

CENTRO PAULA SOUZA

FATEC – SANTO ANDRÉ

TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA AUTOMOTIVA

ANTONIO NYKAEL SILVA DE SOUZA

JONATHAN SANTOS ARAUJO

SISTEMA AUTOMÁTICO PARA CALIBRAÇÃO DOS PNEUS

SANTO ANDRE

2018

CENTRO PAULA SOUZA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA AUTOMOTIVA

ANTONIO NYKAEL SILVA DE SOUZA

JONATHAN SANTOS ARAUJO

SISTEMA AUTOMÁTICO PARA CALIBRAÇÃO DOS PNEUS

Trabalho de conclusão de curso apresentado à FATEC – Santo André como requisito parcial para obtenção do título de tecnólogo sob orientação dos professores Marco Aurélio Fróes.

FICHA CATALOGRÁFICA

S729s

Souza, Antonio Nykael Silva de
Sistema automático para calibração dos pneus / Antonio
Nykael Silva de Souza, Jonathan Santos Araujo. - Santo
André, 2018. – 79f. il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2018.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Fróes

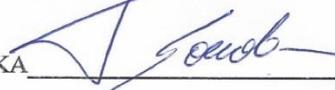
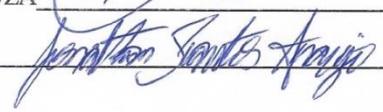
1. Eletrônica. 2. Veículos. 3. Sistema. 4. Controle. 5.
Sensores. 6. Atuadores. 7. Calibragem. 8. Pneus. I. Araujo,
Jonathan Santos. II. Sistema automático para calibração dos
pneus.

621.389

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 12 DE JULHO DE 2018

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "Sistema
automático para calibração dos pneus" DOS ALUNOS DO 6º
SEMESTRE DESTA U.E.

BANCAPRESIDENTE:
PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES MEMBROS:
PROF. CARLOS ALBERTO MORIOKA PROF. FERNADO GARUP DALBO **ALUNOS:**ANTÔNIO NYKAEL SILVA DE SOUZA JONATHAN SANTOS ARAÚJO 

Agradecimentos

Agradecemos a Deus, por esta oportunidade em nossas vidas.

Ao professor Marco Aurélio Fróes pelas orientações e suporte para desenvolvimento do trabalho dentro das normas, aos professores Carlos Alberto Morioka, Murilo Zanini de Carvalho e Fernando Garup Dalbo pela dedicação, dicas, conselhos e persistência, fazendo com que chegássemos a este trabalho de conclusão.

Quero agradecer também aos familiares que tiveram compreensão e deram suporte ao longo desta caminhada.

A todos da FATEC (Faculdade de Tecnologia) que contribuíram e contribuem para realização deste projeto educativo, profissional, cultural e social.

Resumo

Neste projeto, desenvolvemos um sistema de controle da pressão de trabalho dos pneus que pode contribuir para redução do custo com pneus por quilometro rodado, aumentando sua vida útil, segurança e conforto. Realizamos uma simulação de uma central que controle a pressão no pneu e explicamos o funcionamento do sistema de controle de pressão no pneu, os seus principais componentes e conceitos de controle eletrônico, pneus e pressão.

No controle eletrônico da pressão dos pneus mantemos a pressão ideal dos pneus em diversas condições e fatores: temperatura, pressão real e ideal e peso sobre os pneus. Corrigindo os erros de calibração do motorista e aumentando a segurança, a vida útil do pneu e a economia de combustível durante a condução do veículo. O sistema se utiliza de vários sensores alojados no pneu do veículo, que fazem a leitura das entradas importantes e enviam as mesmas para uma unidade de controle eletrônico, que processa estas informações e controla a pressão do pneu acionando um compressor no veículo, para colocá-lo em condições ideais em qualquer condição, o que contribui efetivamente com a segurança veicular podendo reduzir a probabilidade de acidentes, aumentando a estabilidade e a economia de combustível e pneus.

Palavras – Chave: Controle Eletrônico, pneu, segurança veicular, pressão.

Abstract

In this project, we have developed a tire pressure control system that can contribute to reducing tire costs per kilometer, increasing its life, safety and comfort. He performed a simulation of a central strategy of pressure control and control of the operation of the pressure, pneumatic and pressure control system.

In the pressure electronic, pressure the pressure of ideal pressure and pneumatic in existences and temperature: pressure, actual pressure, weight, and weight over the tires. Correcting engine calibration problems and increasing safety, tire life and fuel economy while driving. The system uses multiple sensors housed in the tire of the vehicle, which reads the important information and the environment as an electronic control system, to do what is more important with safety than the possibility of car accidents , economy and fuel economy and tires.

Key words: Electronic control, tire, vehicle safety, pressure.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Sistema Central de Calibragem de Pneus	02
Figura 2: Foto fábrica de pneus no início do século XX	03
Figura 3: Foto a evolução dos pneus	04
Figura 4: Partes do pneu	04
Figura 5: Banda de Rodagem	05
Figura 6: Flanco do pneu	05
Figura 7: Talões	06
Figura 8: Carcaça do pneu	06
Figura 9: Cintas estabilizadoras	07
Figura 10: Desgastes dos pneus	08
Figura 11 – Representação das forças de atrito que são exercidas em um pneumático e na pista de rolamento	09
Figura 12: Tração	10
Figura 13: Força centrífuga	11
Figura 14: Lei de Boyle para gases isotérmicos	13
Figura 15: Gráfico de transformação isocórica	15
Figura 16: Carro em alta velocidade	18
Figura 17: Pressão de trabalho	20
Figura 18: Diagrama em blocos do Sistema Automático de Calibração dos Pneus com entradas e saídas	22
Figura 19: Sensor de Pressão e Temperatura	23
Figura 20: Sensor de Pressão e Temperatura	23
Figura 21: Sensor de Carga	24
Figura 22: Sensor de Carga	24
Figura 23: Sensor de peso do assento	25
Figura 24: Sensor de peso do veículo	25
Figura 25: Esquema de montagem do sistema	26
Figura 26: Mangueira de ligação a válvula do pneu	27
Figura 27: Leds de simulação de compressor e válvula	27
Figura 28: Estação de simulação	28
Figura 29: Diagrama elétrico da interface de simulação	29
Figura 30: Diagrama elétrico da interface de simulação dos sensores	30
Figura 31: Gráfico Pressão por Temperatura	30
Figura 32: Identificação das grandezas no simulador	32
Figura 33: Simulação do sistema com baixa pressão	32
Figura 34: Simulação do sistema com alta pressão	33
Figura 35: Simulação do sistema com a pressão correta	33
Figura 36: Simulação do sistema com excesso de peso	34
Figura 37: Fluxograma do algoritmo do projeto	35
Figura 38: Fluxograma do algoritmo do projeto	36
Figura 39: Fluxograma do algoritmo do projeto	37
Figura 40: Fluxograma do algoritmo do projeto	38
Figura 41: Fluxograma do algoritmo do projeto	39

Figura 42: Fluxograma do algoritmo do projeto	40
Figura 43: Fluxograma do algoritmo do projeto	41
Figura 44: Fluxograma do algoritmo do projeto	42
Figura 45: Fluxograma do algoritmo do projeto	43
Figura 46: Fluxograma do algoritmo do projeto	44
Figura 47: Fluxograma do algoritmo do projeto	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Índice de Carga	16
Quadro 2 Indicadores de velocidade suportadas pelos pneus	18
Quadro 3 Indicadores de velocidade suportadas pelos pneus	20
Quadro 4 Relação de dispositivo e cor para simulação	28

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 Relação Pressão, Força e Área	12
Equação 02 Relação matemática da 2a lei de Gay Lussac	14
Equação 03 Relação matemática desprezando a variação de volume da 2a lei de Gay Lussac	14
Equação 04 Calculo da pressão de saída	31
Equação 05 Calculo da pressão ideal	31

LISTA DE ABREVIATURAS

CTIS – Sistema Central de Calibragem de Pneus (Central Tire Inflation System)

PSI – Libra- força por polegada quadrada (Pound Force per Square Inch)

ALAPA – Associação Latino Americana de Pneus e Aros

TPMS – Sistema de Monitoramento de pressão do Pneu(Tire-Pressure Monitoring System)

DP – Posicionamento Dinâmico (Dynamic positioning)

PIC – Computador de Inteligência Programavel(Programmabile Intelligent Computer)

AD – Conversor analógico digital

LED – Diodo emissor de luz (Light Emitting Diode)

LCD – display de cristal líquido (liquid crystal display)

LISTA DE SIMBOLOS

Fe – Módulo força de tração

P – Pressão

F – Força

A – Área

F_d – Módulo da força de atrito dinâmico

m – Prefixo de unidade de medida de comprimento (metro)

Km – Quilômetro

psi – Libra- força por polegada quadrada (Pound Force per Square Inch)

w – Velocidade angular

m^3 - Prefixo de unidade de medida de volume (metro cúbico)

kg – Prefixo de unidade de medida de massa (quilograma)

kPa – Prefixo de unidade de medida de pressão (quilopascal)

lb – Prefixo de unidade de medida de pressão (libras)

M – Massa

g – Módulo da aceleração da gravidade

P_i – Pressão inicial

P_f – Pressão final

T_i – Temperatura inicial

T_f – Temperatura final

cv – Prefixo de unidade de medida de potência (cavalo vapor)

K – Constante

$Fat_{Máxima}$ – Força máxima de atrito

$^{\circ}C$ – Grau de temperatura na escala Célcius

V – Volume interno do Pneu

n – Quantidade (massa) de ar no Pneu

R - Constante

v – Prefixo de unidade de medida de tensão elétrica (Volt)

P_{id} = Pressão Ideal

P_0 = Pressão Inicial em $0^{\circ}F$

T = Temperatura ($^{\circ}F$)

m = Coeficiente Angular

Sumário

1. Introdução	01
1.1 Motivação	02
1.2 Metodologia	02
1.3 Objetivo	03
2. Histórico dos Pneus	03
3. Componentes do Pneu	04
3.1 Banda de Rodagem	05
3.2 Flancos	05
3.3 Talões	06
3.4 Carcaça	06
3.5 Cintos Estabilizadores	07
4. Pressão no Pneu	07
5. Tração, Estabilidade e Pressão Pneumática Veicular	08
5.1 Tração	09
5.2 Estabilidade	10
5.3 Capacidade de Carga do Pneu	15
5.3.1 Carga Máxima	17
5.3.2 Velocidade Máxima dos Pneus	17
5.3.3 Pressão Mínima de Trabalho	19
5.4 Calibração dos Pneus	21
6. Arquitetura de Hardware	21
6.1 Sensores	22
6.2 Atuadores	26
6.2.1 Conexão	26
6.3 Simulador de Calibrador Automático de Pneus	27
6.4 Resultados	31
6.5 Fluxograma de Funcionamento	34
6.6 Conclusão	46
7. Propostas Futuras	47
8. Referências Bibliográficas	48
9. Apêndice	50
10. Referencias das Ilustrações	57
11. Referencias da Lista de Quadros	63

1. INTRODUÇÃO

Com a facilitação, produção em grande escala e aumento da população a frota de veículos vem crescendo e cada vez mais utilizamos veículos no nosso cotidiano seja no transporte, no trabalho ou no lazer, com a agitação do dia-dia estamos com cada vez menos tempo para realizações de tarefas de vital importância para nossa segurança e conservação do veículo como a calibração da pressão do pneu. Trabalhando com estes fatores, as inovações tecnológicas e soluções tem se tornado cada vez mais presentes nos veículos garantindo mais segurança, o conforto e a comodidade, essas inovações tecnológicas permitem um nível tão alto, que nos primórdios dos veículos era considerada impossível.

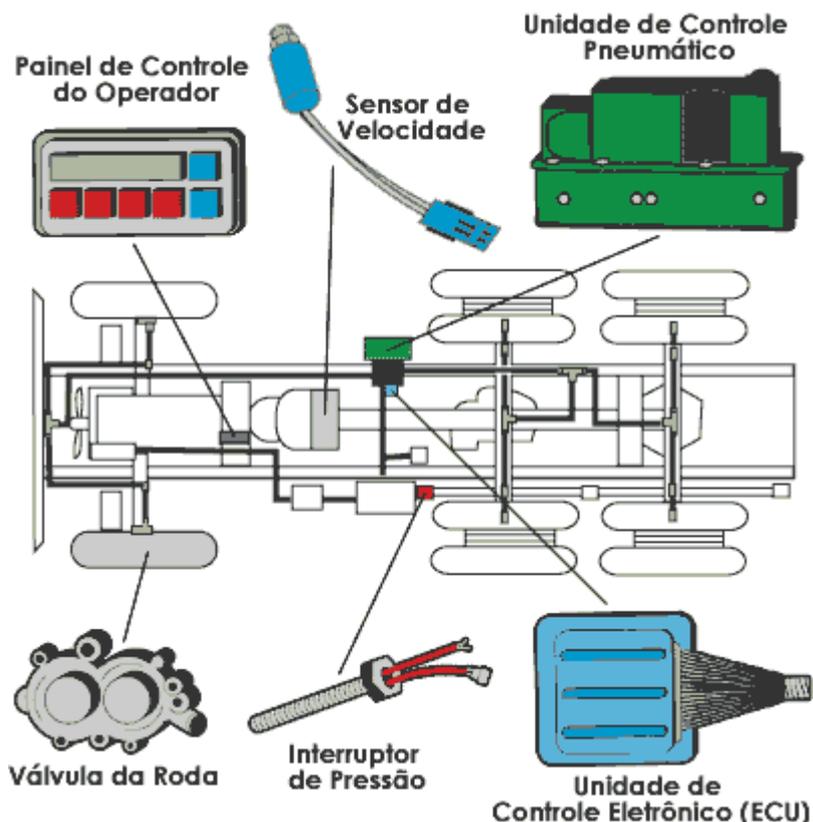
As calibrações dos veículos começaram a ter uma maior importância quando um número elevado de ocorrências de acidentes, desgaste de pneus, economia de combustível, rendimento e desempenho passou a ser observado. Atualmente boa parte eletrônica embarcada nos veículos estão diretamente ligadas a segurança, os veículos estão se tornando cada vez mais autônomos diminuindo o fator do erro humano, a cada dia mais itens de segurança ativa e passiva estão se tornando obrigatórios.

Com o avanço da tecnologia se torna possível a criação de técnicas e sistemas para controlar o veículo dependendo cada vez menos do reflexo e atitude do motorista, garantindo uma resposta mais rápida e efetiva em casos de emergência e proporcionando uma condução mais confiável, confortável, segura e econômica ao motorista.

Neste trabalho será apresentado o Sistema de Automatização para Calibração de Pneus, que tem como função principal melhorar a dirigibilidade do veículo em todas as condições de pilotagem, evitando a calibragem a cada situação de rodagem e estrada pois a calibragem não será realizada quando o condutor perceber a necessidade, aumentando assim, a confiança, dirigibilidade, segurança, diminuindo o desgaste dos pneus durante a condução do veículo.

O sistema se utiliza de vários sensores alojados em diversas partes do veículo, que fazem a leitura dos dados necessários, e compara esses dados com valores teóricos. Dessa forma, controla a dinâmica do veículo acionando parcialmente ou totalmente os freios e monitora a árvore de transmissão, a aceleração e a mudança de tração e carga do veículo.

Figura 1: Sistema Central de Calibragem de Pneus.



Fonte: www.s.hswstatic.com

Portanto, permeado de várias concepções que também buscavam as mesmas finalidades, foi possível descrever e transmitir informações sobre tal sistema, explicando o seu funcionamento e seus conceitos.

Sendo assim, abordaremos neste trabalho a funcionalidade do controle eletrônico da estabilidade e as suas principais características, que salvam vidas e evitam acidentes, proporcionando uma maior confiança ao motorista e segurança a todos os passageiros e pedestres, elevando a segurança veicular.

1.1 Motivação

O emprego de novas tecnologias embarcadas, o interesse pelo conhecimento do sistema de pressão do pneu e a tendência de aplicação de novas tecnologias nos veículos lançados no Brasil, trouxeram um interesse maior na pesquisa do TCC sobre o CTIS (Central Tire Inflation System) que pode contribuir para a segurança e o desempenho e confiabilidade veicular no Brasil.

1.2 Metodologia

Este trabalho descreve os princípios de funcionamento do controle do sistema de automatização para calibração de pneus e os componentes que são controlados e monitorados por ele como o compressor e sensores de

temperatura, pressão e carga (peso). Também aborda características dos atuais sistemas de calibração de pneus.

1.3 Objetivo

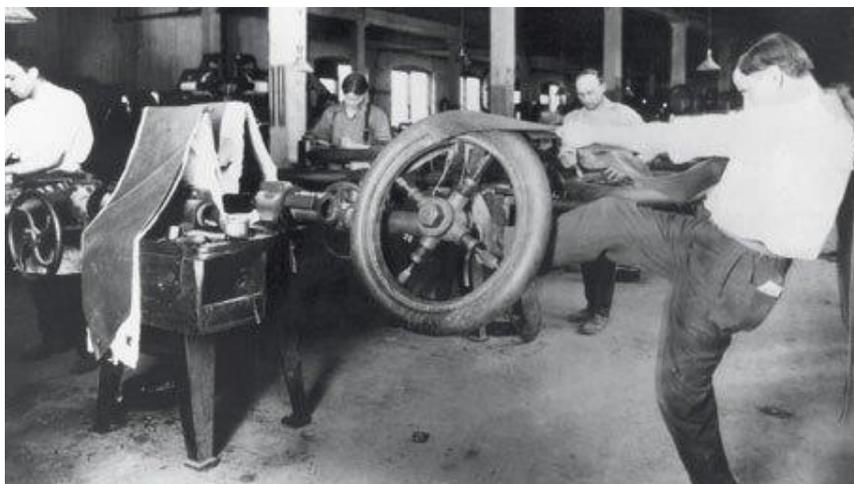
O objetivo do trabalho é apresentar um sistema de controle eletrônico da pressão no pneu em função da carga sobre as rodas e temperatura, com pressão real e ideal como referência para a correção de erros de calibração. O sistema possui sensores de leitura de pressão e ou carga que são enviadas ao módulo de controle de eletrônico para realizar o controle da pressão nos pneus, buscando as condições ideais para carga e temperatura. Isto contribui para o conforto e segurança veicular, além de reduzir os desgastes dos pneus.

2. Histórico dos pneus

Antes de chegarmos no ponto de calibração de pneu, segundo Cabral (2013), antigamente a roda era de madeira ou ferro o que proporcionava um total desconforto, sem dizer na hora de trocar essa roda no meio de uma viagem se ela viesse a quebrar. Alguns registros mostram que o pneu foi inventado em 1845 depois que Charles Goodyear descobriu acidente um processo de vulcanização da borracha depois que deixou sua goma de borracha e enxofre cozinhar. Depois de até ser preso por não conseguir pagar suas dívidas (adquiriu empréstimos para suas pesquisas), Goodyear encontrou a fórmula: “cozinhar” a borracha em altas temperaturas. Isso aconteceu em 1839. Dois anos depois, ele pediu a patente de vulcanização da borracha. Em 1845, um engenheiro escocês revestiu as rodas de sua carruagem com borracha vulcanizada inflada com ar, para diminuir o barulho e torná-la mais macia. Em 1847 os pneus sofreram outra evolução, o inglês Robert Thompson, instalou uma câmara cheia de ar dentro dos pneus de borracha maciça.

Na figura 2 é ilustrado, uma típica fábrica de pneus no início do século XX.

Figura 2: Foto de uma típica fábrica de pneus no início do século XX.

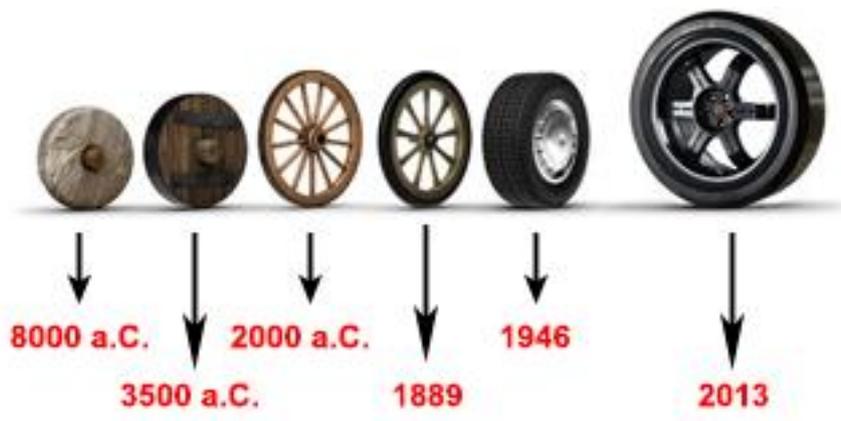


Fonte: www.abr.org.br

Os irmãos Édouard e André Michelin na França foram os primeiros a patentear o pneu para automóveis. No ano de 1903 eles levaram seu produto a uma promissora cidade chamada Detroit.

Em 1939 a Goodyear inaugura a primeira grande fábrica de pneus do Brasil. Mas o início produção de pneus no Brasil ocorreu em 1934, com a implantação do Plano Geral de Viação Nacional.

Figura 3: Foto a evolução dos pneus.

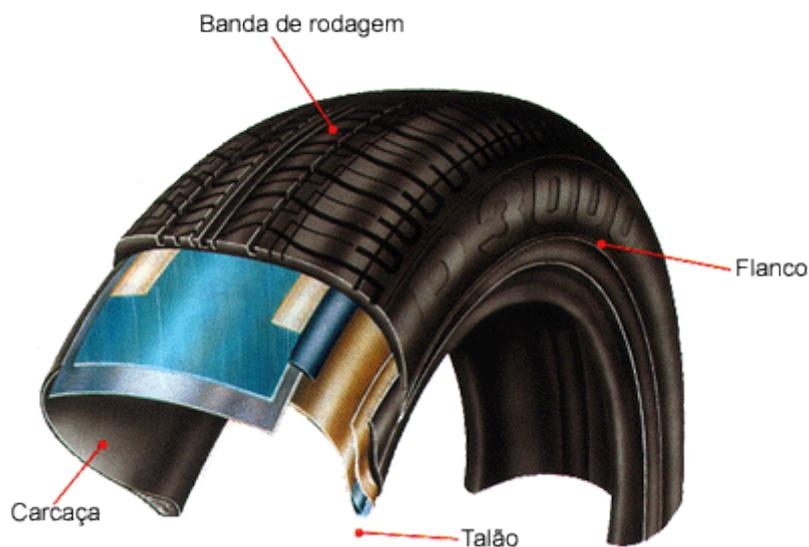


Fonte: Goodyear

3. Componentes do Pneu

Neste capítulo abordaremos a formação do pneu seus componentes e suas características, parte importante para entendermos o pneu.

Figura 4: Partes do pneu.



Fonte: Pirelli

3.1 Banda de Rodagem

É a parte do pneu que faz sua amarração com o solo. Seus desenhos devem proporcionar aderência e tração, segundo o serviço a que se destina o pneu. Seu composto de borracha deve resistir à abrasão e à quebra por impacto.

Figura 5: Banda de Rodagem.



Fonte: <http://rodoautopneus.com.br>

3.2 Flancos

Compõem-se das laterais da carcaça, revestidas por um composto de borracha com alta resistência à fadiga por reflexão.

Figura 6: Flanco do pneu.



Fonte: www.rodoautopneus.com.br

3.3 Talões

Constitui-se de cabos de aço revestidos de cobre para evitar oxidação, isolados individualmente por compostos de tecido tratado. Sua função é a de fazer a amarração do pneu no aro e devem ter alta resistência a ruptura.

Figura 7: Talões



Fonte: www.rodonautopneus.com.br

3.4 Carcaça

É a estrutura do pneu que deve resistir à pressão, peso e choques. A carcaça é composta por lonas, formadas a partir de cordões de nylon ou aço, revestidas por compostos de borracha para dar adesão e evitar atrito interno.

Figura 8: Carcaça do pneu.



Fonte: <http://rodonautopneus.com.br>

3.5 Cintas Estabilizadoras

É o revestimento protetor da carcaça na parte interna do pneu.

Figura 9: Cintas estabilizadoras.



Fonte: www.rodopneus.com.br

4. Pressão no pneu

Segundo a “Firestone (1980), quando um pneu está calibrado com pressão correta para a carga transportada, sua flexão é mínima e o seu assentamento no solo é perfeito, proporcionando uma boa distribuição de peso sobre a sua banda de rodagem, o que nos garante um ótimo desempenho do pneu. Quando um pneu roda com uma pressão abaixo de específica para carga sobre o pneu, a flexão das laterais aumenta gerando um acréscimo violento de temperatura do pneu, que provocará o enfraquecimento da carcaça, sujeitando-a a quebras e deslocamentos de lonas ou rodagem. Haverá, também, um desgaste mais pronunciado, nos ombros do pneu devido ao contato irregular com solo. Com o aumento de deflexão teremos também o aparecimento de quebras circunferenciais nas laterais do pneu, em sua região de maior flexão.

Nos pneus onde a falta de pressão for frequente, aparecerão rachaduras radiais nas laterais. Considera-se 100% como a pressão correta, onde o rendimento do pneu será também 100%. Com a pressão até 7% abaixo da recomendada, o pneu ainda não será afetado. Daí para frente começa a curva de perda de quilometragem do pneu com a baixa pressão, aumenta ainda a resistência de rolamento do pneu, passando a exigir maior impulsão, e conseqüentemente, gerando maior consumo de combustível.

O excesso de pressão torna os pneus mais susceptíveis a quebras do tipo impactos. O desgaste no centro da rodagem será mais acentuado devido a concentração de esforços nesta área, o que aumenta também o índice de compactação sobre o solo.

Figura 10: Desgastes dos pneus.



Fonte: Firestone

Segundo a “Firestone (1980), dizemos que um pneu está com sobrecarga quando o peso incidente sobre o pneu a uma dada velocidade for maior que o específico para sua capacidade de carga (lonagem).

Como a capacidade de carga varia de acordo com a velocidade do veículo, são utilizadas tabelas para se orientar o uso correto dos pneus. Tabelas que, se obedecidas, Aumentarão a vida útil dos pneus como se vê no gráfico abaixo.

A sobrecarga além da redução na quilometragem dos pneus, provoca a perda de recapabilidade, eventuais danos prematuros à carcaça, tais como deslocamentos interno de lonas, desagregação da rodagem e quebras circunferências devidos a flexão excessiva.

Desníveis, curvas, aclives e declives acentuados provocam sobrecarga momentânea, em alguns pneus devido a alteração na distribuição de carga sobre os pneus.

5. Tração, Estabilidade e Pressão Pneumática nos Automóveis

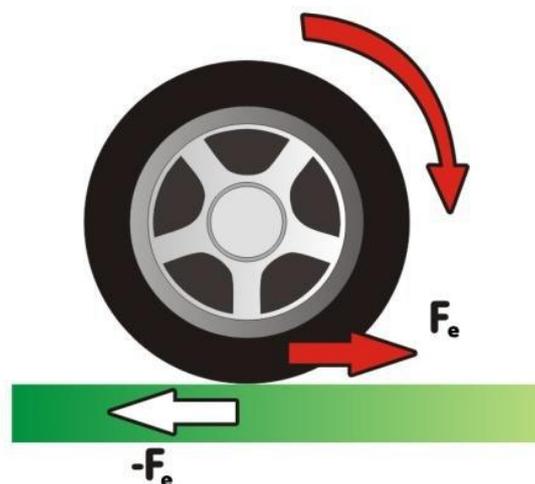
Os pneus exercem papéis fundamentais para o funcionamento ideal do automóvel. Eles são responsáveis pela mudança de direção do veículo, pela frenagem, tração e estabilidade. Em conjunto com as molas de suspensão, amortecedores e a correta calibração, ajudam diminuir as vibrações e balanços consequentes da pista.

5.1 Tração

Segundo a “Firestone (1980), tração geralmente definido como força que desloca objeto, e geralmente é explicada também como efeito de puxar algo, mas no caso dos veículos é que se trata de uma ação realizada pelas rodas e posteriormente transmitida a todo o veículo, o que faz o veículo se mover.

Esse efeito de puxar pode ser aplicado várias coisas como cordas, correntes, fitas e fios e outros materiais, mas que tenhas alguma massa amarrada e no outro lado tem que está amarrado em um outro ponto só que fixo, com esta montagem também podemos explicar a tensão. Esse fenômeno também é encontrado no mundo automotivo, mais especificamente nas rodas, só que nos veículos não vemos essa ação tão claramente como no exemplo anterior que ao invés de cordas e massas e pontos, temos outras condições nos automóveis como dimensionamento de pneus, pistas, aros e rodas

Figura 11: Representação das forças de atrito que são exercidas em um pneu e na pista de rolamento.

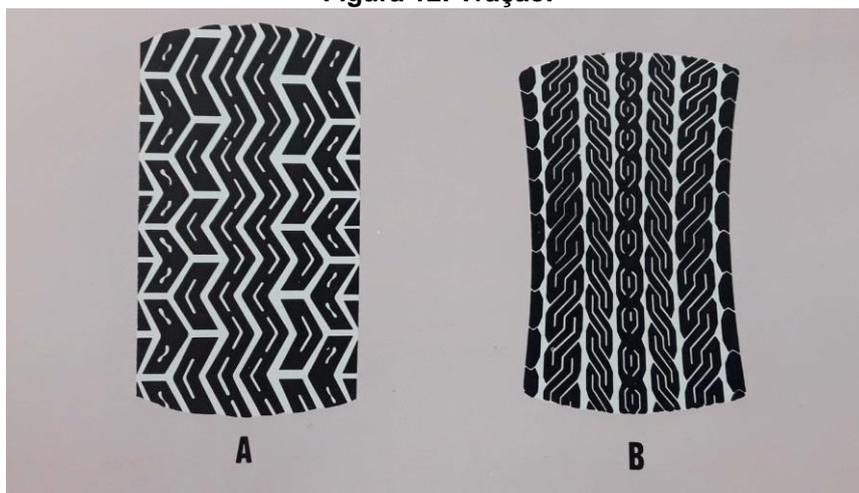


Fonte: www.if.ufrgs.br

Segundo a “Firestone (1980), quando a superfície de um pneu radial entra em contato com a pista, as paredes laterais flexionam enquanto as cintas reduzem o movimento do desenho da banda de rodagem. Como resultado, esta área do pneu radial não se deforma (exemplo A). Isto é o contraste com um rasto da banda de rodagem de um pneu diagonal (exemplo B).

Pela característica apresentada pelo exemplo A sua tração em pavimento molhado é excelente, pois os sulcos permanecem abertos para assegurar rápida e eficiente drenagem da água.

Figura 12: Tração.



Fonte: Firestone

5.2 Estabilidade

Para “Reykjavík (2015), a escolha ideal para os pneus tem total relação com as especificações de um veículo, carros com maiores pesos, torques e potência necessitam de um pneu com especificas para suas características, para que fisicamente tenhamos um melhor aproveitamento da dinâmica veicular como um todo.

A título de exemplo de demonstração da importância do pneu para a estabilidade do veículo, vamos supor que você dirige por uma estrada com muitas curvas. O que se apresenta é que quanto maior velocidade maior a força aplicada jogando seu corpo no sentido oposto enquanto você faz a curva.

A causa deste fenômeno tem origem na força centrífuga, sendo esta umas das várias forças atuantes no veículo durante sua rodagem. Como escrito anteriormente esta força centrífuga não atua somente no corpo do motorista e passageiros, mas também no veículo forçando a sair do traçado da curva. Mas no desenvolvimento de um veículo temos a previsão de todos estes fatores físicos dinâmicos. Seus componentes como carroceria, suspensão, freios, eletrônica e outros sistemas trabalham para que o veículo se mantenha na curva, como o motorista assim direciona. Sua relação com o pneu, neste exemplo seria a de manter o veículo na pista sem deslizar por conta da aderência a pista. Mas nem sempre o pneu garante a estabilidade, em alguns casos o veículo entra muito rápido e a força centrífuga é maior que a aderência do pneu resultando na derrapagem do veículo.

Vários são os aspectos que aumentam a chance de perda de controle, como a calibragem correta a conservação e o uso do pneu adequado para determinado veículo. Quanto melhor o estado pneu melhor a aderência com o asfalto. Isso

não serve somente para este exemplo, mas também na aderência nas acelerações e frenagens. Acelerando o carro o torque é transmitido do motor para pista através dos pneus empurrando o asfalto para trás e jogando o veículo para frente, e quando freamos o veículo, o sentido da força é inverso. Quando o carro acelera, o pneu transmite o torque do motor para a pista, empurrando o asfalto para trás e jogando o veículo para frente.

Figura 13 : Força centrífuga.



Fonte: www.slidesharecdn.com

A estabilidade do sistema é a definição de capacidade de ignorar a pressão de perturbar a sua condução, enquanto continua a ser capaz de regular a pressão do pneu em caso de mudança de Temperatura e pressão.

Um dos principais propósitos de ter um CTIS automatizado em vez de manual é que o motorista possa se concentrar em outras coisas, incluindo a condução do veículo, enquanto o sistema garante que as pressões dos pneus estão dentro de tolerâncias. Isso torna a estabilidade do sistema durante a condução importante.

A definição de pressão dos gases é dada através de uma relação de força realizada em uma definida superfície e área desta superfície.

Equação 01: Relação Pressão, Força e Área.

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

P= Pressão

F= Força

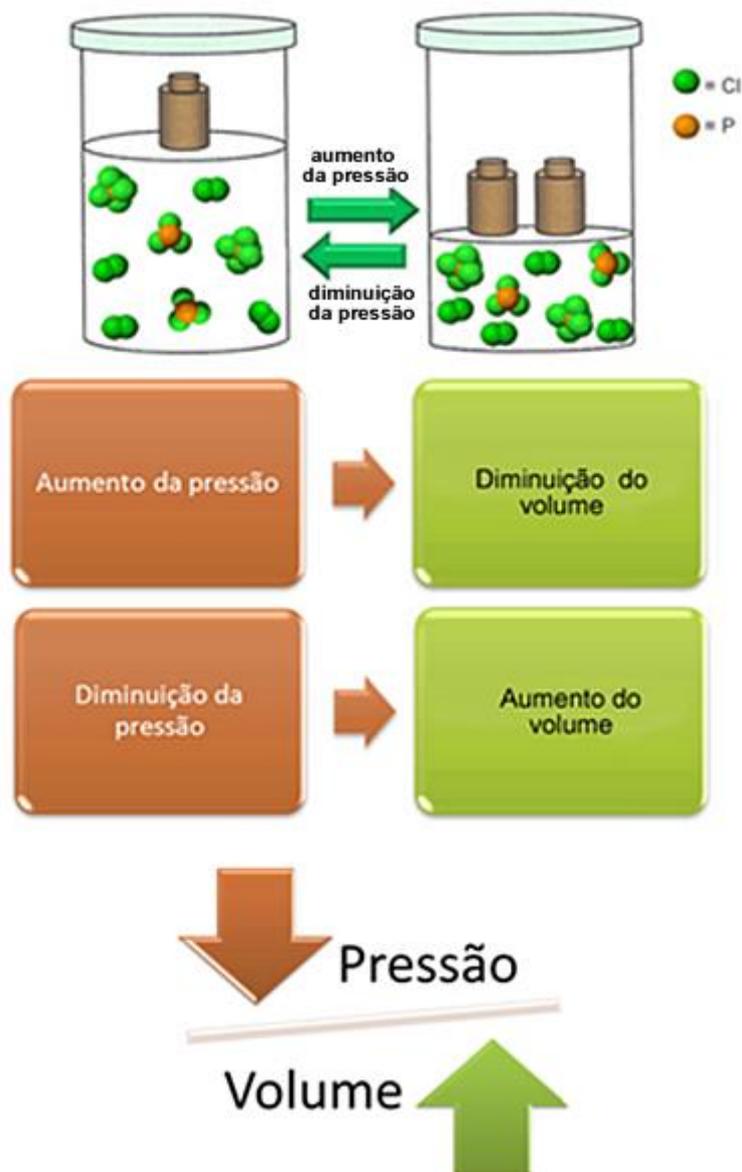
A= Área

Fonte da equação: www.mundoeducacao.bol.uol.com.br

Na área de medição de pressão de pneu temos a “libra-força por polegada quadrada” (Lbf/pol²). Que é traduzida do inglês como sendo a unidade “pound square inch”, que é conhecida como P.S.I. Esses valores de pressão recomendados para cada pneu vêm descrito em sua lateral mostrando a quantidade máxima e mínima. Máxima que se ultrapassada o pneu pode vir a estourar e mínima o pneu fura som mais facilidade e pode até vir a rasgar. Note que na fórmula da pressão citada acima, a área é inversamente proporcional a pressão.

Essa formula é comprovada por uma das leis dos gases ideais que é a Lei de Boyle, que cita que em uma transformação onde não temos mudança de temperatura (isotérmica), que diz que quando aumentamos a pressão temos a diminuição do volume e quando diminuimos a pressão o volume aumenta.

Figura 14: Lei de Boyle para gases isotérmicos.



Fonte: www.mundoeducacao.bol.uol.com.br

Porém neste caso o valor da temperatura não muda, e a mesma altera a pressão dos pneus. E é por esta razão que as empresas recomendam que seja executada a calibração do pneu a frio, ou seja sem que o veículo ter rodado muito tempo antes da calibração.

Se calibrarmos um pneu com a temperatura quente, quando o mesmo esfriar vai fazer com que o ar contraia e diminua a pressão interna do pneu tendo que ser feita a recalibragem do pneu, e se calibrarmos em um dia muito frio e depois esquenta o ar vai se expandir e a pressão vai aumentar dentro do pneu exigindo novamente outra calibração.

Mas a lei que rege nosso caso é a 2ª lei de Gay-Lussac que diz que a pressão exercida pelo gás é diretamente proporcional a temperatura que quer dizer que quanto maior a temperatura maior a pressão e o contrário também é válido isso quando a transformação é isovolumétrica. Isso quer dizer que a pressão depende da temperatura e do volume.

Equação 02: Relação matemática da 2ª lei de Gay Lussac.

$$P = \frac{K}{T}$$

P= Pressão

K= Constante

A= Temperatura

Fonte da equação: www.mundoeducacao.bol.uol.com.br

Sendo assim a pressão do gás dividida pela temperatura será sempre igual a uma constante. Com isso podemos determinar pressão inicial (Pi) ou final (Pf) ou temperatura inicial (Ti) e final (Tf) de um gás que é calculado com a seguinte equação:

Equação 03: Relação matemática desprezando a variação de volume da 2ª lei de Gay Lussac.

$$\frac{P_i}{T_i} = \frac{P_f}{T_f}$$

Pi= Pressão inicial

Pf= Pressão final

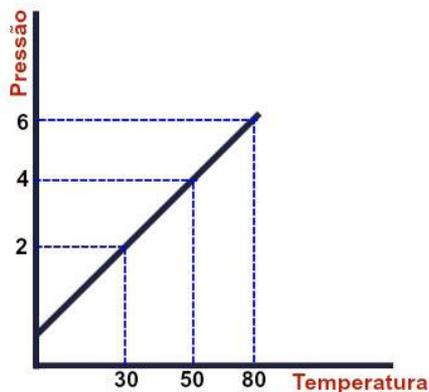
Ti= Temperatura Inicial

Tf= Força final

Fonte da equação: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/leis-gay-lussac.htm>

Na figura 15, o modelo de gráfico que representa a transformação isovolumétrica com pressão proporcional a temperatura, sendo assim formando uma reta.

Figura 15: Gráfico de transformação isocórica.



Pressão = PSI

Temperatura = Graus Celsius (°C)

Fonte da figura: www.mundoeducacao.bol.uol.com.br

5.3 Capacidade de carga do pneu

Conforme o Manual “ALAPA (2011), Capacidade de carga é um conceito de carga máxima que o pneu suporta em condições normais de uso, ele é demonstrado através do Quadro 1 de índice de carga que é um número relacionado com um peso, e também outros índices de capacidade de carga que é expresso em Kg (Quilogramas), como o equivalente em quantidade de lonas associadas ao tamanho do pneu e esse tamanho pode conter a descrição de Serviço, que é formado pelo “índice de Carga” e “Símbolo de Velocidade”.

Quadro 1 – índice de Carga.

Index	Kg	Index	Kg	Index	Kg	Index	Kg	Index	Kg	Index	Kg	Index	Kg
0	45	40	140	80	450	120	1,400	160	4,500	200	14,000	240	45,000
1	46.2	41	145	81	462	121	1,450	161	5,625	201	14,500	241	46,250
2	47.5	42	150	82	475	122	1,500	162	4,750	202	15,000	242	47,500
3	48.7	43	155	83	487	123	1,550	163	5,875	203	16,000	243	48,750
4	50	44	160	84	500	124	1,600	164	5,000	204	16,000	244	50,000
5	51.5	45	165	85	515	125	1,650	165	5,150	205	16,500	245	51,500
6	53	46	170	86	530	126	1,700	166	5,300	206	17,000	246	53,000
7	54.5	47	175	87	545	127	1,750	167	5,450	207	17,500	247	54,500
8	56	48	180	88	560	128	1,800	168	5,600	208	18,000	248	56,000
9	58	49	185	89	580	129	1,850	169	5,800	209	18,500	249	58,000
10	60	50	190	90	600	130	1,900	170	6,000	210	19,000	250	60,000
11	61.5	51	195	91	615	131	1,950	171	6,150	211	19,500	251	61,500
12	63	52	200	92	630	132	2,000	172	6,300	212	20,000	252	63,000
13	65	53	206	93	650	133	2,060	173	6,500	213	20,600	253	65,000
14	67	54	212	94	670	134	2,120	174	6,700	214	21,200	254	67,000
15	69	55	218	95	690	135	2,180	175	6,900	215	21,800	255	69,000
16	71	56	224	96	710	136	2,240	176	7,100	216	22,400	256	71,000
17	73	57	230	97	730	137	2,300	177	7,300	217	23,000	257	73,000
18	75	58	236	98	750	138	2,360	178	7,500	218	23,600	258	75,000
19	77.5	59	243	99	775	139	2,430	179	7,750	219	24,300	259	77,500
20	80	60	250	100	800	140	2,500	180	8,000	220	25,000	260	80,000
21	82.5	61	257	101	825	141	2,575	181	8,250	221	25,750	261	82,500
22	85	62	265	102	850	142	2,650	182	8,500	222	26,500	262	85,000
23	87.5	63	272	103	878	143	2,725	183	8,750	223	27,250	263	87,500
24	90	64	280	104	900	144	2,800	184	9,000	224	28,000	264	90,000
25	92.5	65	290	105	925	145	2,900	185	9,250	225	29,000	265	92,500
26	95	66	300	106	950	146	3,000	186	9,500	226	30,000	266	95,000
27	97.5	67	307	107	975	147	3,075	187	9,750	227	30,750	267	97,500
28	100	68	315	108	1,000	148	3,150	188	10,000	228	31,500	268	100,000
29	103	69	325	109	1,030	149	3,250	189	10,300	229	32,500	269	103,000
30	106	70	335	110	1,060	150	3,350	190	10,600	230	33,500	270	106,000
31	109	71	345	111	1,090	151	3,450	191	10,900	231	34,500	271	109,000
32	112	72	355	112	1,120	152	3,550	192	11,200	232	35,500	272	112,000
33	115	73	365	113	1,150	153	3,650	193	11,500	233	36,500	273	115,000
34	118	74	375	114	1,180	154	3,750	194	11,800	234	37,500	274	118,000
35	121	75	387	115	1,215	155	3,875	195	12,150	235	38,750	275	121,500
36	125	76	400	116	1,250	156	4,000	196	12,500	236	40,000	276	125,000
37	128	77	412	117	1,285	157	4,125	197	12,850	237	41,250	277	128,500
38	132	78	425	118	1,320	158	4,250	198	13,200	238	42,500	278	132,000
39	136	79	437	119	1,360	159	4,375	199	13,600	239	43,750	279	136,000

Fonte: www.pneulowcost.com

5.3.1 Carga Máxima

Como temos principalmente dois tipos de seleção de pneus e temos os seguintes critérios para definição de carga máxima:

Seleção de pneus diagonais deve obedecer ao seguinte critério:

Carga máxima – não deve exceder as indicadas para 220 kPa (32 lb/pol.²) para pneus cap. carga B; 250 kPa (36 lb/pol.²) para pneus cap. carga C; e 275 kPa (40 lb/pol.²) para pneus cap. carga D.

Seleção de pneus diagonais deve obedecer ao seguinte critério:

Carga máxima – não deve exceder a capacidade de carga indicada pelo índice de carga e é referente as velocidades até 210 km/h. (ALAPA, p 2-4, 2011).

5.3.2 Velocidade Máxima dos pneus

De acordo com a “ALAPA (2011) símbolo de carga mostra a máxima velocidade o pneu pode atingir quando está com seu nível de carga correspondente ao índice e nas condições ideais de serviço que são especificadas pelo fabricante. Temos uma tabela onde é mostrado de acordo com a letra a velocidade máxima que o pneu suporta e que veículo é capaz de alcançar, temos dois tipos de marcação nos pneus o de “descrição de serviço “ onde temos que seguir a tabela de símbolo de velocidade, caso não esteja gravado o a descrição de serviço a medida de velocidade máxima é definida pela tabela de marcação da “categoria de velocidade” os algarismos de categoria de velocidade vem indicada nos pneus como por exemplo: 195/60 SR 14. Essas marcações de categoria de velocidade foram criadas para informar a velocidade máxima nas melhores condições de estrada, e é indicado no Quadro 2:

Quadro 2 – Indicadores de velocidade suportadas pelos pneus (a)

SÍMBOLO DE VELOCIDADE (Descrição de Serviço)	LIMITE DE VELOCIDADE (km/h)	MARCAÇÃO DA CATEGORIA DE VELOCIDADE	
		PNEUS DIAGONAIS	PNEUS RADIAIS
F	80		(S) Reforçado M+S = Aro 15" e menores
L	120	(-) Aro 10"	
M	130		
N	140	(-) Aro 12"	
P	150	(S) Aro 10" (-) Aro 13", 14", 15" e 16" e maiores	
Q	160	(S) Aro 12"	(S) M+S (S) Reforçado M+S = Aro 16"
R	170		(S) Reforçado
S	180	(H) Aro 10" (S) Aro 13", 14" e 15"	(H) M+S
T	190	(H) Aro 12"	
U	200	(H) Aro 13", 14 e 15"	
H	210		(H)
V	240		
W	270		
Y	300		

Fonte: ALAPA MANUAL DE NORMAS TÉCNICAS 2011.

Figura 16: Carro em alta velocidade.



Fonte: www.dinamicarpneus.com.br

5.3.3 Pressão mínima de trabalho

Neste caso também é regido por tabelas para pneus normal e reforçados, nas tabelas de modo geral são mínimas para cargas indicadas mas podem ser modificadas em acordo com o desenvolvedor do veículo e o fornecedor do pneu.

Para encontrarmos a pressão ideal em um pneu temos que considerar todas as características do veículo, como a carga, a velocidade máxima, o tipo de construção do pneu e o tipo de utilização como passeio, trabalho ou competição. De acordo com a "ALAPA (2011) (Associação Latino Americana de Pneus e Aros), a tabela de pressão em função da velocidade que indica a pressão mínima pode ser usada se não tivermos um acordo entre os fabricantes. Na montagem de um pneu é recomendado que a pressão seja de 275 kPa (40 lb/pol²) para assentar os talões. Temos que tomar cuidado com a pressão máxima e respeitar sempre a recomendação do fabricante. "Pressão máxima de inflação: Pneus Normais 44 Psi/Pneus com IV \geq V:51 Psi, Pneus Reforçados 51 Psi" (ALAPA, p. 2-6, 2010).

Quadro 3 – Indicadores de velocidade suportadas pelos pneus (b).

Pressão Mínima de Inflação (Kpa) por velocidade na carga máxima para pneus normais (standard)									
Velocidade de veículo	Símbolo de Velocidade								
	Q	R	S	T	U	H	V	W	Y
<=160 km/h	250	250	250	250	250	250	250	250	250
170		260	260	260	260	260	260	250	250
180			260	260	260	260	260	250	250
190				270	270	270	270	250	250
200					270	270	270	260	250
210						280	280	270	250
220							280	280	250
230							280	290	260
240							280	300	270
250								300	280
260								300	290
270								300	300
280									300
290									300
300									300

Fonte: ALAPA MANUAL DE NORMAS TÉCNICAS 2011.

Figura 17 – Pressão de trabalho.



Fonte: www.lamatracamagazine.com

5.4 Calibração dos pneus

A partir de todos fatos citados nas sessões anteriores, é possível compreender que os pneus dependem da pressão e temperatura adequadas para ter um bom desempenho, maior tempo de vida útil, maior estabilidade e reduzir o consumo de combustível.

A partir dos dados mencionados, é importante sempre monitorar a pressão e temperatura na qual os pneus estão trabalhando, sabendo que no processo de calibração, quando o pneu que está em temperatura ambiente adota-se a recomendação indicada pelos fabricantes em tabelas. E no caso em que a temperatura do pneu estiver elevada a pressão para calibrá-lo corretamente estará acima do indicado pela tabela do fabricante geralmente algo em torno de 4psi (0,3Bar) em relação ao valor a frio.

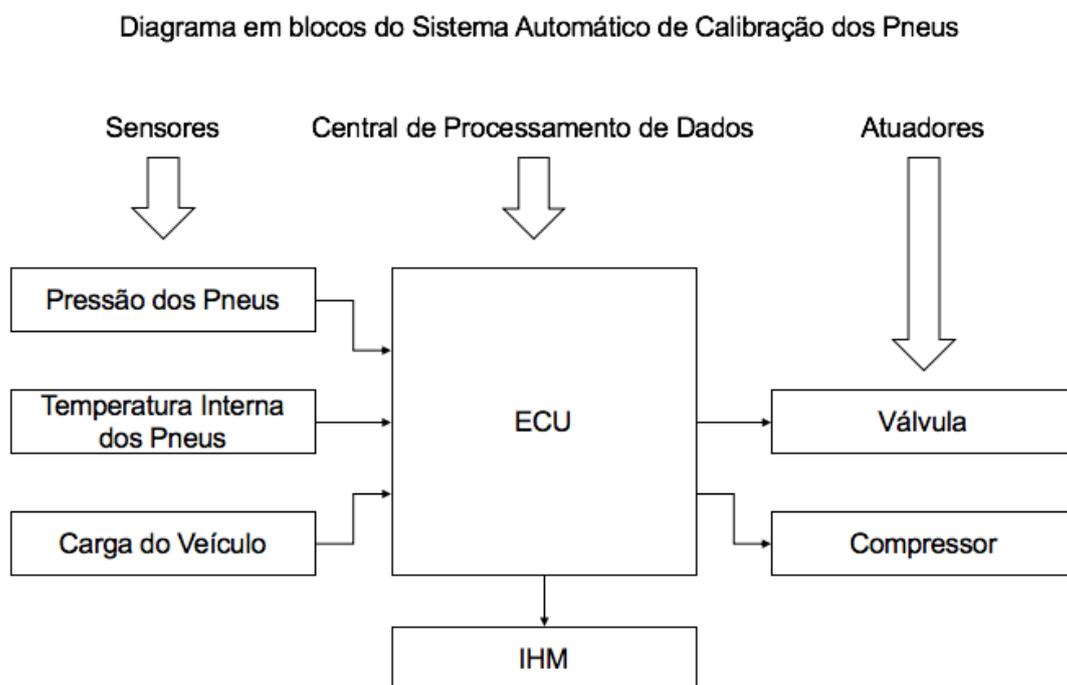
No caso de a pressão em um “pneu quente” estar acima do recomendado pelo manual, nunca se deve retirar ar desse pneumático, já que normalmente o pneu demora de duas a três horas para esfriar. Portanto, retirar ar de um pneu quente irá provocar um caso de pressão baixa e todas as suas desagradáveis consequências que afetam o desempenho e a durabilidade do pneu, aumentando o consumo de combustível. (FIGUEREDO et al., 2012 apud A FÍSICA DOS PNEUMÁTICOS, p.625, 2013).

O que foi citado sobre a calibração dos pneus tem relação com o contexto do sistema de calibração automática, pelo fato de que as características de pressão e temperatura nos pneus de um automóvel são influenciadas de maneira a comprometer ou não o desempenho. A calibração dos pneus influencia na transmissão de torque e potência que o motor fornece para as rodas através do sistema de transmissão.

6. Arquitetura de Hardware

Neste capítulo são apresentados os componentes que constituem o Sistema Automático de Calibração dos Pneus, tais como sensores, unidades centrais de processamento e atuadores. O diagrama em blocos ajudar a esclarecer o funcionamento do sistema e a compreender o funcionamento de cada componente com suas respectivas funções, conforme ilustrado na figura seguinte:

Figura 18 – Diagrama em blocos do Sistema Automático de Calibração dos Pneus com entradas e saídas.



Fonte: Os autores.

Para explicar o diagrama em blocos ilustrado na figura acima, serão mencionadas as características dos componentes atribuídos à cada um dos blocos, esclarecendo os aspectos de cada parte do hardware seguida de uma abordagem técnica relacionada a seu funcionamento durante a dinâmica de atuação do sistema.

6.1 Sensores

Os sensores utilizados no sistema monitoram pressão e temperatura do pneu e a carga do veículo.

O sensor para medir pressão e temperatura nos pneus, contém baterias para fornecimento de energia elétrica. Os principais componentes de um sensor ativo são bateria, processador, memória, sensores, componente de rádio e antena. Alguns desses componentes geralmente são integrados em um único chip para economizar peso e espaço e reduzir o consumo de energia. A bateria é o componente mais problemático, pois limita o tempo de operação do sensor e as baterias existentes também possuem limitações de temperatura. Em temperaturas muito frias ou altas, elas podem não funcionar corretamente ou podem até ser completamente destruídas. Os sensores passivos, ou seja, não precisa usar bateria, pode obter a energia de trabalho através de outros métodos, como gerador próximo aos sensores.

Em virtude da limitação do espaço físico nos pneus para a instalação de outras peças e a redução do número de componentes do sistema, geralmente utiliza-se sensor único para temperatura e pressão.

Os sensores de pressão e temperatura montados em cada válvula dos pneus enviam sinais de rádio em intervalos regulares para as antenas montadas em cada caixa de rodas e os sinais são então passados para o sistema.

O sensor mede a pressão de insuflação real do pneu (medição da pressão absoluta). A pressão é então enviada para o sistema.

O sinal de temperatura é utilizado para compensar as mudanças de pressão, dependentes da temperatura nos pneus, bem como para fins de diagnóstico.

Figura 19 – Sensor de Pressão e Temperatura (Volkswagen e Audi).



Fonte: Fonte: TPMS System Description and Functional Overview.

Figura 20 – Sensor de Pressão e Temperatura (Continental).



Fonte: Continental

No caso do sensor de carga (peso) para veículos comerciais, existem os sensores projetados para medir a carga do eixo em veículos com suspensão de molas, como o sensor **GNON DP position sensor**, que seu princípio de operação é baseado na transformação do ângulo de rotação da alavanca do sensor em tensão de saída. O elemento sensor magneto resistivo é usado como um transdutor. A saída do sensor gera sinal de tensão analógica estabilizada, que é enviada para o sistema. O sinal de tensão depende da posição da alavanca do sensor (ângulo de rotação) que varia de acordo com a carga do eixo do veículo. O Sensor de pressão O **GNOM DDE pressure sensor** é usado para determinar a carga do eixo em veículos equipados com suspensão a ar. Seu princípio de operação é baseado na transformação da pressão do ar comprimido em tensão de saída. A saída do sensor gera sinal de tensão analógica estabilizada, que é enviada para o sistema. O sinal de tensão varia dependendo da pressão no circuito de suspensão a ar do veículo que passa pelo encaixe de rosca de entrada para o transdutor.

Figura 21 – Sensor de Carga (GNON DP position sensor)



Fonte: www.wagencontrol.eu

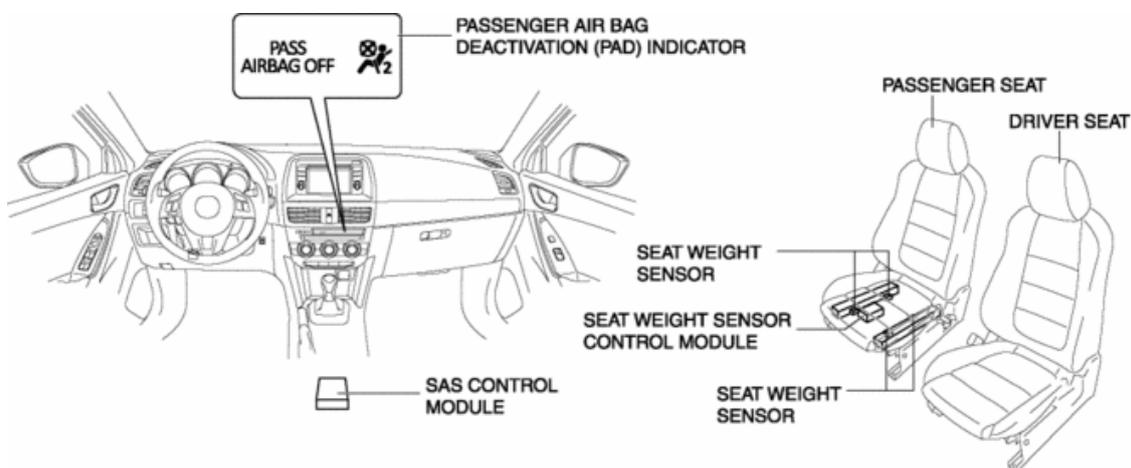
Figura 22 – Sensor de Carga (GNON DP pressure sensor).



Fonte: www.wagencontrol.eu

Para veículos de passeio, existem algumas alternativas para medir ou calcular o peso (carga) do veículo. Como o sensor de peso do assento, amplamente utilizados em diversos veículos. O sensor é instalado nos assentos do veículo é convertida em um sinal elétrico pela célula de carga embutido no sensor, e este sinal é enviado para o módulo de controle. Os sinais eletrônicos do sensor de peso de quatro lugares são utilizados para cálculo, que divide o resultado e determina se existe um adulto, criança ou que está vazio. O resultado determinado é enviado para o sistema.

Figura 23 – Sensor de peso do assento



Fonte: Mazda

A fornecedora automotiva Continental anunciou novas funções de seus sensores de pressão de pneu, onde as gerações futuras de sensores serão capazes de detectar o peso total do veículo.

Os sensores serão montados diretamente sob a base do pneu, o sistema de monitoramento da pressão dos pneus pode detectar com precisão o tamanho dessa área de contato. Com as revoluções da roda, o sensor de pressão

interligado registra as características de rolamento do pneu na estrada. Com base na pressão dos pneus existente e dados precisos sobre as características dos pneus, o sistema é capaz de medir após algumas centenas de metros se uma alteração na pressão dos pneus for adequada à carga útil atual (CONTINENTAL 2018).

Figura 24 – Sensor de peso do veículo (Continental)

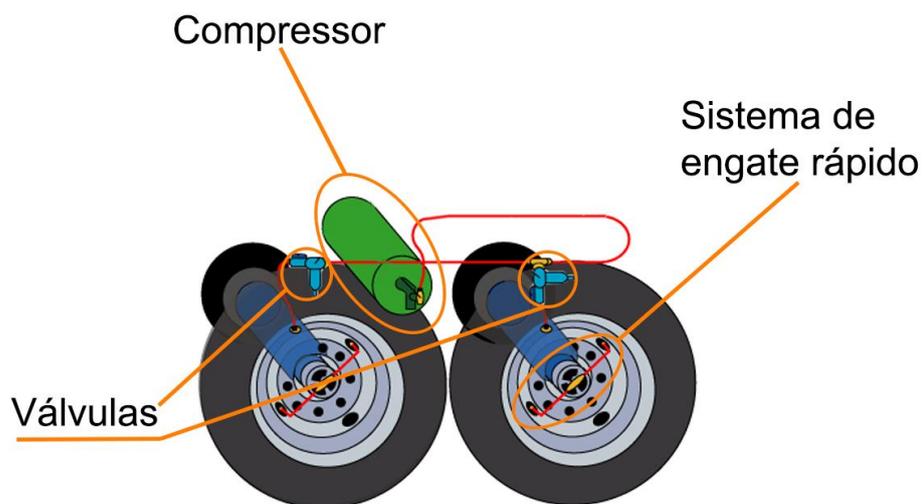


Fonte: Continental

6.2 Atuadores

O sistema possui dois tipos de atuadores, sendo um deles o compressor, ligado ao motor do veículo para gerar ar comprimido para inflar o pneu, quando a pressão lida pelos sensores for inferior a pressão ideal determinada pelo sistema. O outro atuar se trata de uma válvula, ligada nas mangueiras do sistema, quando acionada é utilizada para desinflar os pneus quando a pressão medida pelos sensores for maior que a pressão ideal determinada pelo sistema.

Figura 25 – Esquema de montagem do sistema (Pneu 225/40-18)



Fonte: Os Autores

6.2.1 Conexão

O ar comprimido é fornecido nas extremidades da roda, através de mangueiras diretamente para as válvulas dos pneus. O sistema permanecerá conectado enquanto o veículo estiver estacionado ou em trânsito.

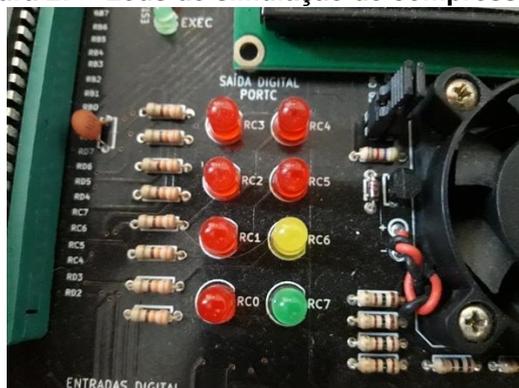
Figura 26 – Mangueira de ligação a válvula do pneu.



Fonte: Donbur

6.3 Simulador do calibrador automático de pneus

Figura 27 – Leds de simulação de compressor e válvula.



Fonte: Os Autores.

Para simular as situações onde o sistema ativa o compressor e a válvula, foram utilizados led's localizados na interface para estudos acadêmicos. No Quadro 4, podemos ver qual Led representa o compressor e válvula.

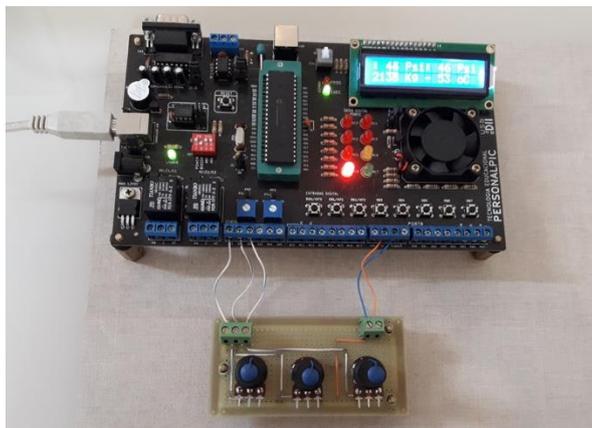
Quadro 4 - Relação de dispositivo e cor para simulação.

Dispositivo	Cor do Led
Compressor	Vermelho
Válvula	Verde

Fonte: Os Autores

O dispositivo controlador usado é o PIC16F877A fabricado pela Microchip, e o que motivou escolhê-lo para o projeto são os recursos como os periféricos que podem ser configurados como canais AD. Os canais AD são periféricos habilitados como entradas que recebem os valores de sinais analógicos e convertem para sinais digitais. Os sinais são fornecidos por sensores de pressão, temperatura e peso. Na figura 28 está a estação de simulação montada.

Figura 28 – Estação de simulação.

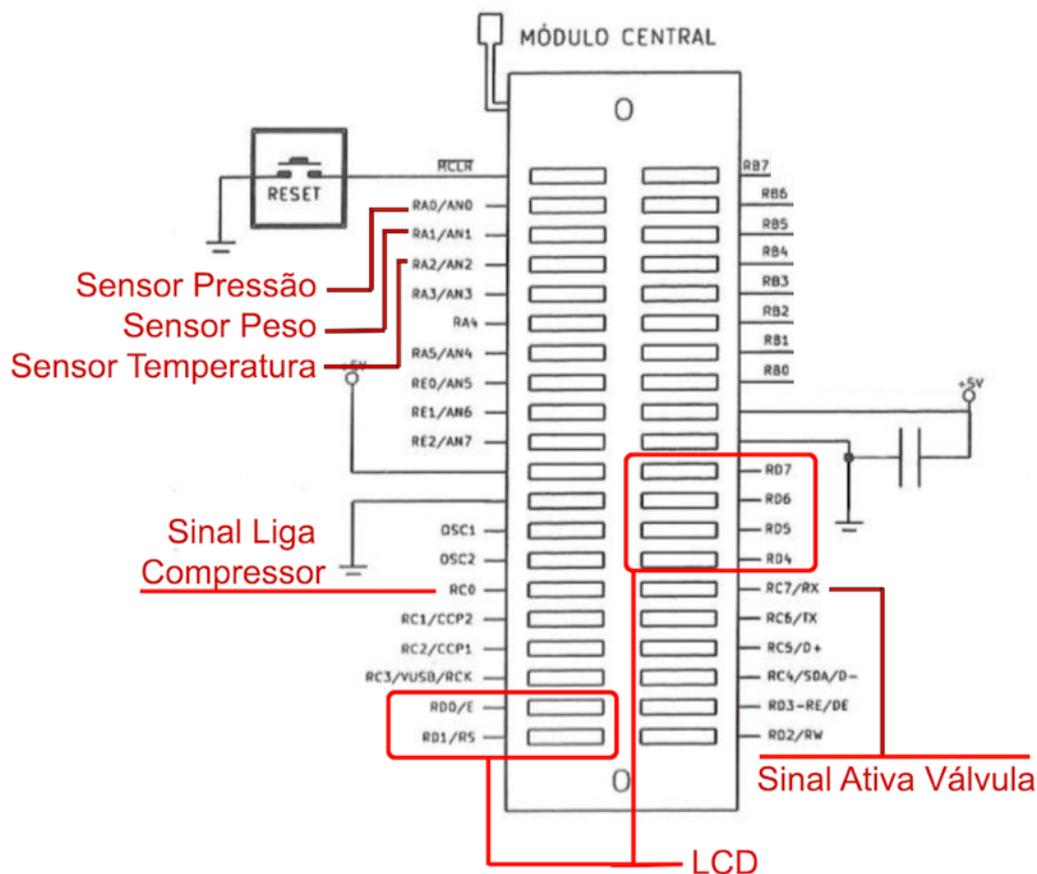


Fonte: Os Autores.

Foi utilizado uma interface para estudos acadêmicos para simular o sistema, em conjunto com uma interface externa para simulação dos sensores.

O sistema realiza a leitura dos sensores, e calcula a pressão ideal nos pneus para essa situação e faz uma comparação. Se a pressão lida através do sensor estiver abaixo da calculada, o sistema liga o compressor para inflar o pneu. Se a pressão lida através do sensor estiver acima da calculada, o sistema ativa a válvula para desinflar o pneu.

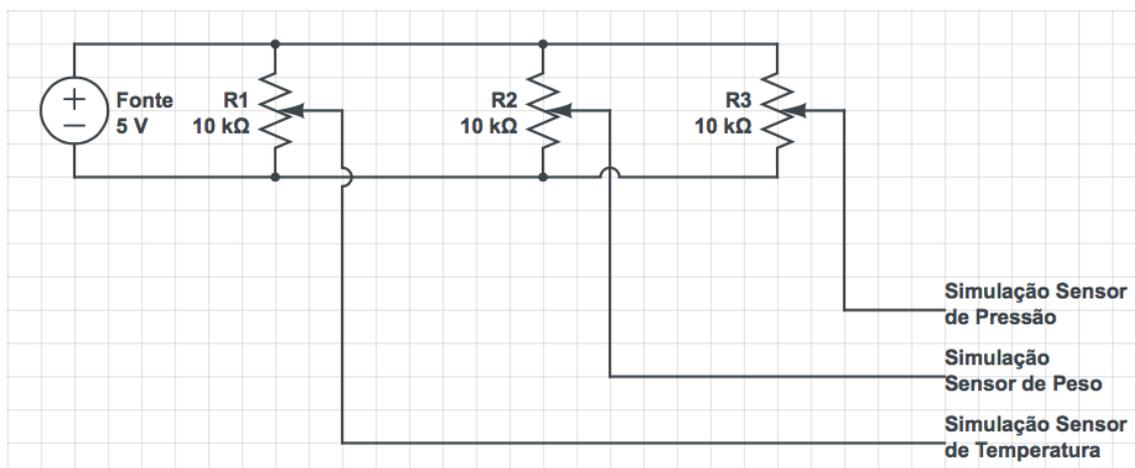
Figura 29 – Diagrama elétrico da interface de simulação.



Fonte: Os Autores.

A interface usada para a simulação dos sensores de Pressão, Peso e Temperatura que estão acoplados no sistema principal tem a seguinte configuração:

Figura 30 – Diagrama elétrico da interface de simulação dos sensores

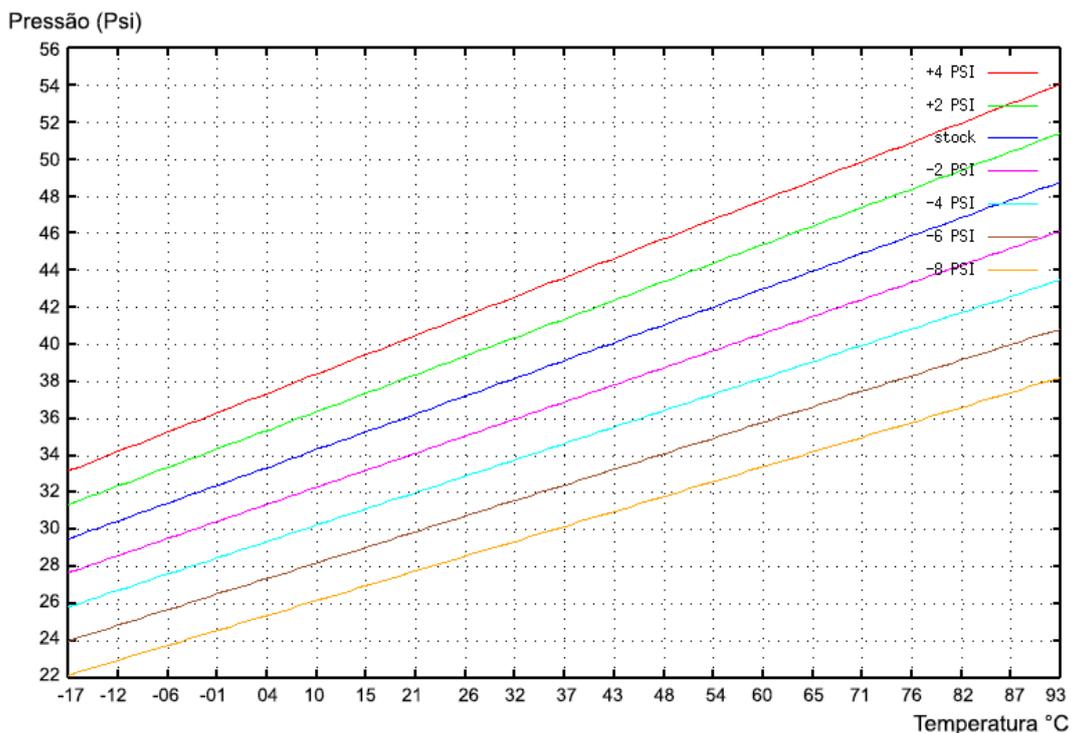


Fonte: Os Autores.

Com essa configuração é possível impor condições reais de uso, devido a faixa de operação da tensão dos sensores, simulando condições prováveis e até improváveis de uso, apenas usando as variações dos potenciômetros.

Os potenciômetros na figura 25, simulam a leitura dos sensores que fornecem os dados fundamentais para o sistema de controle determinar se o compressor ou a válvula devem atuar ou não.

Figura 31 – Gráfico Pressão por Temperatura (Pneu 225/40-18)



Fonte: www.arden.org

O gráfico da figura 31, mostra uma curva com a relação entre pressão do pneu (Psi) e a temperatura (°C) do pneu (225/40-18), que na verdade é uma reta o que faz dessa uma relação linear. Para um determinado pneu radial em um determinado aro, o volume é essencialmente constante em uma ampla faixa de temperaturas e pressões. Uma vez inflado o pneu, a quantidade de ar nele também é essencialmente constante. Então, na maioria das vezes, as únicas coisas que variam são a pressão e a temperatura.

Para calcular os valores de pressão de saída correspondentes para cada caso, segue a equação:

Equação 04 – Cálculo da pressão de saída.

$$P = (nR / V) T$$

P= Pressão

n= Massa de Ar

R= Constante

V= Volume

T= Temperatura

Fonte da Equação: <https://www.arden.org/misc/pressure.html>

A pressão varia 1 Psi aproximadamente para uma mudança de temperatura de 5,55°C

6.4 Resultados

Com as experiências em funcionar o sistema para que os parâmetros de entrada fossem obtidos através dos pinos RA0, RA1 e RA2 do microcontrolador, que compara os três medindo a diferença entre eles e com base no cálculo que representa o gráfico na figura 28, são ligados ou desligados os Led's conectados aos pinos RC0 e RC7 do microcontrolador.

Equação 05 – Cálculo da pressão ideal.

$$P_{id} = P_0 + (T \cdot m)$$

P_{id}= Pressão Ideal

P₀ = Pressão Inicial em 0 °F

T = Temperatura (°F)

m = Coeficiente Angular

Fonte: Autor.

A equação 57 representa o cálculo da pressão ideal que o sistema determina, com base nas medições obtidas dos potenciômetros, que simulam os sensores.

Por convenção, foi escolhido fazer o controle de pressão de apenas um pneu, para representar todas as rodas do veículo.

Na figura 32, podemos observar a disposição considerada na interface de simulação, para mostrar a resposta atual do sistema e dos valores obtidos das simulações dos sensores. Por convenção e praticidade, foi decidido mostrar todas as informações em apenas uma tela do LCD. Devido ao limite de caracteres do LCD, não foi possível adicionar a sigla ou a identificação referente a cada grandeza mostrada.

Figura 32 – Identificação das grandezas no simulador do sistema.



Fonte: Os Autores.

Na figura 33, temos uma simulação para o caso no qual a pressão no pneu for menor que a pressão ideal, determinada pelo sistema, com base nos cálculos realizados após a leitura dos sensores de pressão, temperatura e peso, o sistema irá acionar o compressor, simulado pelo Led na cor vermelha, para inflar o pneu com ar-comprimado elevando pressão até a mesma se igualar com a pressão calculada pelo sistema.

Figura 33 – Simulação do sistema com baixa pressão nos pneus



Fonte: Autor.

Na figura 34, temos uma simulação para o caso no qual a pressão no pneu for maior que a pressão ideal, determinada pelo sistema, com base nos cálculos realizados após a leitura dos sensores de pressão, temperatura e peso, o sistema irá acionar a válvula de alívio do ar do pneu, simulado pelo Led na cor verde, para desinflar o pneu baixando pressão até a mesma se igualar com a pressão calculada pelo sistema.

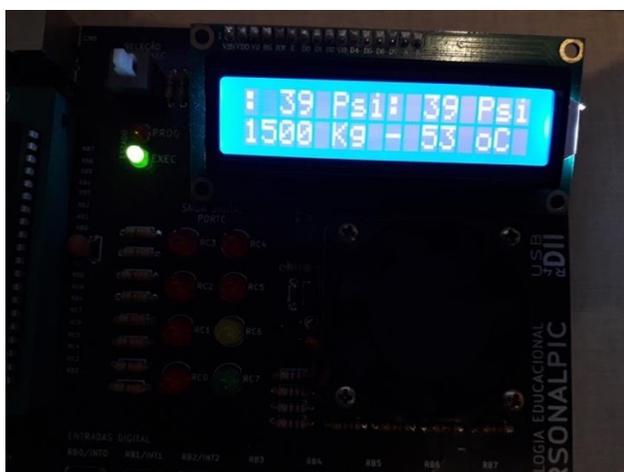
Figura 34 – Simulação do sistema com alta pressão nos pneus.



Fonte: Autor.

Na figura 35, temos uma simulação para o caso no qual a pressão no pneu for igual a pressão ideal, determinada pelo sistema, com base nos cálculos realizados após a leitura dos sensores de pressão, temperatura e peso, o sistema irá manter desligada a válvula de alívio do ar do pneu e o compressor de ar comprimido, simulados pelos led's de cores verde e vermelho respectivamente, e irá ficar monitorando continuamente o sistema através dos sensores, enquanto permanecer ligado.

Figura 35 – Simulação do sistema com a pressão correta nos pneus.



Fonte: Autor.

Na figura 36, temos uma simulação de alerta para o caso no qual o peso do veículo somado a sua carga ultrapassar a capacidade máxima de carga dos pneus, com base nos dados da tabela 2 da ALAPA. O sistema irá ficar monitorando continuamente através dos sensores, enquanto permanecer ligado.

Figura 36 – Simulação do sistema com excesso de peso no veículo.

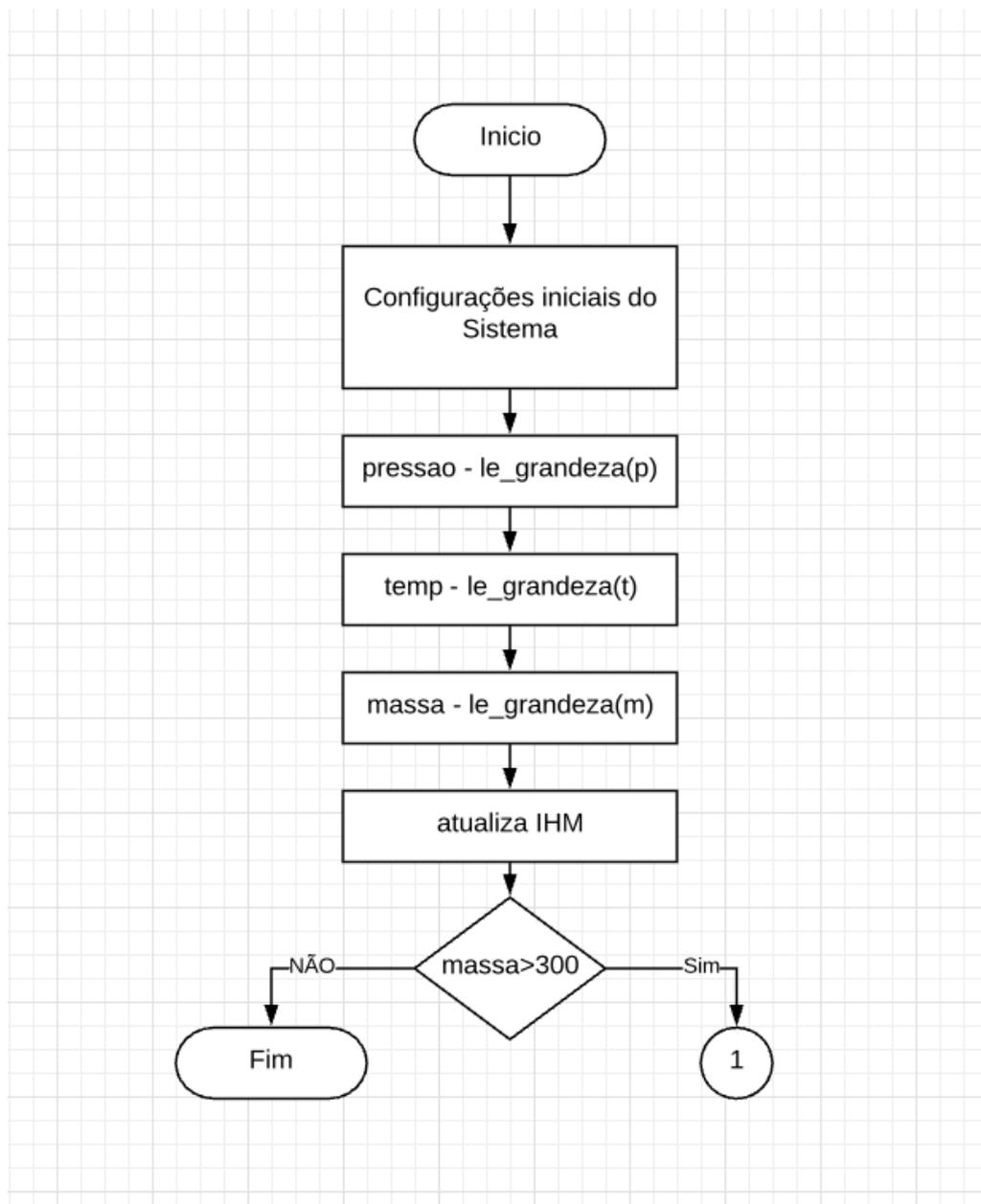


Fonte: Autor.

6.5 Fluxograma de funcionamento

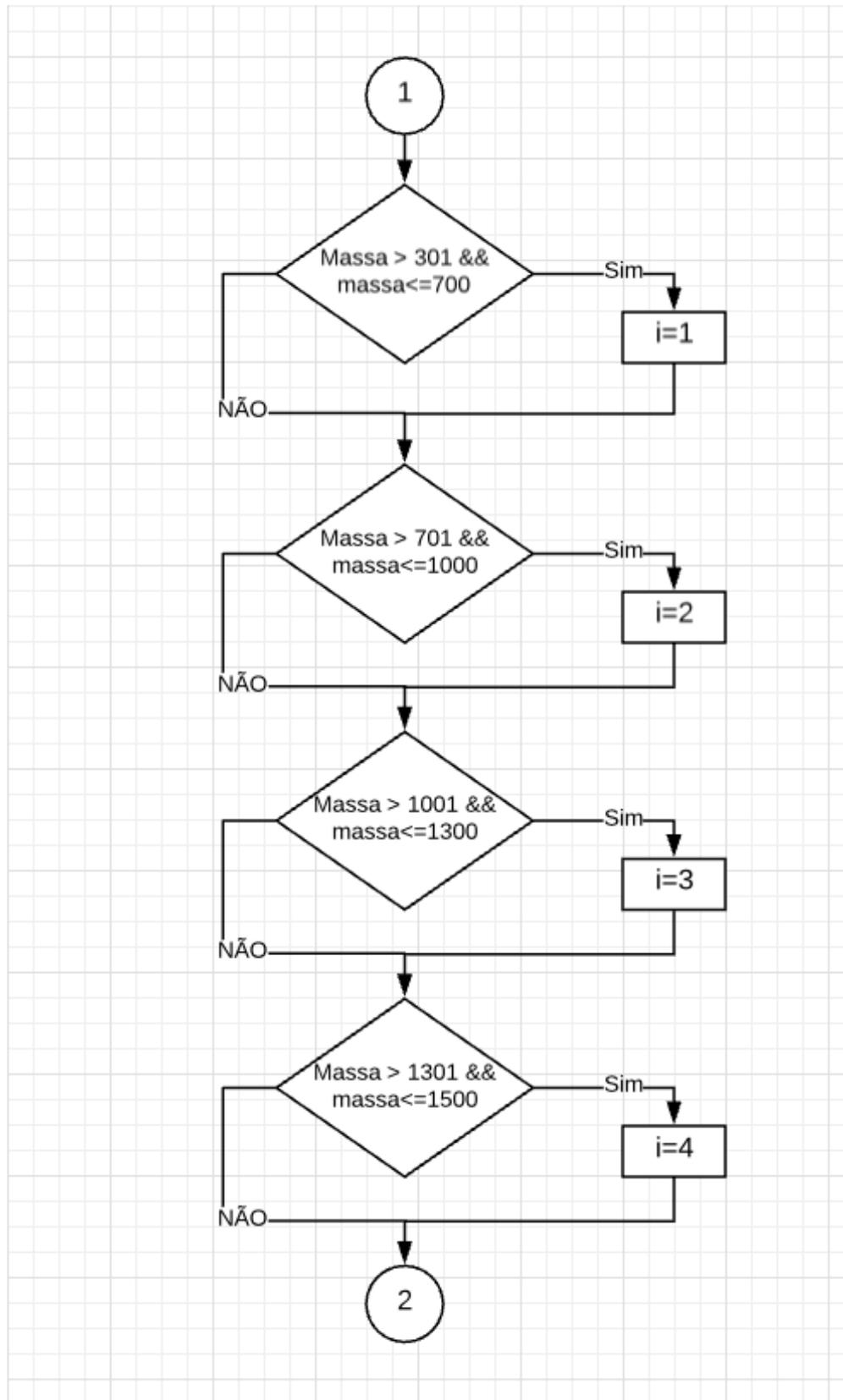
Essa parte do projeto representa o ponto no qual é proposta a inovação no sistema de calibração da pressão dos pneus de automóveis, pois no algoritmo são trabalhadas estratégias de atuação do sistema, nas quais serão realizadas as correções que possibilitam impor o comportamento desejado ao automóvel. Na figura seguinte é ilustrado o fluxograma.

Figura 37 – Fluxograma do algoritmo do projeto.



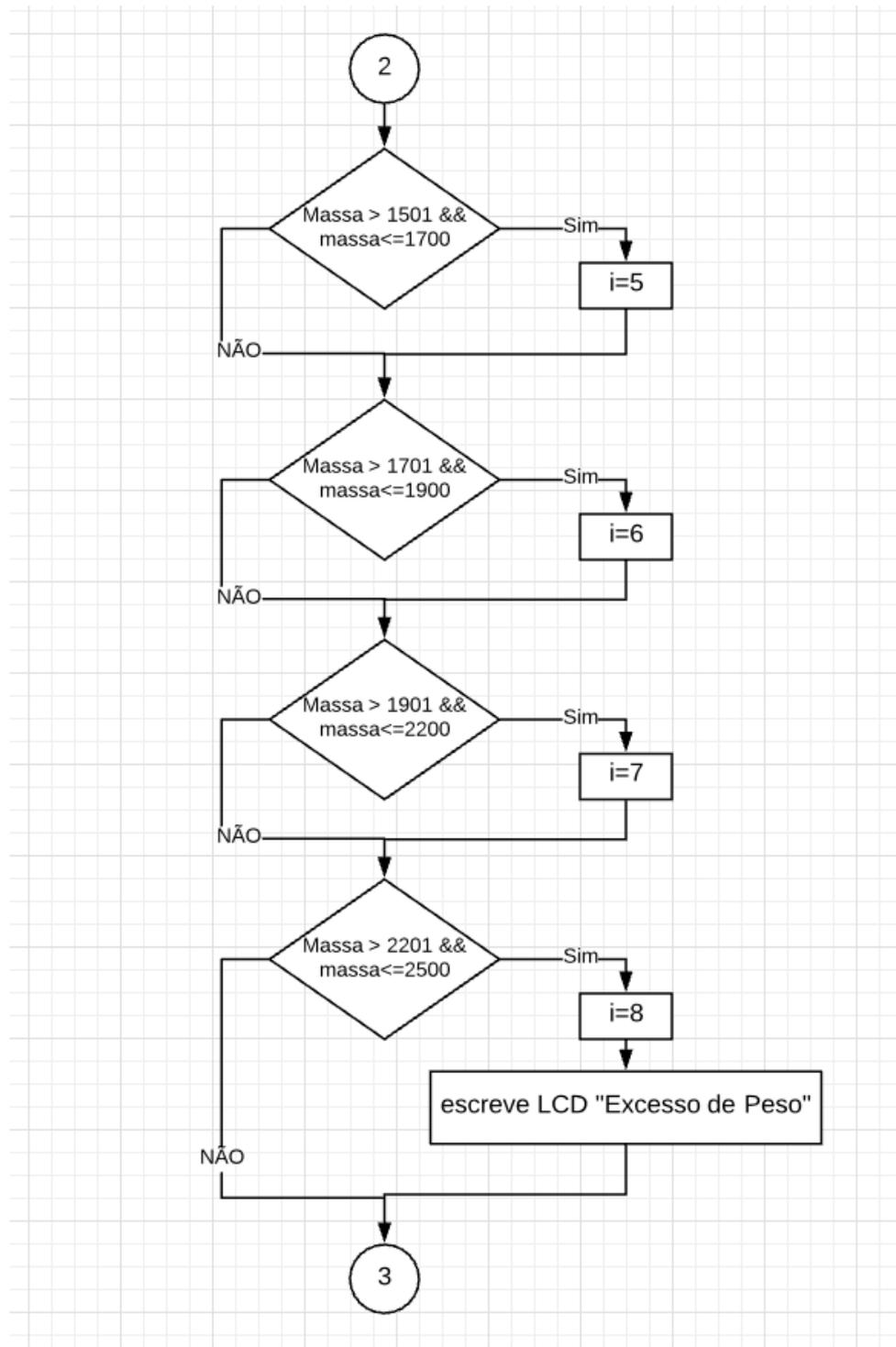
Fonte: Os Autores.

Figura 38 – Fluxograma do algoritmo do projeto.



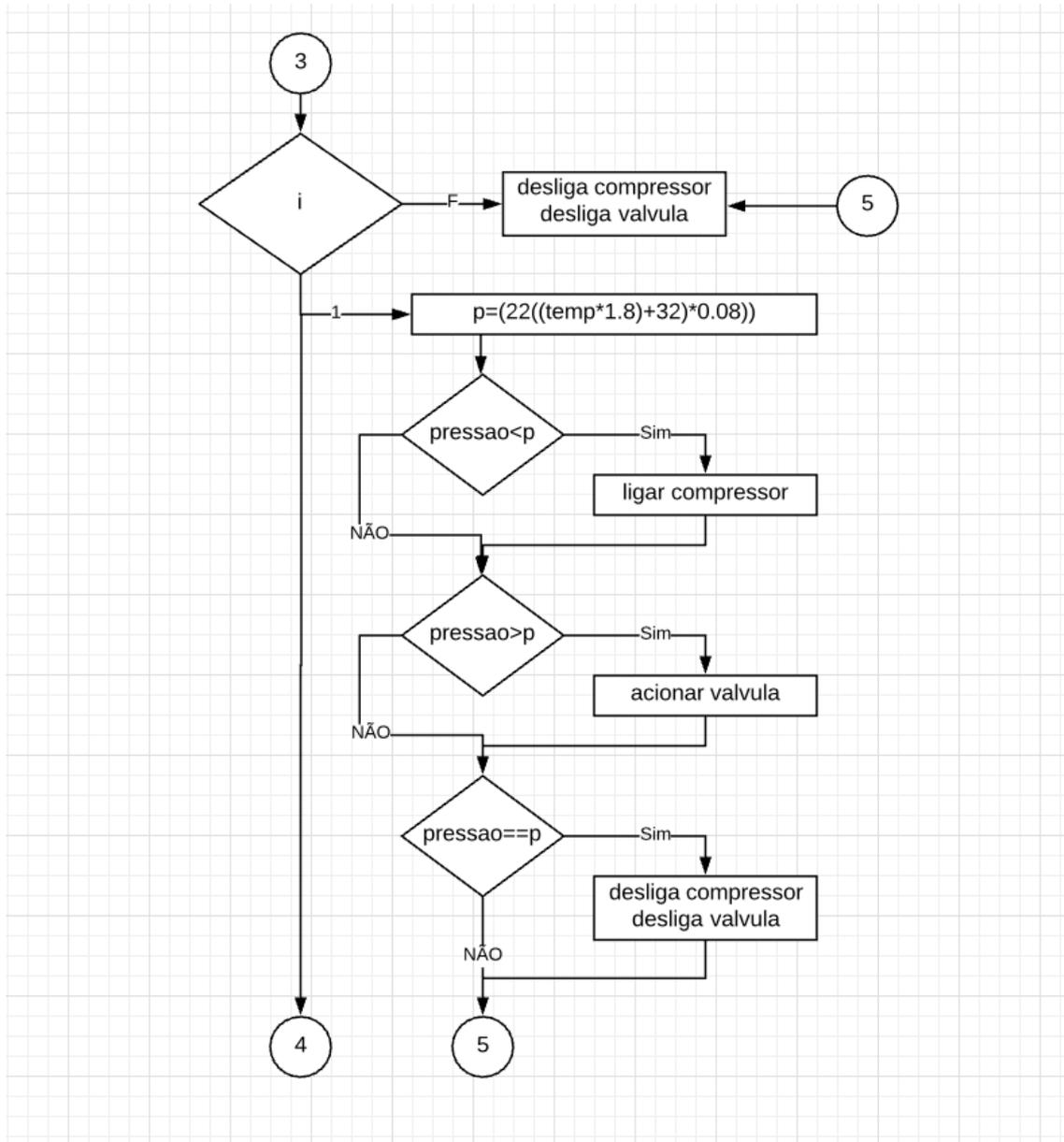
Fonte: Os Autores.

Figura 39 – Fluxograma do algoritmo do projeto.



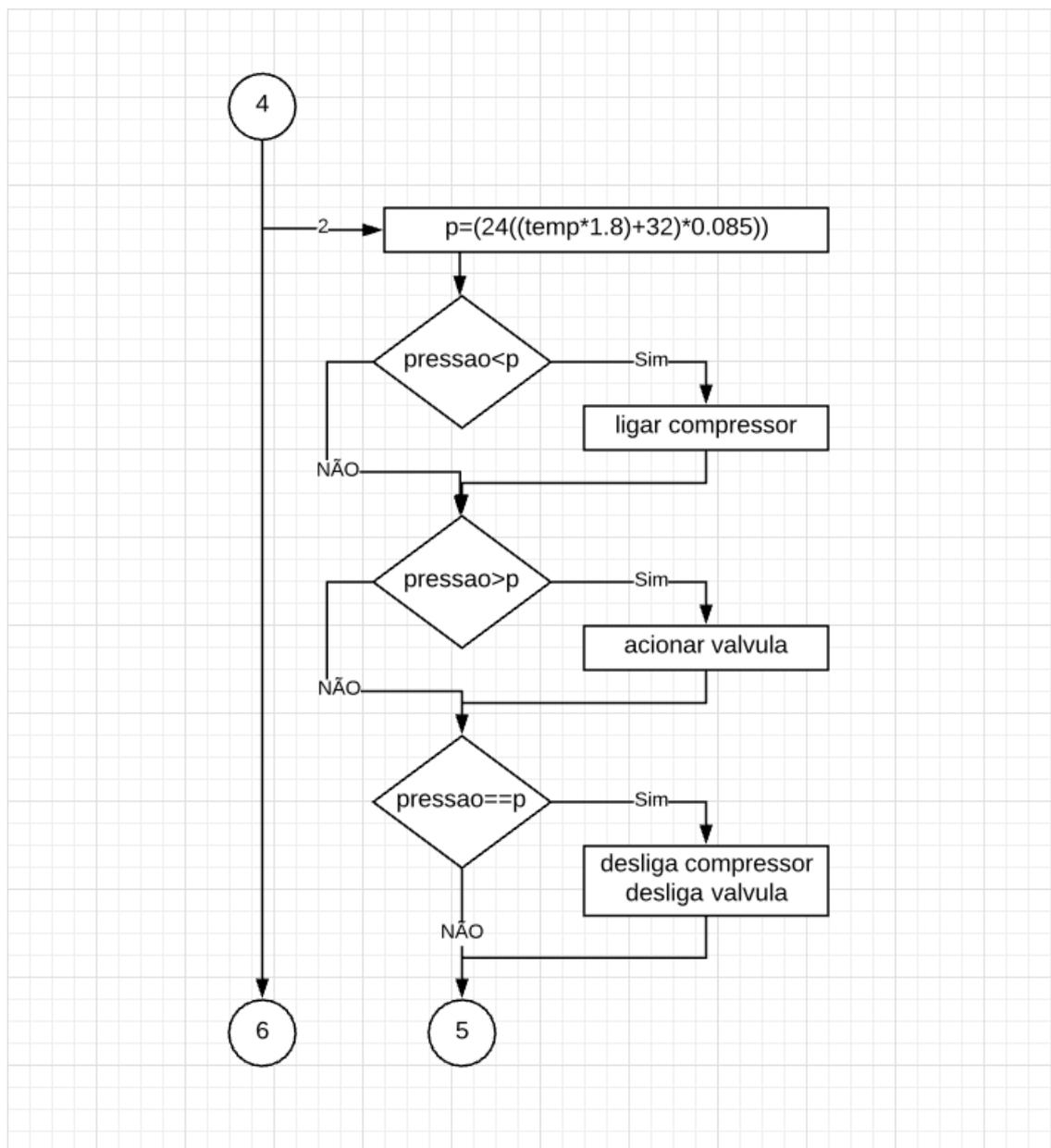
Fonte: Os Autores.

Figura 40 – Fluxograma do algoritmo do projeto.



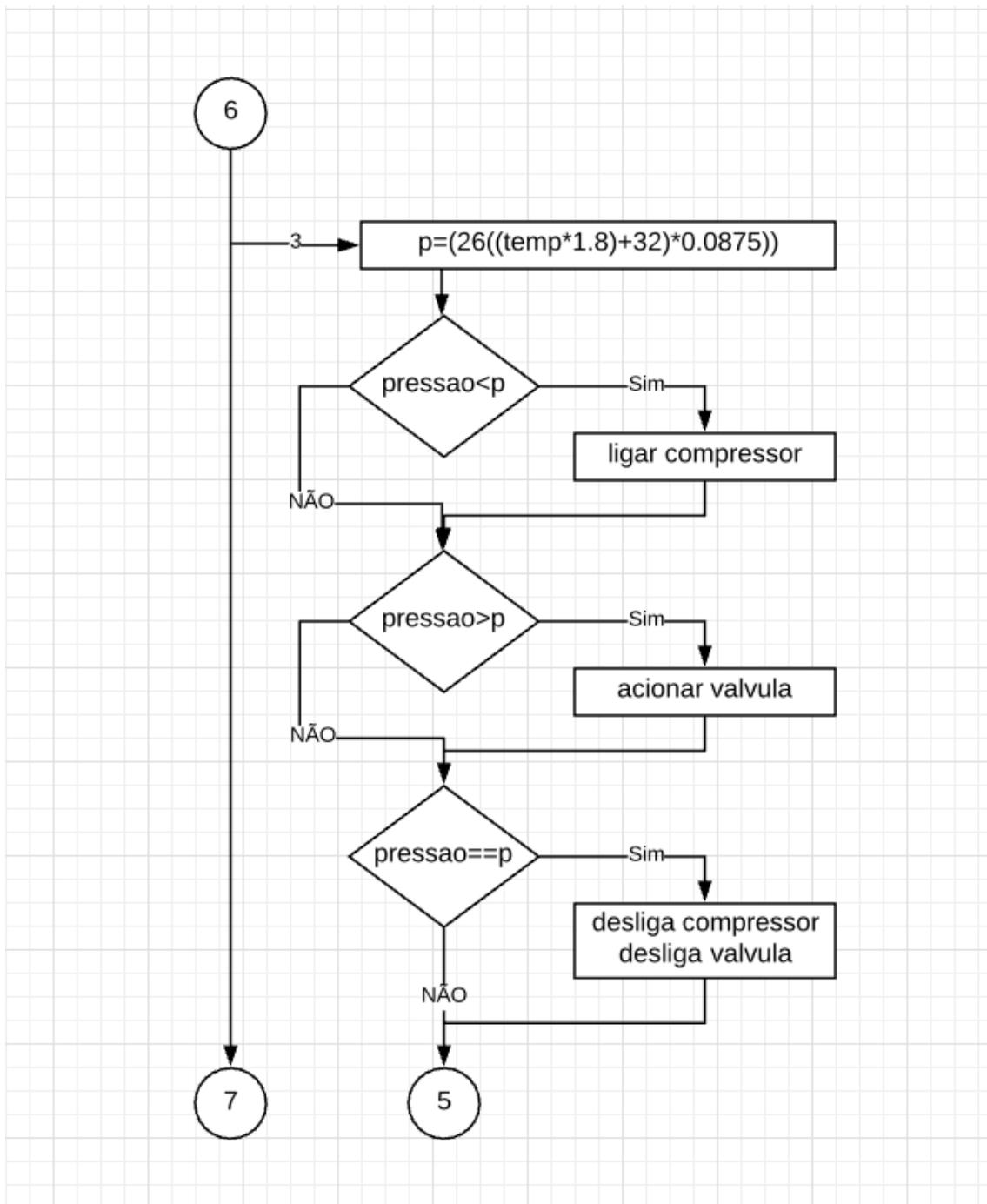
Fonte: Os Autores.

Figura 41 – Fluxograma do algoritmo do projeto.



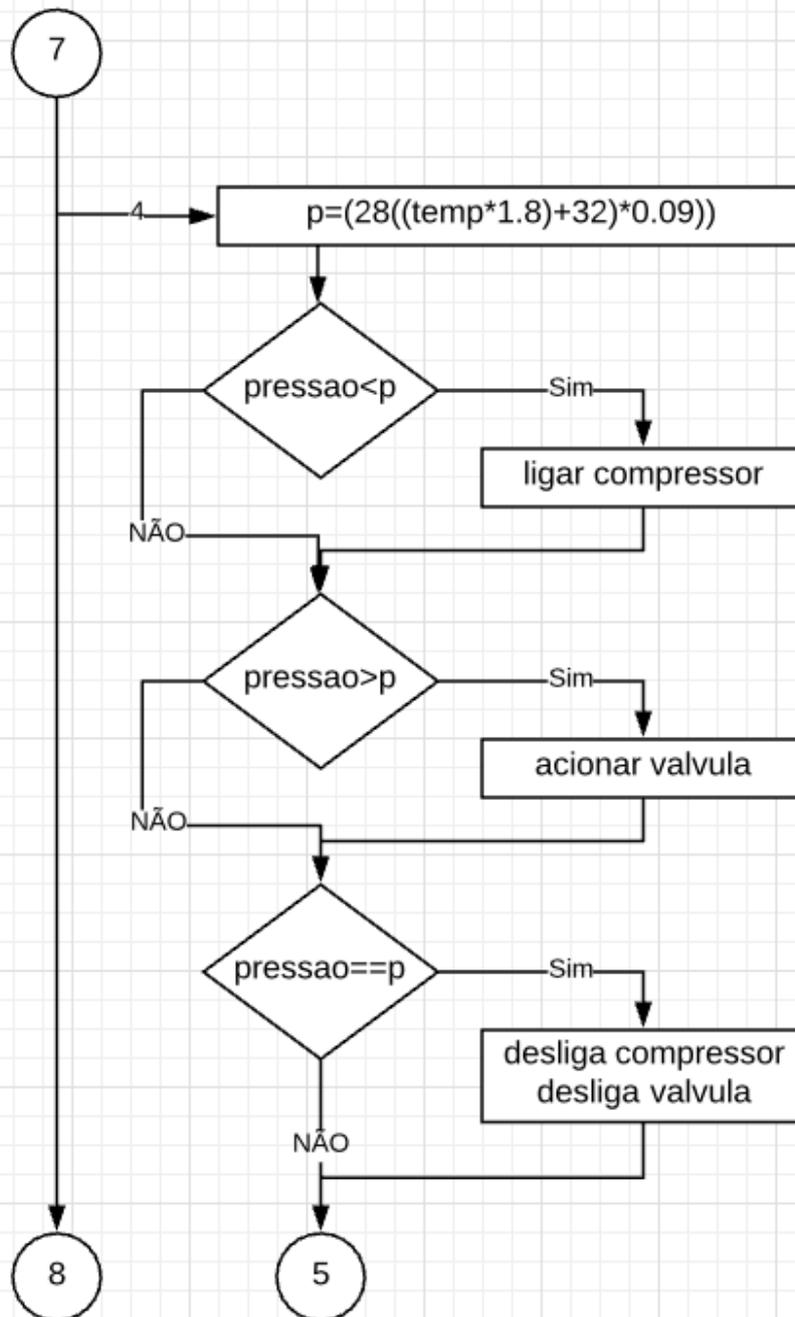
Fonte: Os Autores.

Figura 42 – Fluxograma do algoritmo do projeto.



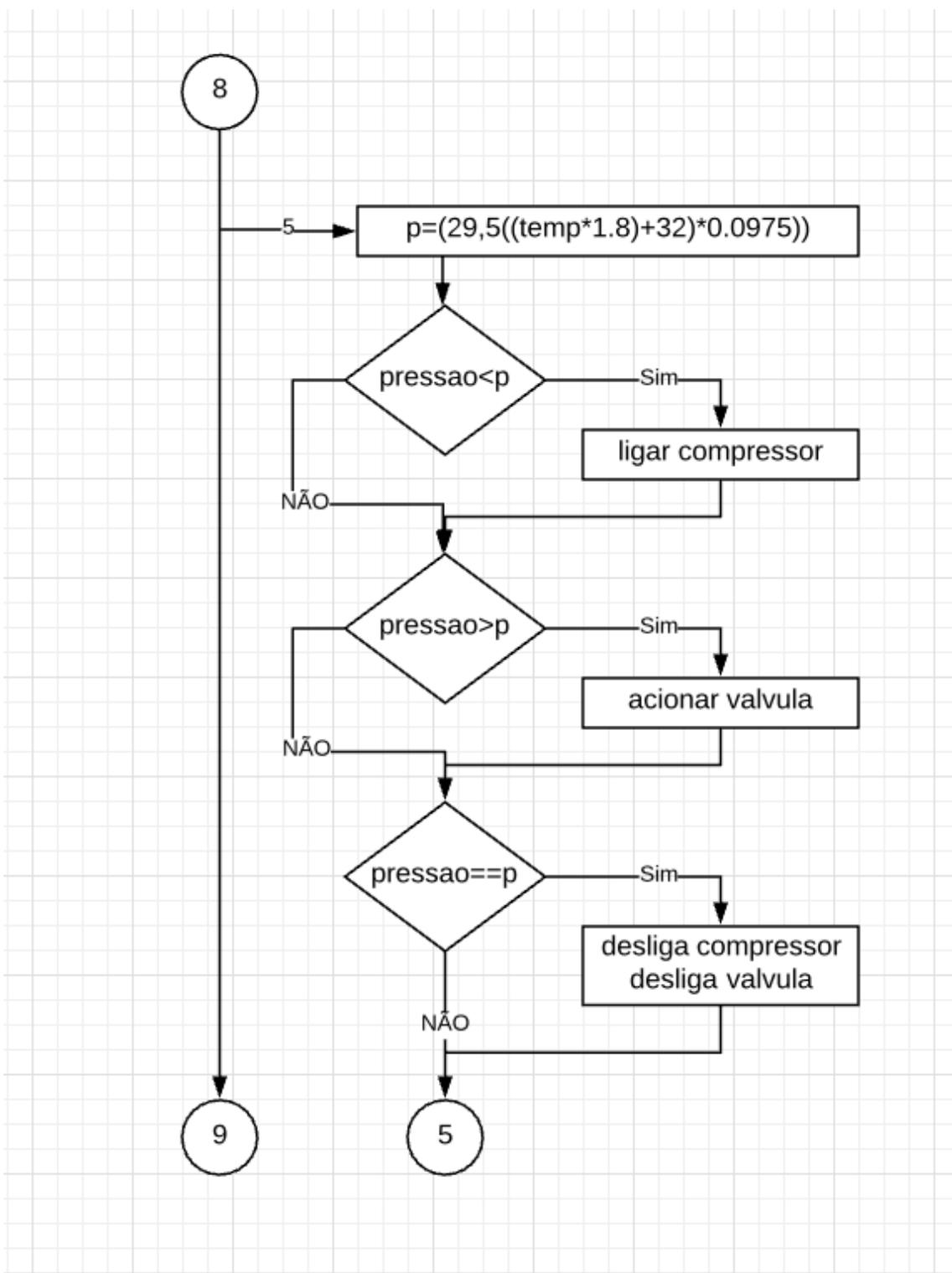
Fonte: Os Autores.

Figura 43 – Fluxograma do algoritmo do projeto.



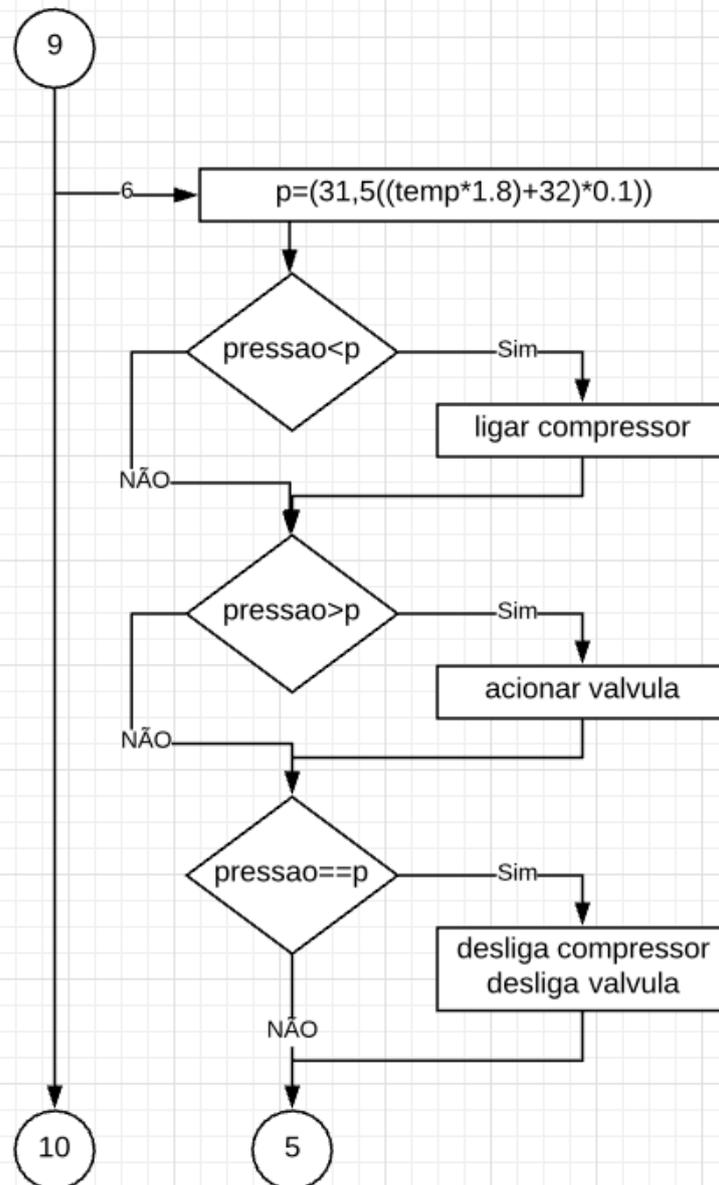
Fonte: Os Autores.

Figura 44 – Fluxograma do algoritmo do projeto.



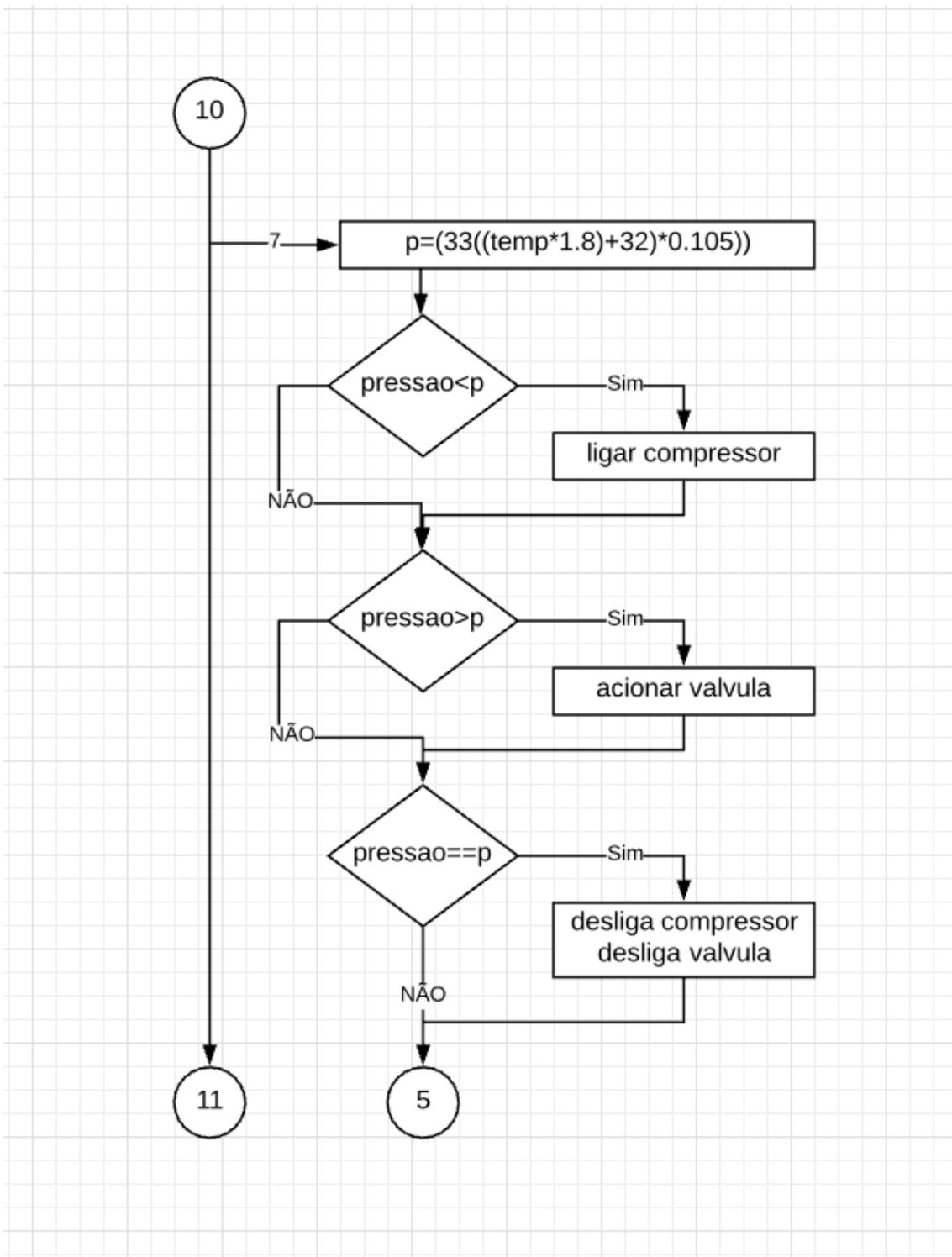
Fonte: Os Autores.

Figura 45 – Fluxograma do algoritmo do projeto.



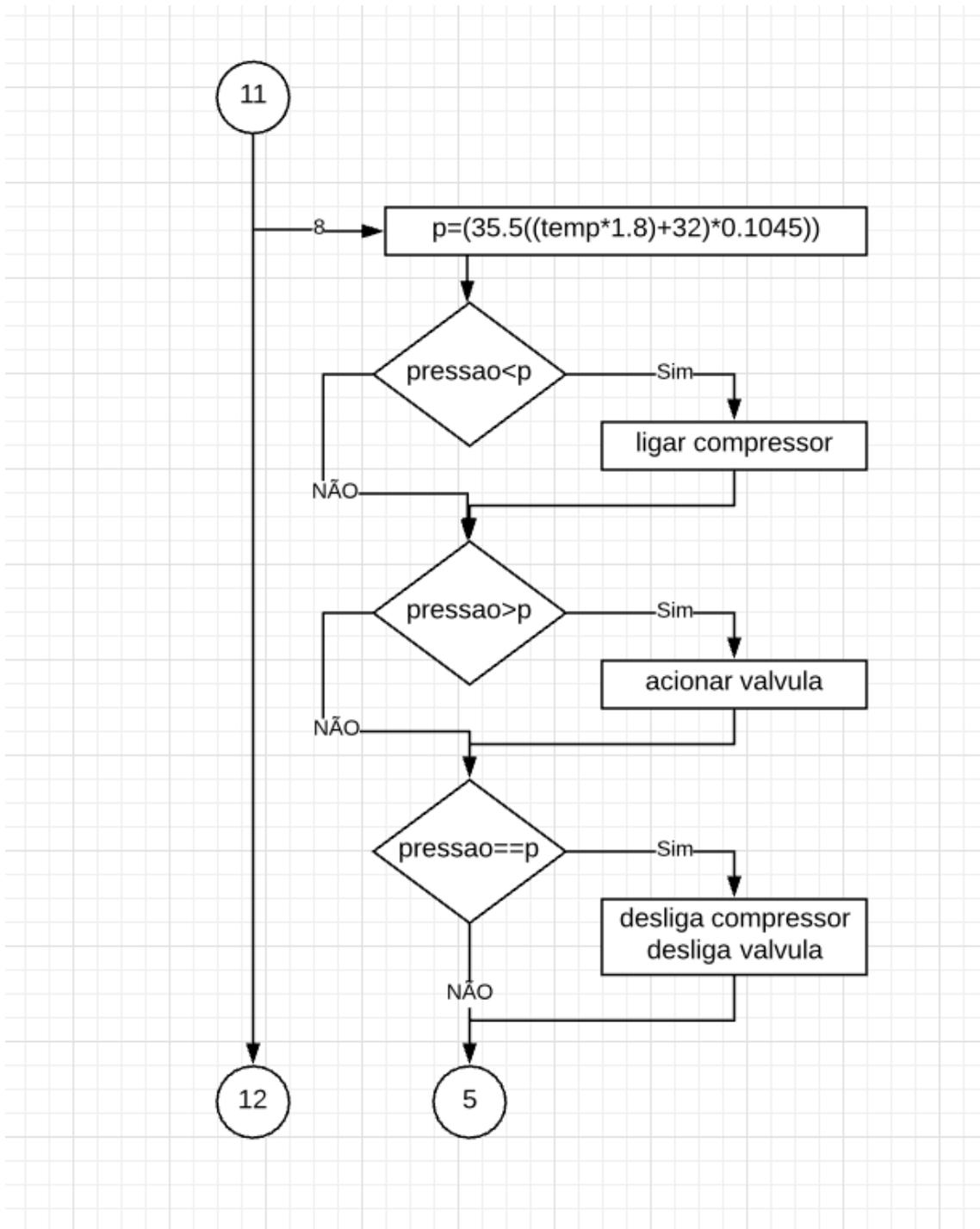
Fonte: Os Autores.

Figura 46 – Fluxograma do algoritmo do projeto.



Fonte: Os Autores.

Figura 47 – Fluxograma do algoritmo do projeto.



Fonte: Os Autores.

6.6 Conclusão

Neste trabalho foi feito um estudo geral sobre pneus veiculares com uso da eletrônica podem melhorar a segurança e o conforto veicular.

Com uma revisão sobre pneus e suas características, como componentes, construção, manutenção entre outros e com o levantamento das estatísticas de acidentes economia de combustível, foram colocadas as bases para destacar a importância da tecnologia eletrônica veicular e principalmente do Controle Eletrônico da pressão no pneu e para proporcionar maior segurança, conforto e comodidade ao usuários e pedestres. Diminuindo os riscos de acidentes no trânsito e aumentando o conforto e comodidade.

Portanto, este trabalho, como sendo uma revisão bibliográfica, contribui para mostrar a importância da aplicação dos sistemas de segurança veicular e mostra que o controle eletrônico da calibração do pneu e é uma das novas tecnologias que podem ser aplicadas para esta finalidade.

7. Propostas Futuras

Para trabalhos futuros, temos a proposta técnica do desenvolvimento de um protótipo didático que permita simular o controle eletrônico da pressão no pneu identificando a variação das entradas em cada sensor existente e a resposta do sistema.

Como proposta de aplicação proponho o estudo do sistema CTIS interagindo diretamente com o sistema de navegação do veículo e outros sistemas veiculares.

Como proposta social temos a realização de estudos mais detalhados que possam servir de base para indicar as autoridades de trânsito que, a aplicação legal do sistema de controle eletrônica pode reduzir os acidentes de trânsito.

Com a estação simuladora foi validado o conceito de demonstrar como é o funcionamento do sistema de controle de tração em um veículo cujo o motor é equipado com turbo-compressor no qual a estratégia de correção é o alívio da pressão de ar no circuito de admissão e ter vista de como é possível melhorar o desempenho na dinâmica do veículo a partir da aliança desta estratégia com outras estratégias já utilizadas.

8. Referências Bibliográficas

Capítulo 2 – Histórico dos pneus

Pneus, História Origens do pneu, N°79 – Mar. 2013 – ABR Associação Brasileira do Segmento de Reforma de Pneus. Disponível em: http://www.abr.org.br/downloads/pdfs/PNEWS_79.pdf

Sindicato Nacional da Indústria de Pneumáticos, Câmaras de Ar e Camelback – SINPEC, Brasil, Data Desconhecida. História do pneu. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/sinpec/sobre-o-sinpec/historia-do-pneu/>. Acesso em: 16 jul. 2018.

Portal São Francisco, Brasil, Data Desconhecida. História do pneu. Disponível em: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/historia-do-brasil/historia-do-pneu/>. Acesso em: 16 jul. 2018.

Fonte: Pneus, História Origens do pneu, N°79 – Mar. 2013 – ABR Associação Brasileira do Segmento de Reforma de Pneus. Disponível em: http://www.abr.org.br/downloads/pdfs/PNEWS_79.pdf

Capítulo 3

Manual de Conceitos Básicos Sobre Pneus – Treinamento Técnico em Pneus e Serviços - Pirelli, Senai e Hofmann. Brasil, Data Desconhecida.

Fonte: Firestone - Pneus O Que Você Deve Saber, Brasil, Mar. 1980.

Capítulo 4

Livreto para profissionais do ramo de pneumáticos, Firestone - Pneus O Que Você Deve Saber, Brasil, Mar. 1980.

Capítulo 5

ALAPA, Brasil, 2011. Associação Latino Americana de Pneus e Aros - Manual de Normas Técnicas. Brasil, 2011.

MEU AUTOMÓVEL, Brasil, 30 set. 2013. Entenda como esse mecanismo atua em pisos molhados e curvas sinuosas. Quanto maior a largura do pneu, maior estabilidade; Disponível em: <https://www.terra.com.br/economia/carros-motos/meu-automovel/quanto-maior-a-largura-do-pneu-maior-estabilidade-entenda,d9d55f6f62013410VgnVCM10000098cceb0aRCRD.html>. Acesso em: 16 jul. 2018.

Rúnar Þórhallsson, Björgvin Islândia, 7 mai 2015. Automatic Control and User Interface for Central Tire Inflation System; Disponível em: <https://skemman.is/bitstream/1946/22319/1/MSc.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2018.

Fogaça Jennifer Rocha Islândia, 7 mai 2015. Automatic Control and User Interface for Central Tire Inflation System; Disponível em: <https://skemman.is/bitstream/1946/22319/1/MSc.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2018.

ÞÓRHALLSSON, B.R Automatic Control and User Interface for Central Tire Inflation System .7. May 2015. Thesis of 30 ETCS credits Master of Science in Electrical Engineering - Reykjavík University, Reykjavík, Islândia, 2015.

Capítulo 6

CONTINENTAL PNEUS – ContiPressureCheck. Disponível em: <https://www.continental-pneus.pt/pesados/produtos/visao-geral-linhas-produtos/cpc>. Acesso em: 17 jul. 2018.

9. APÊNCIDE A – Código do Sistema em Linguagem C

```

#include <16F877.h>
#define ADC=10
#include <stdlib.h>
#define delay(clock=20000000)
#define fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP, NOBROWNOUT, PUT
#define (__PCH__)
#include <personalpic1.h>

int const line1 = 0x80; //128
int const line2 = 0xC0; //192
int const line3 = 0x94; //148
int const line4 = 0xD4; //212
int i;
int16 p;
int16 temperatura;
int16 pressao;
int16 peso;

float le_pressao(int porta) // Rotina para ler a pressao
{
float volt, valor_ad0, press;
setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
set_adc_channel(0);
delay_ms(1);
valor_ad0 = read_adc();
volt = (4.5 * valor_ad0 + 199.9) / 1023; //FAZ A CONVERSÃO DA LEITURA
A/D 10 BITS
press = (101.5 * volt - 20.3) / 4.5; //FAZ A CONVERSÃO DA VOLTAGEM DO
A/D EM PRESSAO
setup_adc(ADC_OFF);
return (press);
}
float le_peso(int porta) // Rotina para ler o peso
{
float sens, valor_ad1, pes;
setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
set_adc_channel(1);
delay_ms(1);
valor_ad1 = read_adc();
sens = valor_ad1 / 1023; //FAZ A CONVERSÃO DA LEITURA A/D 10 BITS
pes = (2500 * sens); //FAZ A CONVERSAO DA TENSÃO DO A/D EM PRESO
setup_adc(ADC_OFF);
return (pes);
}

```

```

}
float le_temperatura(int porta) // Rotina para ler a temperatura
{
float volt, valor_ad2, temp;
setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
set_adc_channel(2);
delay_ms(1);
valor_ad2 = read_adc();
volt = (4.5 * valor_ad2 + 199.9) / 1023; //FAZ A CONVERSAO DA LEITURA
A/D 10 BITS
temp = (100.5 * volt - 20.3) / 4.5; //FAZ A CONVERSAO DA VOLTAGEM DO
A/D EM PRESSAO
setup_adc(ADC_OFF);
return (temp);
}
void main() //Rotina principal
{
setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
setup_timer_0 (RTCC_DIV_64|RTCC_INTERNAL ); // irá incrementar timer a
cada 256 tempos de ciclo internos.
// o tempo será de 256 x 4/clock x 256. Para
20Mhz será 0,0131072 segundos
enable_interrupts(GLOBAL);
enable_interrupts(INT_TIMER0);
while (true)
{
pressao = le_pressao(0);
peso = le_peso(0);
temperatura = le_temperatura(0);
delay_ms(50);
if (peso>300)
{
printf(lcd_putc, "\f: %lu Psi",pressao);
printf(lcd_putc, "\: %lu Psi",p);
printf(lcd_putc, "\n%lu Kg - ",peso);
printf(lcd_putc, "%lu oC",temperatura);
output_low(pin_e0);
}
else
{
printf(lcd_putc, "\fVoce Capotou");
output_high(pin_e0);
}
}

```

```
if (peso>301&&peso<=700)
{
i=1;
}
if (peso>701&&peso<=1100)
{
i=2;
}
if (peso>1001&&peso<=1300)
{
i=3;
}
if (peso>1301&&peso<=1500)
{
i=4;
}
if (peso>1501&&peso<=1700)
{
i=5;
}
if (peso>1701&&peso<=1900)
{
i=6;
}
if (peso>1901&&peso<=2200)
{
i=7;
}
if (peso>2201&&peso<=2500)
{
i=8;
}
switch (i)
{
case 1: // CASO posicao = 1 ....
{
output_c(0);
p= (22 + (((temperatura * 1.8) + 32) * 0.08)); // Calcula a pressao ideal
if (pressao<p)
{
output_high(pin_c0);
i=0;
}
if (pressao>p)
{
output_high(pin_c7);
```

```
i=0;
}
if (pressao==p)
{
output_c(0);
i=0;
}
break; // sai do CASE.
}

case 2: // CASO posicao = 2 ....
{
output_c(0);
p= (24 + (((temperatura * 1.8) + 32) * 0.085)); // Calcula a pressao ideal
if (pressao<p)
{
output_high(pin_c0);
i=0;
}
if (pressao>p)
{
output_high(pin_c7);
i=0;
}
if (pressao==p)
{
output_c(0);
i=0;
}
break; // sai do CASE.
}

case 3: // CASO posicao = 3 ....
{
output_c(0);
p= (26 + (((temperatura * 1.8) + 32) * 0.0875)); // Calcula a pressao ideal
if (pressao<p)
{
output_high(pin_c0);
i=0;
}
if (pressao>p)
{
output_high(pin_c7);
i=0;
}
}
```

```

if (pressao==p)
{
output_c(0);
i=0;
}
break; // sai do CASE.
}

```

```

case 4: // CASO posicao = 4 ....
{
output_c(0);
p= (28 + (((temperatura * 1.8) + 32) * 0.09)); // Calcula a pressão ideal
if (pressao<p)
{
output_high(pin_c0);
i=0;
}
if (pressao>p)
{
output_high(pin_c7);
i=0;
}
if (pressao==p)
{
output_c(0);
i=0;
}
break; // sai do CASE.
}

```

```

case 5: // CASO posicao = 5 ....
{
output_c(0);
p= (29.5 + (((temperatura * 1.8) + 32) * 0.0975)); // Calcula a pressão ideal
if (pressao<p)
{
output_high(pin_c0);
i=0;
}
if (pressao>p)
{
output_high(pin_c7);
i=0;
}
if (pressao==p)
{

```

```
output_c(0);
i=0;
}
break; // sai do CASE.
}

case 6: // CASO posicao = 6 ....
{
output_c(0);
p= (31.5 + (((temperatura * 1.8) + 32) * 0.1)); // Calcula a pressao ideal
if (pressao<p)
{
output_high(pin_c0);
i=0;
}
if (pressao>p)
{
output_high(pin_c7);
i=0;
}
if (pressao==p)
{
output_c(0);
i=0;
}
break; // sai do CASE.
}

case 7: // CASO posicao = 7 ....
{
output_c(0);
p= (33 + (((temperatura * 1.8) + 32) * 0.105)); // Calcula a pressao ideal
if (pressao<p)
{
output_high(pin_c0);
i=0;
}
if (pressao>p)
{
output_high(pin_c7);
i=0;
}
if (pressao==p)
{
output_c(0);
i=0;
}
```

```
}
break; // sai do CASE.
}

case 8: // CASO posicao = 8 ....
{
output_c(0);
p= (34.5 + (((temperatura * 1.8) + 32) * 0.1045)); // Calcula a pressao ideal
if (pressao<p)
{
output_high(pin_c0);
i=0;
}
if (pressao>p)
{
output_high(pin_c7);
i=0;
}
if (pressao==p)
{
output_c(0);
i=0;
}
break; // sai do CASE.
}
default: // CASO posicao NAO seja 1, 2, 3 ou 4,
{ // executa este bloco peso = 0; break;
output_c(0);
}
}
}
}
```

10. Referencias das Ilustrações.

- Figura 1 Sistema Central de Calibragem de Pneus.
<https://s.hswstatic.com/gif/self-inflating-tire-10.gif>, acessado em 05/07/2018 às 19h10min.
- Figura 2 Foto de uma típica fábrica de pneus no início do século XX.
http://www.abr.org.br/downloads/pdfs/PNEWS_79.pdf, acessado em 04/07/2018 às 19h15min.
- Figura 3 Foto a evolução dos pneus.
Fonte: <https://i1.wp.com/blog.srpneus.com.br/wp-content/uploads/A-evolucao-da-tecnologia-dos-pneus.jpg?resize=1280%2C280>, autor: desconhecido, acessado em 03/07/2018 às 19h30min.
- Figura 4 Partes do pneu.
http://3.bp.blogspot.com/_czg7pXREd68/S-m7FKjHDVI/AAAAAAAAA54/ykQutwvKq2Y/s1600/pneu.jpg, acessado em 07/07/2018 às 20h00min.
- Figura 5 Banda de Rodagem.
<http://rodoautopneus.com.br/wp-content/uploads/2014/05/partes-do-pneu-1-604x254.jpg>, acessado em 04/07/2018 às 19h00min.
- Figura 6 Flanco do pneu.
<http://rodoautopneus.com.br/wp-content/uploads/2014/05/partes-do-pneu-2-604x253.jpg>, acessado em 05/07/2018 às 21h10min.
- Figura 7 Talões.
<http://rodoautopneus.com.br/wp-content/uploads/2014/05/partes-do-pneu-3-604x252.jpg>, acessado em 03/07/2018 às 19h25min.
- Figura 8 Carcaça do pneu.
<http://rodoautopneus.com.br/wp-content/uploads/2014/05/partes-do-pneu-4.jpg>, acessado em 03/07/2018 às 20h10min.

- Figura 9 Cintas estabilizadoras.
<http://rodoautopneus.com.br/wp-content/uploads/2014/05/partes-do-pneu-5-604x251.jpg>, acessado em 03/07/2018 às 18h05min.
- Figura 10 Desgastes dos pneus.
<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=4BigrYO1&id=3C1ED9AB142A04FBB7378110B7A77F9E3E6FAC21&thid=OIP.4BigrYO1zA-6VtTu-fb-MAHaDJ&mediaurl=https%3a%2f%2fwww.jornalatal.pt%2fwp-content%2fuploads%2f2017%2f09%2fImagem1.png&exph=377&expw=886&q=pneu+com+press%c3%a3o+&simid=607986587827110460&selectedIndex=0>, acessado em 05/07/2018 às 14h00min.
- Figura 11 Representação das forças de atrito que são exercidas em um pneumático e na pista de rolamento.
<http://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Pneus.pdf>, acessado em 06/07/2018 às 18h10min.
- Figura 12 Tração.
FIRESTONE - PNEUS O QUE VOCÊ DEVE SABER, consultado em 05/07/2018 às 19h10min.
- Figura 13 Força centrífuga.
<https://image.slidesharecdn.com/foracentrifuga2c-100811185946-phpapp02/95/fora-centrifuga-2-c-4-728.jpg?cb=1281553219>, acessado em 05/07/2018 às 14h10min.
- Figura 14 Lei de Boyle para gases isotérmicos.
<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/upload/conteudo/images/pressao-e-volume.jpg>, acessado em 05/07/2018 às 16h35min.
- Figura 15 Gráfico de transformação isocórica.
<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/upload/conteudo/images/pressao-e-volume.jpg>, acessado em 05/07/2018 às 11h20min.

- Figura 16 Carro em alta velocidade.
<https://dinamicarpneus.com.br/wp-content/uploads/2018/04/detalhe-pneu-velocidade-862x245.jpg>, acessado em 05/07/2018 às 12h05min.
- Figura 17 Pressão de trabalho.
https://www.lamatracamagazine.com/wp-content/uploads/00294495_hd_43441.jpg, acessado em 04/07/2018 às 11h00min.
- Figura 18 Diagrama em blocos do Sistema Automático de Calibração dos Pneus com entradas e saídas.
Os autores, local de trabalho, tirada em 04/07/2018 às 15h00min.
- Figura 19 Sensor de Pressão e Temperatura (Volkswagen e Audi).
TPMS System Description and Functional Overview, acessado em 05/07/2018 às 12h30min.
- Figura 20 Sensor de Pressão e Temperatura (Continental).
<https://www.continental-automotive.com/en-gl/Passenger-Cars/Interior/Comfort-Security/Tire-Information-Systems/Metal-Valve-Sensor>, acessado em 04/07/2018 às 18h10min.
- Figura 21 Sensor de Carga (GNON DP position sensor).
<http://wagencontrol.eu/wp-content/uploads/2015/12/DP.png>, acessado em 04/07/2018 às 17h20min.
- Figura 22 Sensor de Carga (GNON DP pressure sensor).
<http://wagencontrol.eu/wp-content/uploads/2015/12/DP.png>, acessado em 05/07/2018 às 14h00min.
- Figura 23 Sensor de peso do assento
http://www.mcx5.org/passenger_sensing_system_two_step_deployment_control_system_-1294.html, acessado em 04/07/2018 às 16h15min.

- Figura 24 Sensor de peso do veículo (Continental)
<https://newatlas.com/continental-load-detecting-tire/26496/>,
acessado em 05/07/2018 às 10h00min.
- Figura 25 Esquema de montagem do sistema (Pneu 225/40-18)
Os Autores, criado em 05/07/2018 às 14h45min.
- Figura 26 Mangueira de ligação a válvula do pneu.
<http://www.donbur.co.uk/gb-en/images/uploads/psi-tyre-auto-inflation.jpg>,
acessado em 05/07/2018 às 19h00min.
- Figura 27 Leds de simulação de compressor e válvula.
Os Autores, tirada em 05/07/2018 às 11h30min.
- Figura 28 Estação de simulação.
Os Autores, tirada em 05/07/2018 às 12h00min.
- Figura 29 Diagrama elétrico da interface de simulação.
Os Autores, tirada em 05/07/2018 às 14h10min.
- Figura 30 Diagrama elétrico da interface de simulação dos sensores.
Os Autores, tirada em 05/07/2018 às 16h00min.
- Figura 31 Gráfico Pressão por Temperatura (Pneu 225/40-18)
<https://www.arden.org/misc/pressure.html>,
acessado em 05/07/2018 às 17h50min.
- Figura 32 Identificação das grandezas no simulador do sistema,
Os Autores, acessado em 05/07/2018 às 14h20min.
- Figura 33 Simulação do sistema com baixa pressão nos pneus.
Os Autores, tirada em 05/07/2018 às 12h00min.
- Figura 34 Simulação do sistema com alta pressão nos pneus.
Os Autores, tirada em 05/07/2018 às 12h05min.

- Figura 35 Simulação do sistema com a pressão correta nos pneus.
Os Autores, tirada em 05/07/2018 às 12h10min.
- Figura 36 Simulação do sistema com excesso de peso no veículo.
Os Autores, tirada em 05/07/2018 às 12h15min.
- Figura 37 Fluxograma do algoritmo do projeto.
Os Autores, tirada em 07/07/2018 às 21h20min.
- Figura 38 Fluxograma do algoritmo do projeto.
Os Autores, tirada em 07/07/2018 às 21h20min.
- Figura 39 Fluxograma do algoritmo do projeto.
Os Autores, tirada em 07/07/2018 às 21h20min.
- Figura 40 Fluxograma do algoritmo do projeto.
Os Autores, tirada em 07/07/2018 às 21h20min.
- Figura 41 Fluxograma do algoritmo do projeto.
Os Autores, tirada em 07/07/2018 às 21h20min.
- Figura 42 Fluxograma do algoritmo do projeto.
Os Autores, tirada em 07/07/2018 às 21h20min.
- Figura 43 Fluxograma do algoritmo do projeto.
Os Autores, tirada em 07/07/2018 às 21h20min.
- Figura 44 Fluxograma do algoritmo do projeto.
Os Autores, tirada em 07/07/2018 às 21h20min.
- Figura 45 Fluxograma do algoritmo do projeto.
Os Autores, tirada em 07/07/2018 às 21h20min.

Figura 46 Fluxograma do algoritmo do projeto.
Os Autores, tirada em 07/07/2018 às 21h20min.

Figura 47 Fluxograma do algoritmo do projeto.
Os Autores, tirada em 07/07/2018 às 21h20min.

11. Referencias da Lista de Quadros

Quadro 1 Índice de Carga.

http://www.pneulowcost.com/assets/Tabela___ndices_Carga.jpg),
acessado em 15/07/2018 às 18h00min.

Quadro 2 Indicadores de velocidade suportadas pelos pneus (a).

ALAPA MANUAL DE NORMAS TÉCNICAS 2011, consultado em
14/07/2018 às 11h00min.

Quadro 3 Indicadores de velocidade suportadas pelos pneus (b).

ALAPA MANUAL DE NORMAS TÉCNICAS 2011, acessado em
14/07/2018 às 11h00min.

Quadro 4 Relação de dispositivo e cor para simulação.

Os Autores, criado em 14/07/2018 às 13h00min.