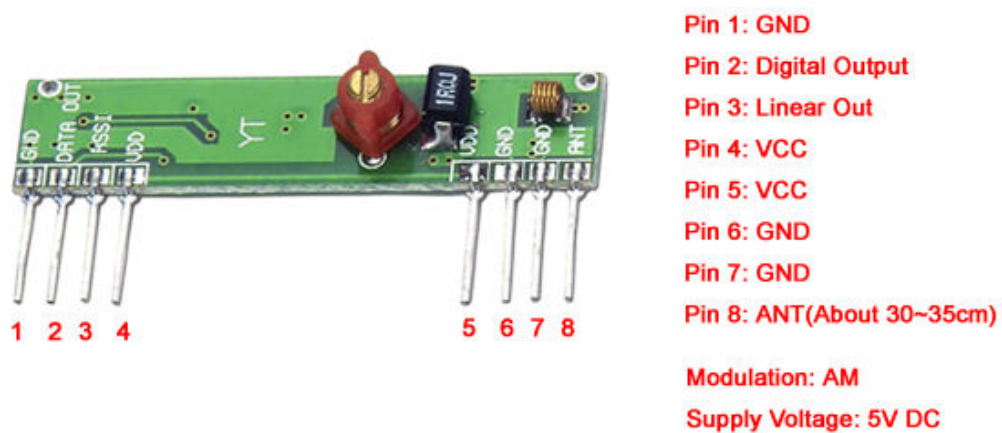


Figura 24 – Imagem da placa circuito Receptor RWS-374 [Extraído de (Datasheet RWS-374)].

imagem do *microcontrolador* está representada a figura 26 abaixo: (DATASHEET PIC 16F877, 2001).



Figura 26 – Imagem Microcontrolador PIC16F877A [Extraído de (Datasheet PIC16F877A)].

Abaixo, na figura 27 é demonstrado o diagrama da pinagem do *PIC16F877A*:

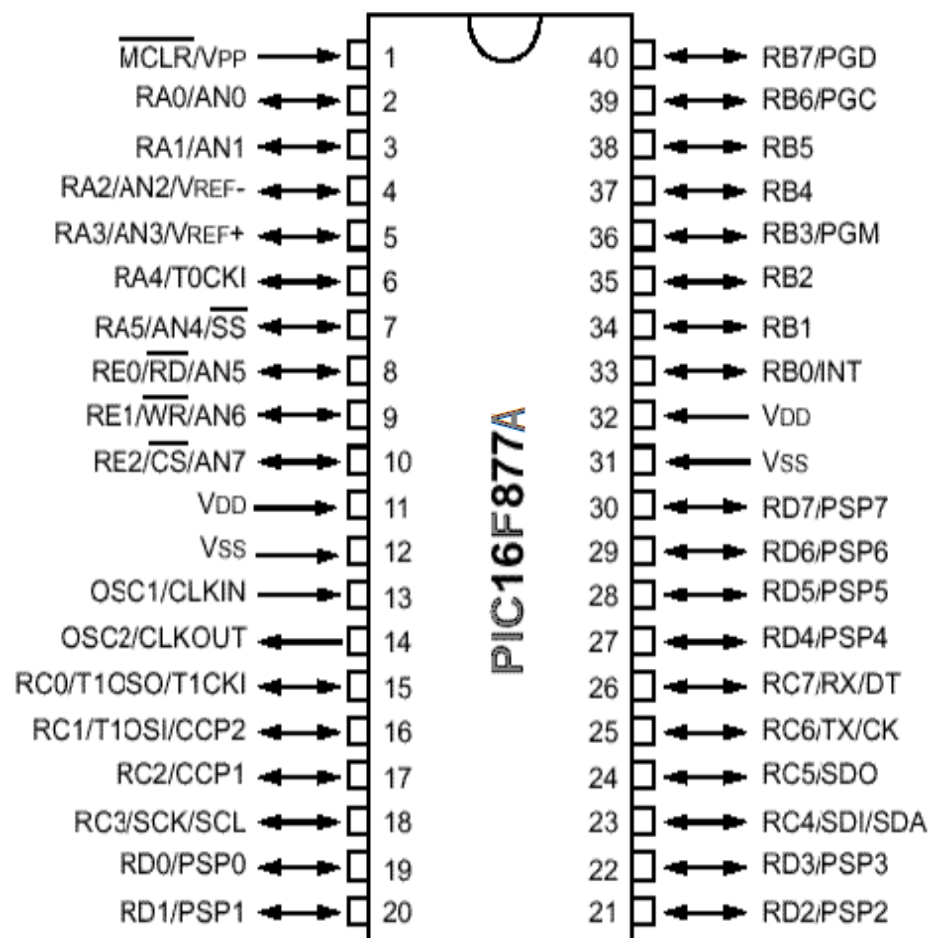


Figura 27 – Diagrama da pinagem do PIC16F877A [Adaptado de (Datasheet PIC 16F87X)].

3.3.4 Display

O *display* modelo *JHD 162A* (Figura 28) é considerado um modelo padrão devido sua utilização em grande quantidade. Trata-se de um *display* que possui duas linhas com 16 caracteres cada um. Uma característica importante desse *display* é que ele já possui um *drive* de controle interno, desta forma a comunicação a ser utilizada é a comunicação paralela, passando o comando e os caracteres que desejamos escrever diretamente em código *ASCII*. (CONECTANDO O PIC 4).



Figura 28 – Display JHD 162 [Extraído de (Datasheet display JHD 162)].

Pino	Função	Pino	Função
1	V _{SS}	9	DB2
2	VDD	10	DB3
3	V ₀	11	DB4
4	RS	12	DB5
5	R/W	13	DB6
6	E	14	DB7
7	DB0	15	A
8	DB1	16	K

Tabela 5 - Pinagem do Display JHD 162a [Extraído de (Conectando o PIC edição 4)].

Os dois primeiros pinos (*V_{SS}* e *VDD*) são relativos à alimentação do componente que devem ser ligados a uma tensão nominal de 5 *VDC*. A tensão mínima e máxima para alimentação pode variar conforme o fabricante, mas na maioria dos casos ficam entre 4,75 e 5,25 *VDC*.

O pino *V₀* é utilizado para controle do contraste e o ligamos ao centro de um potenciômetro de 10 Kohms com as extremidades ligadas ao *V_{SS}* e ao *VDD*. Na verdade, esse pino deve possuir uma tensão variável ou fixa entre *V_{SS}* e *VDD*.

O pino *RS* (*Register Select*) é utilizado para definirmos o tipo de informação passada através da comunicação paralela:

RS	Descrição
0	A informação é um comando ou instrução.
1	A informação é um dado.

Tabela 6 - Representação do RS display JHD 162 [Extraído de (Conectando o PIC edição 4)].

O pino *R/W* muda o estado do *LCD* entre leitura (*Read*) e escrita (*Write*). Essa mudança pode ser feita para escrevermos um comando ou um dado e checarmos quando o *LCD* terminou a operação e está pronto para darmos continuidade ao processo.

R/W	Descrição
0	Operação de escrita
1	Operação de Leitura

Tabela 7 - Representação do R/W display JHD 162 [Extraído de (Conectando o PIC edição 4)].

Em muitos projetos, como no caso da placa proposta, esse pino não é utilizado, ficando permanente ligado ao *VSS*. Nesse caso o *LCD* só opera em modo de escrita. Por isso, precisamos garantir o término das operações internas do módulo de *LCD* através de tempos pré-estabelecidos. Esses tempos serão descritos adiante.

O pino (*Enable*) é utilizado para efetivar a leitura da informação escrita no barramento de dados. Essa leitura é efetuada na borda de descida desse sinal.

Os pinos *DB0* e *DB7* equivalem ao barramento de dados paralelo. Apesar de existirem oito vias de dados, esse *display* também pode operar com quatro vias (*DB4* a *DB7*), já que as demais vias ficam sem funções. Nesse caso as informações são enviadas em dois pacotes de 4 *bits* cada um. Os pinos *A* (*Anode*) e *K* (*Katode*) são usados para ligação do *Backlight* (iluminação de fundo). O fato é que apesar da existência dos pinos, nem todos os *displays* possuem essa iluminação.

Pois então pra este trabalho valerá a comunicação em quatro vias de dados (*DB4* a *DB7*) conectadas nos pinos (*RD0* a *RD4*) do *PIC*, acrescido dos controles *RS* e *E*, dando um

total de seis pinos interligando o *PIC* ao *LCD*. Desta forma, para enviar uma informação ao *LCD* precisou-se primeiramente ajustar *RS* para informar se é um comando ou uma dado. Em seguida escrever a informação no barramento de dados. (DAVI JOSÉ DE SOUZA).

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Introdução

Neste capítulo, faz-se a apresentação dos resultados obtidos nos testes realizados conforme descrito nos objetivos iniciais.

Um fato importante a ressaltar, é que durante a realização dos testes, o objetivo principal foi a procura de resultados que pudessem demonstrar de forma sucinta e objetiva o funcionamento do sistema como um todo, evidenciando a eficiência do mesmo em gerenciar as variáveis envolvidas e verificando a comunicação dos dados entre os módulos.

Outro fator importante a enfatizar, é que devido algumas dificuldades encontradas e ao cronograma para a entrega do trabalho, foi decidido pela não utilização dos sensores, realizando a simulação destes em bancada através de componentes com saída de tensão compatíveis a dos sensores utilizados, como por exemplo, o potenciômetro. O sistema desenvolvido pode trabalhar em condições do sistema real existente necessitando apenas inserir os sensores e adequar o sistema, ficando então essa implementação como proposta futura do projeto.

4.2 Relatórios de Testes Realizados

4.2.1 1º Teste Realizado

Este teste visou homologar e coletar informações técnicas, sobre âmbito operacional, do transmissor e receptor escolhido para o desenvolvimento deste projeto. Esta simulação visa viabilizar o uso de dois dispositivos, amplamente utilizados no mercado, como recurso para a finalidade de comunicação dos dados que serão pertinentes para este projeto.

Como meio transmissor utiliza-se o *TWS-BS-3*, e como modo receptor o *RWS-374-6* ambos atuantes na faixa de frequência *UHF*, sobre a frequência específica de 433,92 MHz,

com uma capacidade de taxa de dados de 8 Kbps e padronização de modulação *ASK* (*Amplitude Shift-Keying*, ou “Chaveamento de Amplitude por Mudança de Estado”).

Em conjunto a estes dispositivos, nas aplicações mais comuns utilizadas em mercado, são implementados um codificador e um decodificador respectivamente, o *HT-12E* e o *HT-12D*, onde consta-se uma determinada confecção identificadora que possui finalidade de restringir e/ou selecionar o que deseja-se comunicar (função “*ID*”), e assim sendo comum o uso associado destes dispositivos, os testes descritos neste relatório foram efetuados com o uso destes também.

Em anexo a este relatório segue as informações técnicas dos fabricantes de cada um dos dispositivos citados.

Nestes testes não foram efetuados qualquer desenvolvimento de recursos ao projeto, foram apenas abordadas questões de homologação operacional e a aquisição de informações técnicas para desenvolvimentos futuros deste projeto.

Síntese técnica de maior relevância:

Frequência de operação: 433,92MHz;

Tensão de Alimentação - nominal: 5Vdc;

Taxa de Transmissão de Dados Máxima (TWS-BS-3): 8Kbps;

Taxa de Recepção de Dados Máxima (RWS-374-6): 4,8Kbps;

Sensibilidade Rx: -106DBm à -110 DBm;

Endereçamento utilizado (A0-A7): 10000000b;

Dados de testes: 1111b e 0111b;

Imagens coletadas no teste

- Protótipo em set 1111b:

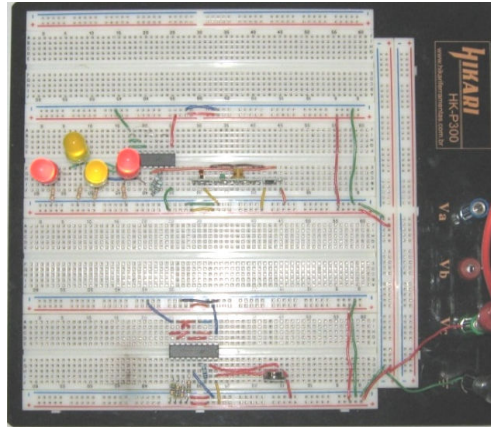


Figura 29 – Ilustração dos ID's em modo de transmissão RF [“Dados do Autor”].

- Protótipo em set 0111b:

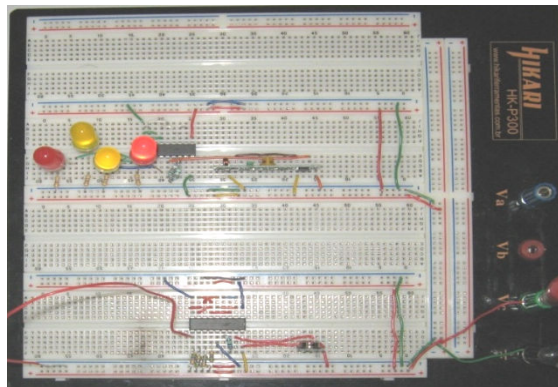


Figura 30 – Ilustração dos ID's em modo de transmissão RF [“Dados do Autor”].

- Amostragem de resultado, módulos Tx e Rx

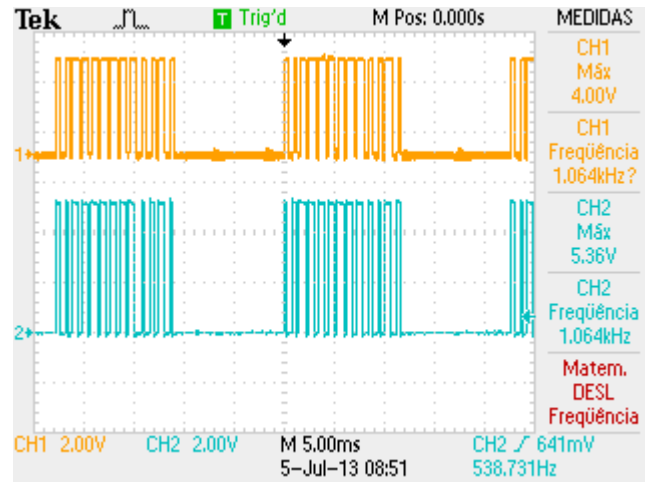


Gráfico 11 - Imagem do ID 0b00000000 módulo TX [“Dados do Autor”].

Nota – Laranja = Módulo Rx / Azul = Módulo Tx.

4.2.1.1 Conclusões 1º Teste

Em razão de inconstâncias da *protoboard* utilizada ocorreram, a princípio, muitas oscilações na operação do circuito, principalmente do módulo transmissor em teste.

Sanado estes problemas a resposta a todas as comunicações testadas foram obtidas com êxito, e assim foi possível remover informações através de medições efetuadas via osciloscópio. Também foi possível concluir com êxito a estabilidade de segurança na comunicação através dos ‘endereçamentos’ configurados nos respectivos, codificador e decodificador ainda sem o uso de qualquer implemento do projeto propriamente em desenvolvimento.

4.2.2 2º Teste Realizado

Com o intuito de iniciar o desenvolvimento do projeto, e associado aos dispositivos homologados no último teste, foram implantados dois *microcontroladores PIC16F877A*, um ao módulo transmissor e outro ao módulo receptor do projeto.

Assim foram elaboradas estratégias prévias de programação para a operação de cada um dos *microcontroladores*.

Em anexo a este relatório estão representadas as imagens dos testes efetuados, das amostragens de sinais e arquivos de simulações de circuitos e estratégias de programações simuladas.

Nesta etapa do desenvolvimento pretende-se certificar que com a gestão *microcontrolada* do circuito, o transmissor, bem como o receptor, possibilite o gerenciamento da comunicação RF.

O primeiro sistema *microcontrolado* deve, mediante interrupções externas (chaveamento manual), identificar a condição de transmissão acionada ou não, e o *status* a ser transmitido quando solicitada a transmissão de dados; Nesta etapa dos testes, iniciou-se a utilização de algumas importantes ferramentas de desenvolvimento e simulação, como os *softwares* “Protheus”, “MPLab” e “PIC-C”. E onde realizou-se simulações virtuais que serviram de parâmetros para desenvolvimento da segunda etapa de testes e o início das pesquisas para desenvolvimentos posteriores neste projeto.

Por se utilizar os mesmos dispositivos, os parâmetros técnicos de transmissão e recepção aplicados nas simulações efetuadas em laboratório são os mesmos descritos no primeiro relatório de testes. E as simulações virtuais da operação deste teste foram executadas conforme circuito modelo a seguir desenvolvido no software Protheus, e onde não constam os conjuntos eletrônicos codificador/transmissor e decodificador/receptor, empregados nos testes práticos, por questão de indisponibilidade na biblioteca de componentes do *software*.

Abaixo seguem as amostras práticas dos sinais, imagens do teste e circuito virtual simulado.

- **Frame “Pneu cheio”**

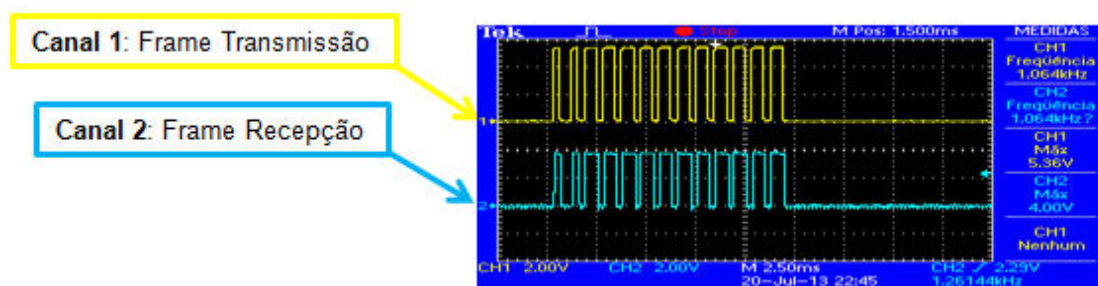


Gráfico 12 - Frame “Pneu Vazio” [Extraído de (Dados coletados em teste parcial)] [“Dados do Autor”].

- **Frame “Pneu Vazio”**

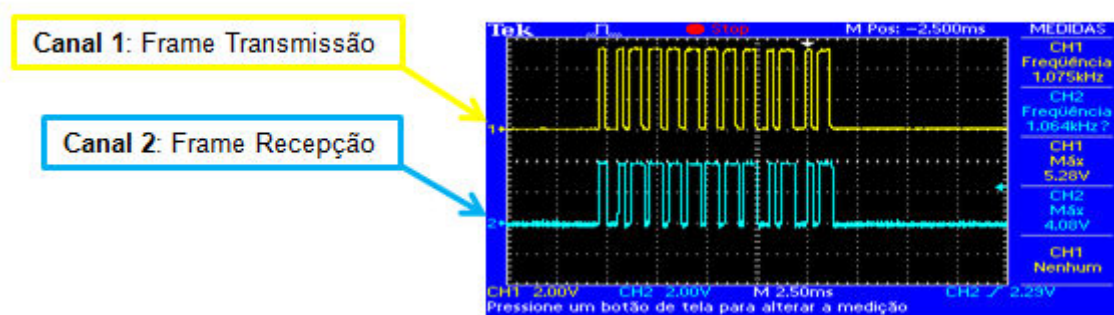


Gráfico 13 - Frame “Pneu Vazio” [“Dados do Autor”].

- Imagem – Realização de teste

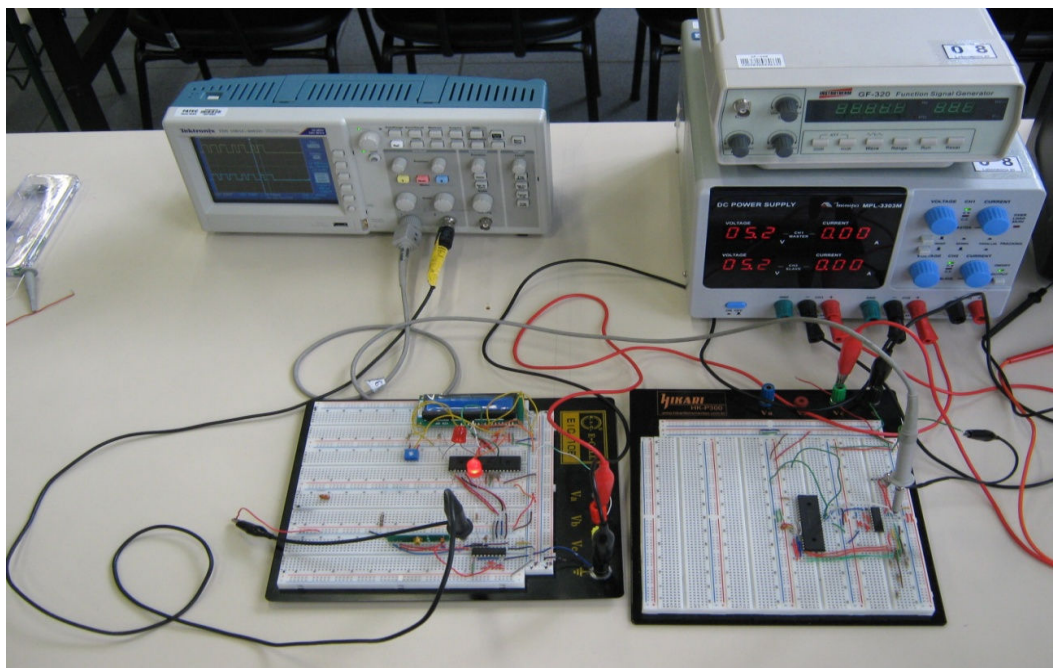


Figura 31 – Imagem dos módulos TX / RX Status "Pneu Cheio" ["Dados do Autor"].

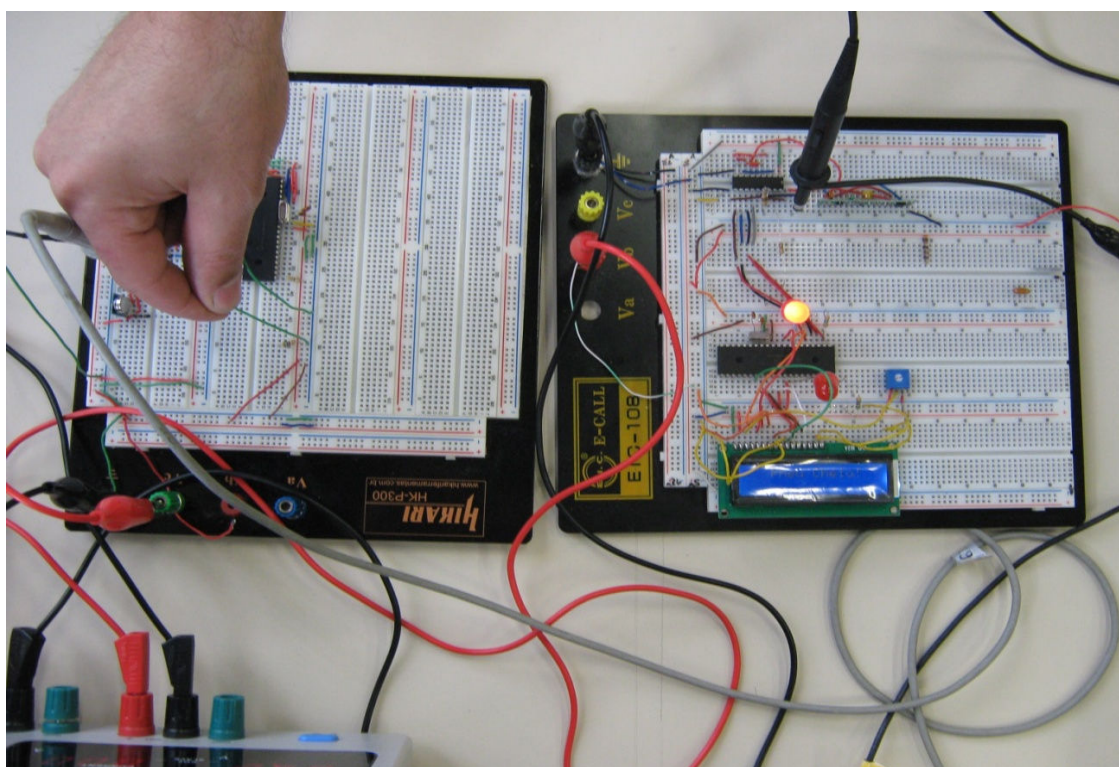


Figura 32 – Imagem módulos TX/RX– Status "Pneu Vazio" ["Dados do Autor"].

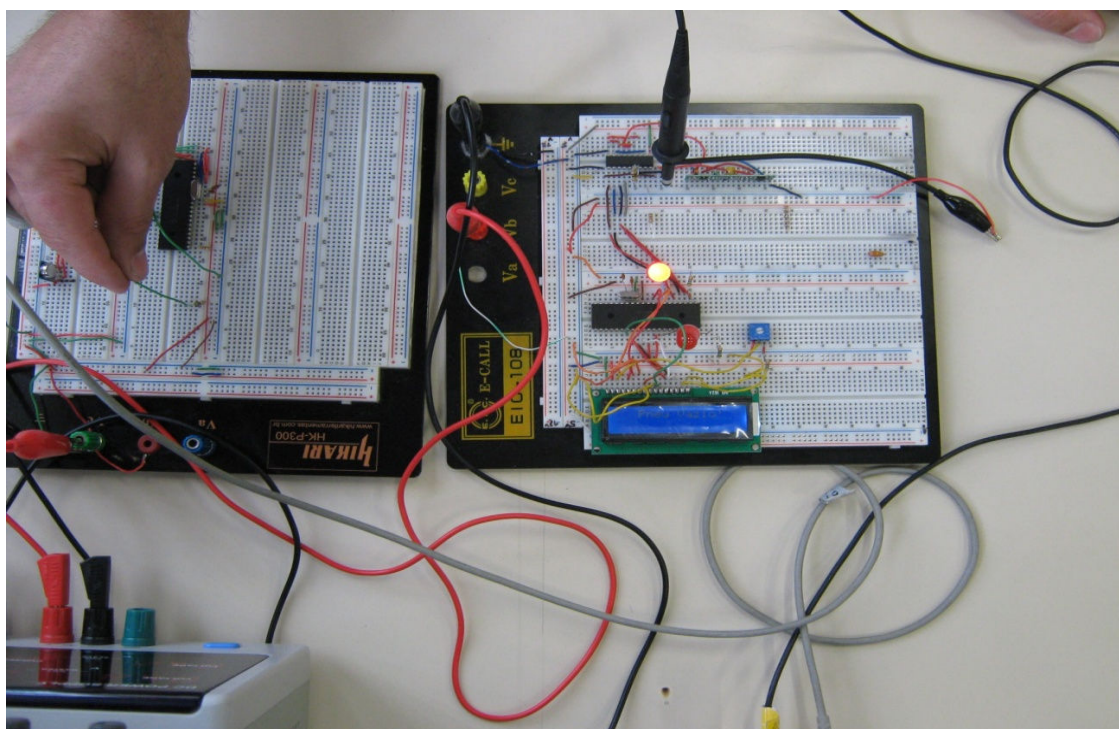


Figura 33 – Circuito - modelo simulado [“Dados do Autor”].

4.2.2.1 Conclusões 2º Teste

Nos testes realizados, foram encontradas muitas dificuldades pertinentes, não apenas com problemas de *hardware*, como também foi observado a necessidade de diminuir o tempo de *clock* do programa, substituindo o oscilador de 20 MHz inicialmente utilizado por outro modelo de 4 MHz, em razão de inconsistências nos testes iniciais.

E com os testes amostrados foi possível estabelecer a amostragem real e operacional do circuito característico dos sistemas de *TX* e *RX*, desenvolvido no primeiro teste, agora já *microcontrolado*.

O circuito de testes no Protheus está representado na figura 34 abaixo:

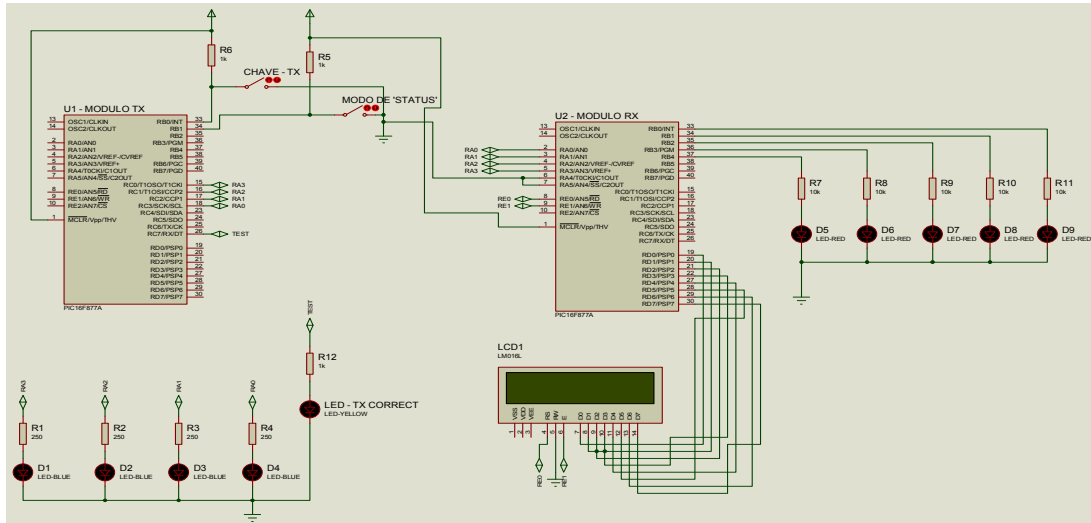


Figura 34 – Circuito Inicial simulado no Protheus [Extraído (Protheus v. 7.40)].

4.2.3 3º Teste Realizado

Neste ultimo teste realiza-se verificação dos *frames* na comunicação dos módulos transmissor/receptor através de um Osciloscópio, confrontando o sinal da comunicação com o *status* correspondente.

No gráfico 14 abaixo apresenta o sinal do *Status* “Pneu Vazio Reparo”:

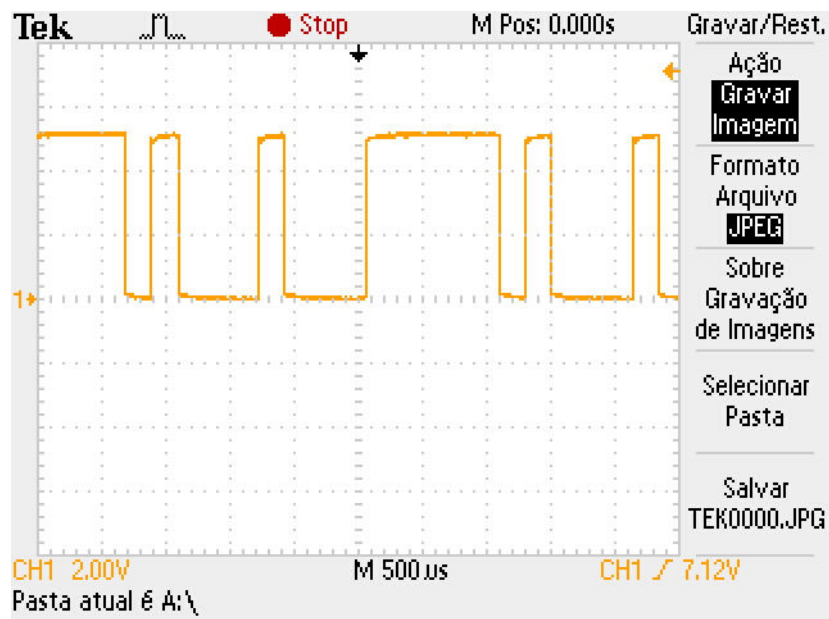


Gráfico 14 - ID: 0b00010001 - “Pneu Vazio Reparo” [“Dados do Autor”].

Alternando a tensão nos potenciômetros observamos os sinais nos gráficos abaixo:

Status “Press OK Temp OK Acel Frontal”:

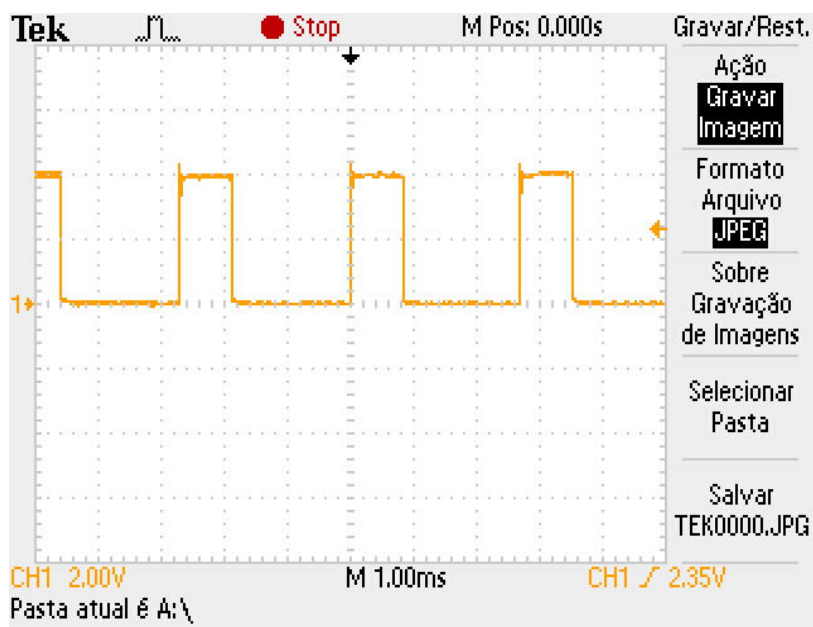


Gráfico 15 - ID: 0b00000000 - “Press OK /Temp OK/Acel Frontal” [“Dados do Autor”].

No gráfico 16 é mostrado o sinal correspondente ao *status* “Press OK Temp Ruim Acel Frontal”:

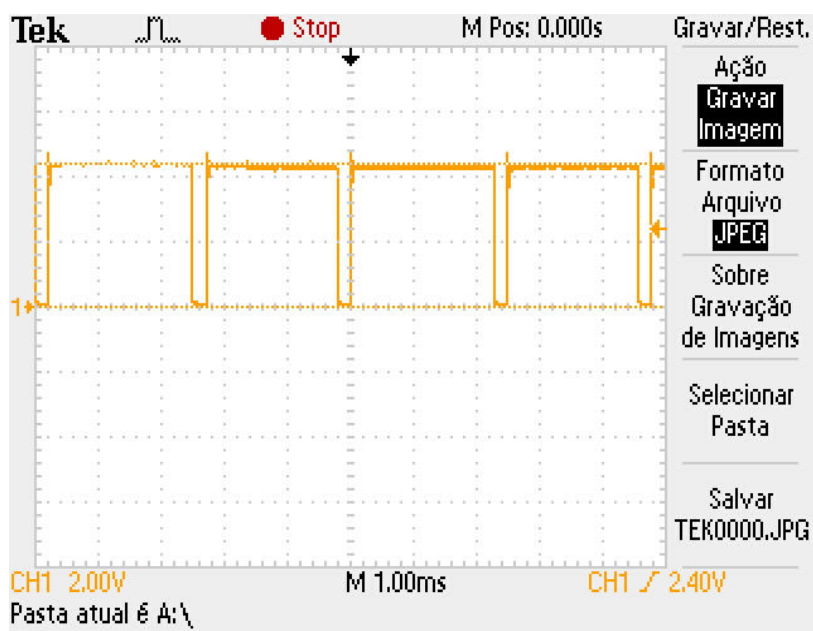
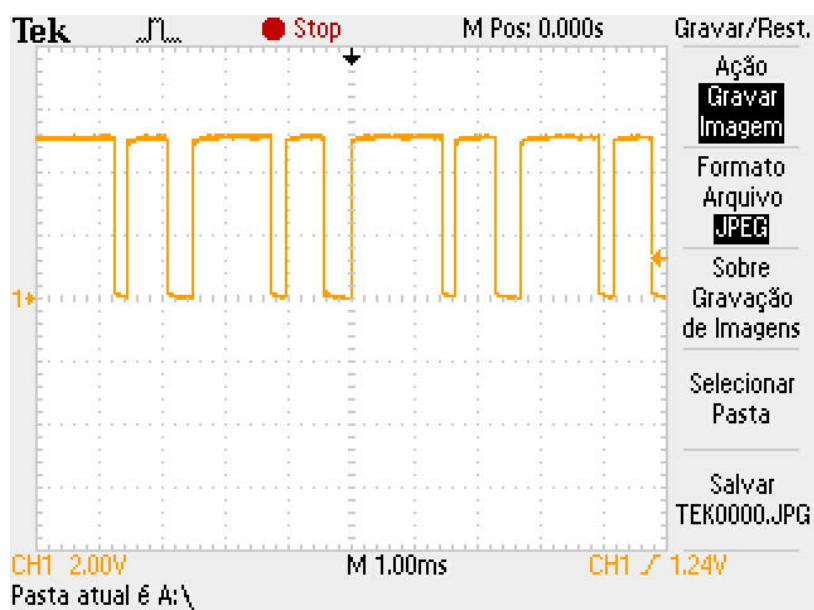
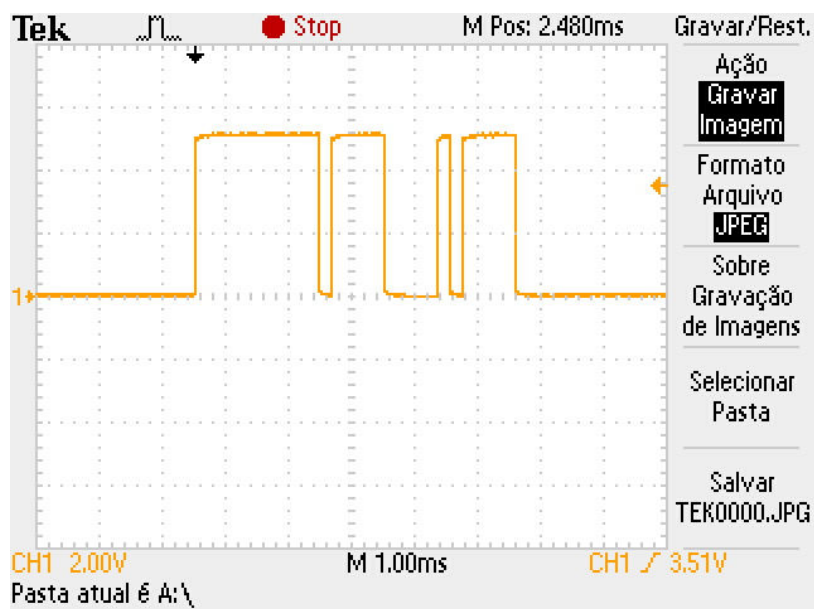


Gráfico 16 - ID: 0b11111111 - “Press OK/Temp Ruim/Acel Frontal” [“Dados do Autor”].

Alternando os potenciômetros para a condição de *status* “Press OK Temp OK Acel Ré”:



No gráfico 18 apresenta-se o sinal correspondente ao *status* “Press OK Temp Ruim Acel Ré”:



Na figura 35 mostra-se o circuito transmissor (TX)

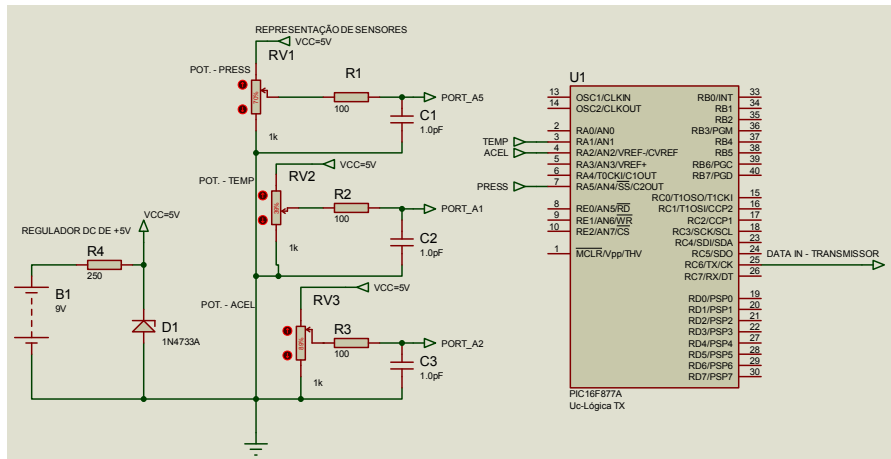


Figura 35 – Circuito TX Final

Na figura 36 mostra-se o circuito receptor (RX)

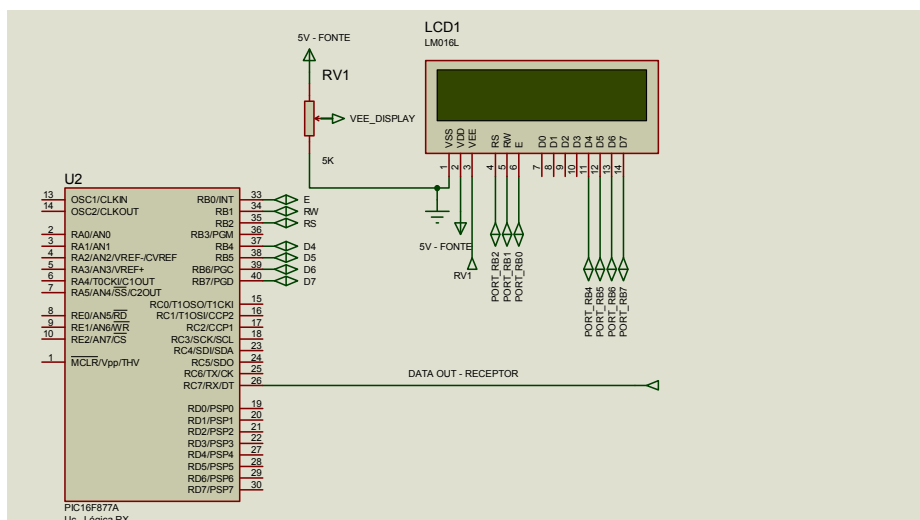


Figura 36 – Circuito RX Final

5. CONCLUSÃO

De modo geral, os resultados obtidos nos testes realizados no sistema mostraram a capacidade deste projeto em gerenciar a comunicação entre os módulos transmissor/receptor dentro do esperado. A funcionalidade do Protótipo Acadêmico do Sistema *TPMS* projetado atingiu os objetivos. O circuito projetado atuou satisfatoriamente em resposta aos sinais produzidos pelos circuitos eletrônicos de emulação, gerenciando com eficiência as informações obtidas em sua entrada.

Apesar dos bons resultados obtidos comprovando o funcionamento do protótipo desenvolvido, as dificuldades encontradas com o cronograma de entrega, com a transmissão adequada, não foi possível a utilização dos sensores para a coleta dos dados.

Analizando o projeto, pode-se dizer que o protótipo cumpre de fato o objetivo proposto, realizando a leitura dos dados, interpretando o sinal, transmitindo o dado via radiofrequência e indicando o *Status* no *display*. Vale ressaltar, que a modulação do sinal foi realizada via *software* através da comunicação serial *RS232*, dispensando a utilização do modulador/demodulador utilizados no início do projeto.

Salientamos que o *TPMS* ajuda na prevenção de acidentes melhorando significativamente o veículo nos quesitos desempenho, segurança e economia. É importante ressaltar, que o *TPMS* não dispensa a calibração dos pneus regularmente conforme indicado pelos fabricantes, tendo em vista que o *TPMS* não detecta desgaste de pneus que não afetam diretamente na pressão.

5.1 Propostas Futuras

Por fim, quanto a trabalhos futuros para este projeto, ficam como sugestão os seguintes itens:

- Implementar os sensores de Pressão, Temperatura e Aceleração no módulo de transmissão (*TX*).

- Adequar a placa no interior do pneu.
- Integrar o sistema *TPMS* com a Rede *CAN* para maiores informações do sistema.
- Implementar o sistema de “*Energy Scavenging/Harvesting*” para o próprio sistema realizar a alimentação dos sensores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CORPORATION, C. Site Continental. **Continetal Global site**, 2013. Disponível em: <http://www.continental-corporation.com/www/portal_com_en/general/hidden/innovation/tpms_210205_en.html>. Acesso em: 26 outubro 2014.
- CRUZ, E. C. A. **Eletrônica Aplicada**. São Paulo: Érica Ltda, 2007.
- DAVI JOSÉ DE SOUZA, N. C. L. **Conectando o PIC**. São Paulo: Érica.
- DAVID HALLIDAY, R. R. J. W. **Fundamentos de Física**. Rio de Janeiro: LTC, v. 1.
- GMBH, R. B. **Manual de Tecnologia Automotiva**. São Paulo: Edigard Blücher Ltda, 2005.
- INC., M. T. **Microchip Datasheet PIC 16F877**. Microchip. [S.l.]. 2001.
- MECATRÔNICA. **Revista saber Eletrônica**, junho 2006.
- MEDEIROS, J. C. D. O. **Princípios de Telecomunicações**. São Paulo: Érica, 2007.
- PEREIRA, F. **PIC Programação em C**. 1. ed. São Paulo: Érica Ltda, v. 1, 2003. 357 p.
- REGINA AZENHA, J. R. V. C. M. R. **Física Fundamental 2º Grau**. São Paulo: FTD, v. I, 1993. 496 p.
- ROBERTO, J. **Física Fundamental**. São Paulo: FTD, v. Volume único, 1993. 496 p.
- SOUZA, D. J. D. **Desbravando o PIC**. 11. ed. São Paulo: Érica Ltda, v. 1, 2007.
- WALKER, J. **Fundamentos de física**. Rio de Janeiro: LTC, 1916.
- WWW.PNEUCYT.COM. **pneucyt**, 2006. Disponível em: <<http://www.pneucyt.com>>. Acesso em: 05 novembro 2014.

ANEXO A: CIRCUITO FINAL

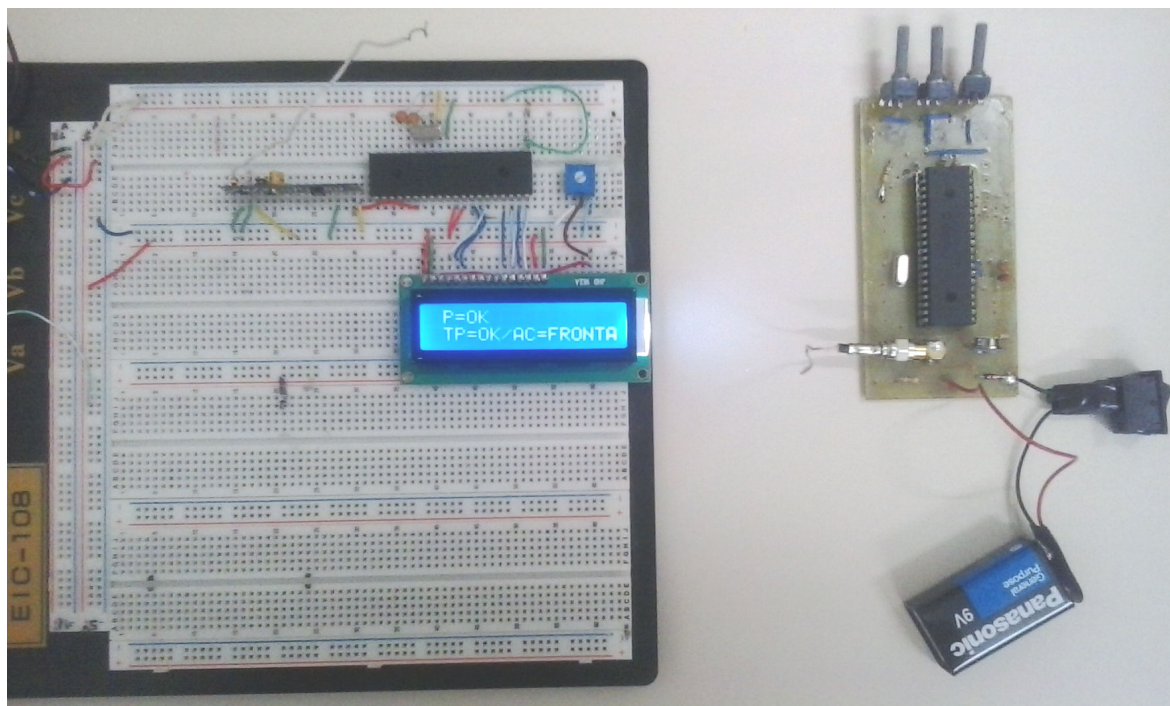


Figura 37 – Circuito final do Projeto

ANEXO B: Código Fonte do Programa TX

```
#include <16F877A.h>
#device adc=8
#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES HS              //High speed Osc (> 4mhz for PCM/PCH) (>10mhz for PCD)
#FUSES PUT             //Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT       //Code not protected from reading
#FUSES NODEBUG         //No Debug mode for ICD
#FUSES NOBROWNOUT     //No brownout reset
#FUSES NOLVP           //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used for
I/O
#FUSES NOCPD           //No EE protection
#FUSES NOWRT           //Program memory not write protected
#use delay(clock=4000000)
#use rs232(baud=4800,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)

unsigned int32 Timer_Press;
unsigned int32 Timer_Temp;
unsigned int32 Timer_Acel;
unsigned int32 Timer_LED;
unsigned int32 Timer;
float press;
float temp;
float acel;
char Flag = 0;
char w=0b00010001;//status de PNEU VAZIO REPARO.
char a=0b00000000;//status de P=OK, TEMP=OK - FRONTAL
char b=0b11111111;//status de P=OK, TEMP=RUIM - FRONTAL
char c=0b11100111;//status de P=OK, TEMP=OK - RÉ
char d=0b00001111;//status de P=OK, TEMP=RUIM - RÉ

#int_RTCC
void RTCC_isr(void) //A CADA 1ms
{
    set_timer0(5);
    if(Timer) Timer--;
    if(Timer_Press) Timer_Press--;
    if(Timer_Temp) Timer_Temp--;
    if(Timer_Acel) Timer_Acel--;
    if(Timer_LED) Timer_LED--;
}

void main()
{
    setup_adc_ports(AN0_AN1_AN2_AN3_AN4);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_4);
```

```

setup_timer_1(T1_DISABLED);
setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
setup_vref(FALSE);
enable_interrupts(global);
enable_interrupts(int_RTCC);
set_timer0(5);

while (true)
{
    if(!Timer_Press)
    {
        set_adc_channel(4);
        press=read_adc();
        Timer_Press = 0.019607843;
    }
    if(!Timer_Temp)
    {
        set_adc_channel(1);
        temp=read_adc();
        Timer_Temp = 0.039215686;
    }
    if(!Timer_Acel)
    {
        set_adc_channel(2);
        acel=read_adc();
        Timer_Acel = 0.058823529;
    }
    if(!Timer_LED)
    {
        if (!Flag)
        {
            output_high(pin_b4);
            Flag = 1;
        }
    }
    press=press*0.019607843;
    temp=temp*0.019607843;
    acel=acel*0.019607843;
    //INTRODUÇÃO DO TERCEIRO SENSOR
    if (press<2.509803904 && !Timer_Press)
    {
        putc(w);
    }
    else if (press>2.509803904 && !Timer_Press)
    {
        //TÉRMINO DA INTRODUÇÃO DO TERCEIRO SENSOR
        if (press>2.509803904 && !Timer_Temp && !Timer_Acel)
        {
            if (temp<2.509803904 && acel<2.509803904)

```

```
{  
    putc(b);  
}  
if (temp>2.509803904 && acel<2.509803904)  
{  
    putc(a);  
}  
if (temp>2.509803904 && acel>2.509803904)  
{  
    putc(c);  
}  
if (temp<2.509803904 && acel>2.509803904 )  
{  
    putc(d);  
}  
}  
}  
}  
return;  
}
```


ANEXO C: Código Fonte do Programa RX

```
#define LCD_RW_PIN PIN_B1
#define LCD_DATA0 PIN_B4
#define LCD_DATA1 PIN_B5
#define LCD_DATA2 PIN_B6
#define LCD_DATA3 PIN_B7
#include "lcd.c"

#define h 0b00010001 //status de PNEU VAZIO REPARO
#define x 0b00000000 //status de P=OK/TEMP=OK/FRONTAL
#define y 0b11111111 //status de P=OK/TEMP=RUIM/FRONTAL
#define z 0b11100111 //status de P=OK/TEMP=OK/RÉ
#define t 0b00001111 //status de P=OK/TEMP=RUIM/RÉ

char a;

void main(void)
{
    setup_adc_ports(AN0_AN1_AN2_AN3_AN4);
    setup_adc(ADC_OFF);
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    LCD_init();

    while(TRUE)
    {
        kbhit();
        {
            a = getchar();
            switch (a)
            {
```

```
case x:
    printf(lcd_putc, "\f P=OK \n TP=OK/AC=FRONTAL");
    break;
case y:
    printf(lcd_putc, "\f P=OK \n TP=RUIM/AC=FRONTAL");
    break;
case z:
    printf(lcd_putc, "\f P=OK \n TP=OK/AC=RE");
    break;
case t:
    printf(lcd_putc, "\f P=OK \n TP=RUIM/AC=RE");
    break;
case h:
    printf(lcd_putc, "\f PNEU VAZIO \n REPARO");
    break;
}
}
delay_ms(800);
}
}
```

ANEXO D: Data sheet do Sensor de Pressão Model 50-100mA

Model 50 Pressure Sensor

PC Board Mountable

0-60 mV Output

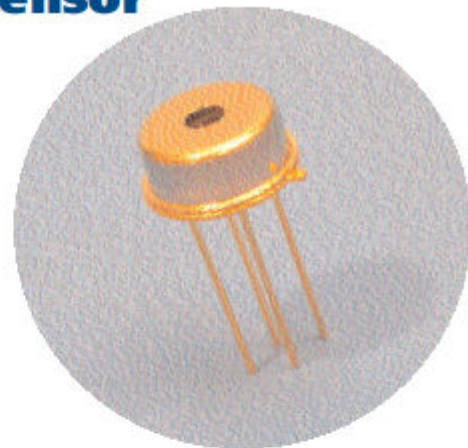
Absolute Pressure

Low Cost

DESCRIPTION

The **Model 50** is a piezoresistive silicon pressure sensor packaged in a T0-5 configuration. This is offered in a nickel can without a tube. Pressure can be applied on top of the package.

Absolute pressure ranges from 0-5 to 0-500 PSI are available. The pressure media is applied to the circuit side of the chip. This design is intended for non-corrosive gases and is not recommended for liquids. A gel filling can be applied to provide mild protection against humidity and dust. For high volume gage applications, contact the factory.



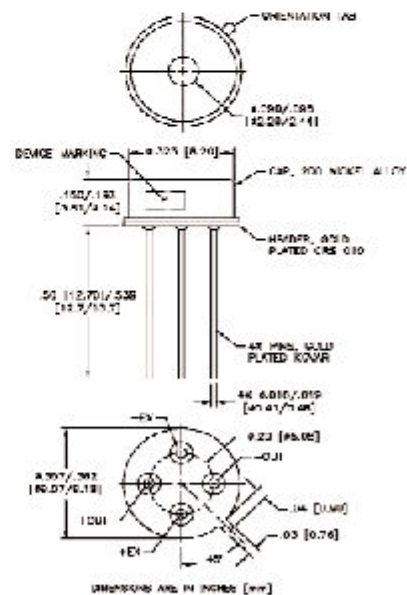
dimensions

FEATURES

- ◆ T0-5 Package
- ◆ -40°C to +125°C Operating range
- ◆ $\pm 0.25\%$ Pressure Non-linearity
- ◆ Solid State Reliability

APPLICATIONS

- ◆ Tire Pressure Sensor
- ◆ Consumer Appliances
- ◆ Medical Instrumentation
- ◆ Barometric Pressure
- ◆ Altitude Measurement



measurement
SPECIALTIES

Measurement Specialties, Inc. • 1000 Lucas Way • Hampton, VA 23666 USA • www.meas-spec.com • 757-766-1500 • 800-745-8008 • Fax 757-766-4297

- 1 -