

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

BRUNO IVAN SCARIOT

**PROJETO DE LIMITADOR ELETROMAGNÉTICO PARA PORTA AUTOMOTIVA
COM SENSORIAMENTO ANTICOLISÃO**

CAXIAS DO SUL

2019

BRUNO IVAN SCARIOT

**PROJETO DE LIMITADOR ELETROMAGNÉTICO PARA PORTA AUTOMOTIVA
COM SENSORIAMENTO ANTICOLISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Automotiva da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Orientador Prof. Me. Ricardo Leal Costi

CAXIAS DO SUL

2019

BRUNO IVAN SCARIOT

**PROJETO DE LIMITADOR ELETROMAGNÉTICO PARA PORTA AUTOMOTIVA
COM SENSORIAMENTO ANTICOLISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Automotiva da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Aprovado em

Banca Examinadora

Prof. Me. Ricardo Leal Costi
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Adelair Lino Colombo
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Francisco Catelli
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Dedico esse trabalho à minha família, que sempre esteve no meu lado e nunca mediram esforços para me ajudar. Pai e Mãe, vocês são meus exemplos de vida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais por sempre estarem no meu lado me guiando, orientando e proporcionando experiências que contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional. A toda minha família pelo apoio durante essa caminhada.

Aos professores pelo aprendizado e amizade durante as aulas. Ao meu orientador pelo auxílio e dedicação durante o desenvolvimento desse trabalho.

A Universidade de Caxias do Sul por proporcionar uma estrutura completa de ensino, com ambientes que estimulam o aprendizado e o conhecimento.

A todos que de alguma maneira auxiliaram no desenvolvimento desse trabalho e o tornaram possível.

RESUMO

Com o objetivo de auxiliar na construção de um trânsito seguro e criar facilidades no embarque e desembarque de um automóvel, o atual trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de limitador eletromagnético para porta automotivo que interage com sensores localizados na lateral e traseira do automóvel. Tal sistema detecta corpos em movimento que estão se aproximando da área de abertura da porta ou corpos estáticos que estão dentro da área de abertura. O limitador eletromagnético bloqueia a abertura da porta e evita acidentes durante a passagem de bicicletas, motocicletas e demais veículos, como também, evita colisões com veículos estacionados, postes, lixeiras ou paredes. Os resultados obtidos mostram que um sensor de ultrassom é o mais indicado para o sistema, além da utilização de uma bobina no limitador criar uma força de resistência à abertura. Para os valores de forças mensurados, o atuador realiza o bloqueio, mas para criar uma resistência perceptível para os ocupantes deve-se realizar alterações no atuador, seja elas de tamanho, número de espiras e corrente aplicada. Trabalhos futuros visam maximizar a força do atuador e desenvolver uma haste específica para o limitador eletromagnético, otimizando o trabalho do conjunto.

Palavras-chave: segurança ativa, limitador eletromagnético, sensoriamento, anticolisão

ABSTRACT

With the objective of assisting in the construction of a safe transit and creating facilities in the embarkation and disembarkation of an automobile, the current work presents the development of a prototype of electromagnetic check link for the automotive door that interacts with sensors located on the side and rear of the car. Such a system detects moving bodies that are approaching the opening area of the door or static bodies that are within the opening area. The electromagnetic check link blocks the opening of the door and prevents accidents during the passage of bicycles, motorcycles and other vehicles, as well as avoids collisions with parked vehicles, poles, dumps or walls. The results show that an ultrasound sensor is the most suitable for the system, besides the use of a coil in the check link creates an opening resistance force. For the measured force values, the actuator performs the lockout, but to create a noticeable resistance for the occupants one must make changes to the actuator, be it size, number of turns and applied current. Future work aims to maximize actuator strength and develop a specific rod for the electromagnetic check link, optimizing the work of the assembly.

Keywords: active safety, electromagnetic check link, sensing, anticollision

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Frota de veículos em circulação no Brasil	16
Figura 2 - Abertura imprudente da porta	18
Figura 3 - Colisão porta com obstáculo no estacionamento	18
Figura 4 - Ponto cego.....	19
Figura 5 - Funcionamento sensor	21
Figura 6 - Comparação sinal analógico e digital	22
Figura 7 - Funcionamento sensor ultrassônico	23
Figura 8 - Zona morta.....	23
Figura 9 - Sensor indutivo	24
Figura 10 - Funcionamento sensor indutivo	25
Figura 11 - Estrutura sensor capacitivo	25
Figura 12 - Diagrama de blocos sensor capacitivo	26
Figura 13 - Sensor óptico por retroreflexão.....	27
Figura 14 - Sensor óptico por transmissão	28
Figura 15 - Sensor óptico por reflexão difusa	28
Figura 16 - Sensor a laser	28
Figura 17 - Microcontrolador	29
Figura 18 - Microcontroladores em um automóvel	30
Figura 19 - Campo magnético de uma bobina.....	32
Figura 20 - Área e distância de trabalho do entreferro	33
Figura 21 - Limitador de porta automotiva	33
Figura 22 - Componentes de um limitador de porta.....	34
Figura 23 - Posição de instalação limitador.....	34
Figura 24 - Curva característica do limitador	35
Figura 25 – Movimento dos pinos deslizantes pela haste	35
Figura 26 - Forças maçanetas externa e na haste do limitador	36
Figura 27 - Dobradiças	37
Figura 28 - Momento de inércia porta	37
Figura 29 - Fluxograma	38
Figura 30 – Arduino Mega 2560	39
Figura 31 - Funcionamento do sistema.....	39
Figura 32 - Posicionamento sensor traseiro.....	41

Figura 33 - Posicionamento sensor lateral.....	41
Figura 34 - Posicionamento sensor interno na porta	42
Figura 35 – Utilização do sensor na parte interna da porta	42
Figura 36 - Distância de medição sensor traseiro.....	43
Figura 37 - Distância medição sensor lateral.....	44
Figura 38 - Dimensão máxima guidão de motocicleta.....	45
Figura 39 - Distância de bloqueio da porta para objetos estáticos	45
Figura 40 - Sensores JSN-SR04T e HC-SR04	46
Figura 41 - Teste tempo de medição sensores	47
Figura 42 - Teste área medição sensores	48
Figura 43 - Movimentos chapas	48
Figura 44 - Sistema teste sensores.....	49
Figura 45 - Sinais visuais.....	49
Figura 46 - Local de visualização dos sinais visuais	50
Figura 47 - <i>Display</i> LCD ST7735 128X160PX	50
Figura 48 - <i>Buzzer</i>	51
Figura 49 - Instalação da bobina.....	52
Figura 50 - Corte lateral automóvel.....	53
Figura 51 - Limitador de porta Ford Ka 1999	53
Figura 52 - Componentes do limitador Ford Ka 1999.....	54
Figura 53 - Estrutura fixação porta.....	54
Figura 54 - Seção lateral fixada na estrutura projetada	55
Figura 55 - Dinamômetro	55
Figura 56 - Ponto aplicação força.....	56
Figura 57 - Dimensões de instalação do atuador.....	58
Figura 58 - Projeto bobina	59
Figura 59 - DMB 1005 CNC	60
Figura 60 - Teste tempo de medição sensores	61
Figura 61 - Teste área de medição.....	63
Figura 62 – Resultado área de medição dos sensores.....	63
Figura 63- Instalação sensor porta.....	64
Figura 64 - Instalação sensor traseira	64
Figura 65 - Instalação sensor parte interna da porta.....	65
Figura 66 - Instalação <i>display</i>	65

Figura 67 - Teste força de abertura.....	66
Figura 68 - Bobina desenvolvida.....	67
Figura 69 - Implementação bobina no limitador	67
Figura 70 - Teste força bobina na haste em kgf	68
Figura 71 - Força teórica x experimental.....	68
Figura 72 - Esquema elétrico do sistema.....	69
Figura 73 - Instalação do limitador eletromagnético na porta.....	70
Figura 74 - Força de abertura com o atuador em kgf	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo dos sensores de proximidade	40
Quadro 2 – Comparativo dos tipos de atuadores	51
Quadro 3 - Dimensões e características da porta.....	58
Quadro 4 - Resultados tempos de medições sensores	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação sensor capacitivo e indutivo	26
Tabela 2 - Fios AWG.....	60
Tabela 3 - Resultados teste tempo de medição sensores	62
Tabela 4 - Resultados força aplicada pelos ocupantes na porta	66
Tabela 5 – Componentes e valores do sistema	71

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área (m ²)
b	Largura entreferro (m)
c	Velocidade do som no ar (m/s)
d	Distância (m)
dc	Distância entre o centro de gravidade da porta e as dobradiças (m)
dh	Compressão da mola devido à geometria da haste (m)
dp	Compressão da mola instalada (m)
Fb	Força da bobina (N)
Fl	Força do limitador (N)
Fh	Força de abertura (N)
g	Entreferro (m)
i	Corrente elétrica (A)
I_p	Momento de inércia da porta (kg.m ²)
I_c	Momento de inércia do centro de gravidade (kg.m ²)
K	Rigidez mola (N/m)
L	Distância ponto de abertura até as dobradiças (m)
L_2	Distância corpo do limitador até as dobradiças (m)
M	Massa da porta (kg)
N	Número de espiras
t	Tempo de medição (s)
tp	Tempo de pulso (s)
y	Comprimento entreferro (m)
V	Velocidade do automóvel (m/s)
μ	Coeficiente de atrito
μ_0	Coeficiente de permeabilidade (henry/metro)
θ	Ângulo geometria limitador (°)
δ	Ângulo força limitador (°)
Υ	Ângulo força bobina (°)

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	<i>Anti-lock Braking System</i>
AWG	<i>American Wire Gauge</i>
CONTRAM	Conselho Nacional de Trânsito
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
ESC	<i>Electronic Stability Control</i>
ESS	<i>Emergency Stop Signal</i>
IBPT	Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LKA	<i>Lane keeping assist</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
RAM	<i>Random Access Memory</i>

SUMÁRIO

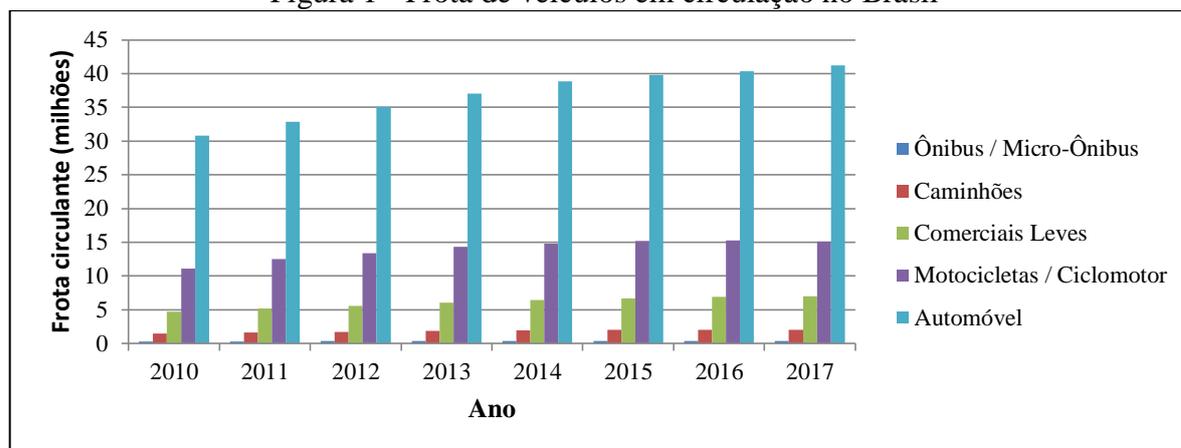
1.	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	JUSTIFICATIVA	17
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivo geral.....	19
1.2.2	Objetivos específicos	20
1.3	ABORDAGEM E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	20
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	SENSORES DE PROXIMIDADE	21
2.1.1	Sensores ultrassons	22
2.1.2	Sensores indutivos.....	24
2.1.3	Sensores capacitivos.....	25
2.1.4	Sensores ópticos.....	27
2.2	MICROCONTROLADORES	29
2.3	ATUADORES	30
2.3.1	Atuadores mecânicos	30
2.3.2	Atuadores hidráulicos e pneumáticos	30
2.3.3	Atuadores Magnéticos	31
2.4	LIMITADOR DE PORTA AUTOMOTIVA	33
2.5	DOBRADIÇAS	37
3.	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	38
3.1	SENSORIAMENTO.....	40
3.1.1	Posicionamento dos sensores.....	40
3.1.2	Faixas de medições.....	43
3.1.3	Modelos de sensores ultrassom.....	45
3.1.4	Teste dos sensores	46
3.2	ALERTAS VISUAIS.....	49
3.3	ALERTAS SONOROS.....	50
3.4	ATUADOR.....	51
3.4.1	Posicionamento da bobina no limitador	52
3.5	MODELO DE PORTA UTILIZADO	52
3.5.1	Estrutura fixação porta	54

3.6	FORÇA DE ABERTURA DA PORTA	55
3.7	DESENVOLVIMENTO DA BOBINA.....	56
4.	RESULTADOS	61
4.1	COMPARATIVO DOS SENSORES	61
4.2	ALERTAS VISUAIS.....	65
4.3	DESENVOLVIMENTO DO ATUADOR.....	66
4.4	ENSAIOS DO LIMITADOR ELETROMAGNÉTICO	68
4.5	ESQUEMA ELÉTRICO DO SISTEMA.....	69
4.6	TESTES DO LIMITADOR NA PORTA	70
4.7	CUSTO DO SISTEMA	71
5.	CONCLUSÃO.....	72
5.1	TRABALHOS FUTUROS	72
5.2	PATENTE.....	73
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação, IBPT (2018), o número de automóveis em circulação no Brasil é maior que 41,2 milhões, correspondendo à 62,65% de toda a frota de veículos no país. Conforme a Figura 1, esse número vem crescendo a cada ano.

Figura 1 - Frota de veículos em circulação no Brasil



Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação (2018).

Com o crescimento constante da frota de veículos durante os anos, o número de acidentes também aumentou, forçando as autoridades adotarem ações para reduzir esse número. A criação da lei seca em 2008 vem tornando-se cada vez mais rígida e colaborando com a redução do número de acidentes, o motorista que conduz um veículo embriagado tem seus reflexos e coordenação motora prejudicados, aumentando a possibilidade de provocar um acidente de trânsito. Em 2011 a Organização das Nações Unidas (ONU) deu início à Década de Ação pela Segurança no Trânsito, 2011 a 2020, na qual, governos de todo o mundo se comprometeram a tomar medidas para prevenir acidentes no trânsito, tendo como meta, a redução de 50% do número de acidentes até 2020. A Organização Mundial da Saúde (OMS) está monitorando o progresso nacional e internacional, além de coordenar os esforços globais durante o período (RESOLUÇÃO A/64/L44 ONU, 2010). O Brasil propôs o Pacto Nacional pela Redução de Acidentes que é composto por ações de melhorias na infraestrutura viária, educação, saúde, fiscalização e segurança veicular, visando atingir a meta imposta de redução dos acidentes de trânsito (PARADA, 2012).

Com o objetivo de reduzir o número de acidentes e lesões aos ocupantes, o desenvolvimento e implementação de sistemas de segurança veicular vem ganhando mais

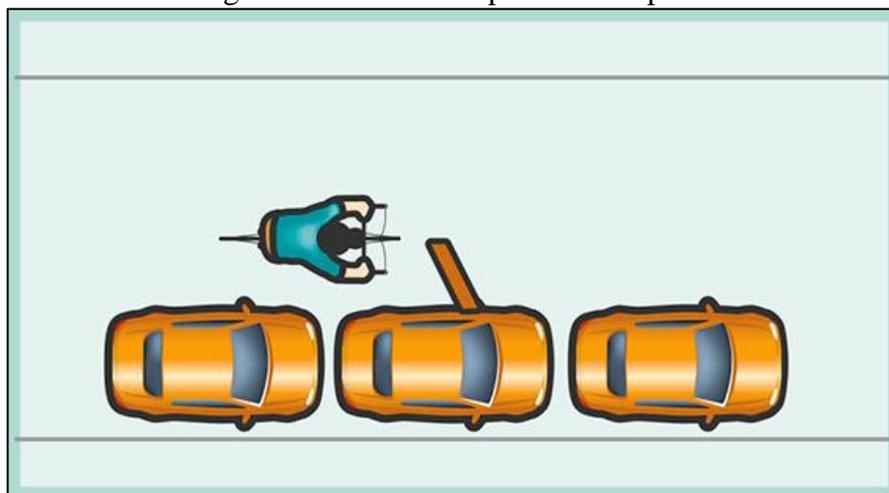
incentivo, seja de segurança ativa ou passiva. Os sistemas de segurança ativa têm como objetivo prevenir acidentes e auxiliar o motorista durante a condução do veículo, como por exemplo, o sistema antibloqueio de freios (ABS), o controle eletrônico de estabilidade (ESC) e o assistente de permanência de faixa (LKA). Já os sistemas de segurança passiva minimizam os danos aos ocupantes do veículo durante uma colisão, como os *airbags* e o cinto de segurança (BOSCH 2005). Alguns itens já são de uso obrigatório no Brasil como os *airbags* frontais e o ABS, outros itens estão sendo implementados e se tornaram obrigatórios, como o ISOFIX, padrão internacional para fixação de cadeirinhas infantis, cinto de três pontos para todos os ocupantes, encosto de cabeça central, controle de estabilidade, indicação de frenagem de emergência (ESS) e luzes diurnas (RESOLUÇÃO 717 CONTRAN, 2017).

Com a meta de ajudar na segurança no trânsito e ao mesmo tempo criar facilidades para os ocupantes, o presente trabalho propôs o desenvolvimento de um dispositivo limitador para abertura de porta automotiva, que recebe sinais captados por sensores localizados nas laterais e traseira do automóvel. O dispositivo limitador atua sempre que o automóvel estiver estacionado e os sensores identificarem que há obstáculos se aproximando ou dentro da área de abertura das portas, realizando o travamento das portas, auxiliando os ocupantes do automóvel a embarcar e desembarcar com facilidade e segurança, evitando acidentes. Os sensores também auxiliam o motorista durante a condução do automóvel através da identificação de veículos que entrarem no ponto cego dos retrovisores, ajudando durante as trocas de faixas na pista.

1.1 JUSTIFICATIVA

A abertura imprudente das portas do automóvel, principalmente em ruas onde há maior fluxo de veículos, podem gerar graves acidentes, devido sua colisão com motoqueiros, ciclistas e demais veículos. O artigo 49 do Código de Trânsito Brasileiro (CTB), determina que o condutor e os passageiros não deverão abrir a porta do veículo sem antes certificarem de que isso não constitui perigo para eles e para outros usuários na via, sendo de responsabilidade dos mesmos qualquer incidente provocado. Não é prudente deixar tal responsabilidade sobre os ocupantes, por isso tecnologias como a do presente trabalho, que evita a abertura da porta quando há veículos se aproximando da sua área de abertura, estão sendo apresentadas ao mercado automotivo, com o objetivo de contribuir na segurança do trânsito. A Figura 2 exemplifica a abertura imprudente da porta.

Figura 2 - Abertura imprudente da porta



Fonte: Revista Bicicleta (2015).

Com o elevado número de veículos em circulação, há também lotação nos estacionamentos, dificultando a abertura das portas do automóvel em lugares apertados sem que haja colisão com outros obstáculos parados, sejam eles veículos, postes, lixeiras, hidrantes, paredes, entre outros. Situações como na Figura 3 causam danos em ambos os veículos, gerando gastos para o reparo, seja em pintura ou lanternagem, além de possíveis discussões com o proprietário do veículo vizinho. A implementação do dispositivo limitador evita tais situações e cria facilidades no embarque e desembarque dos ocupantes.

Figura 3 - Colisão porta com obstáculo no estacionamento

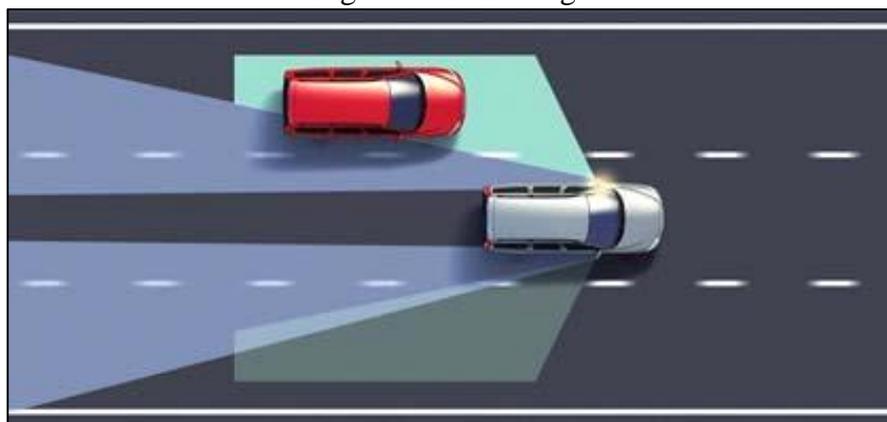


Fonte: Depositphotos (2018).

Os cuidados no trânsito são aplicados tanto para o automóvel estacionado quando em movimento. Durante a condução do automóvel o motorista deve estar atento a todas as eventualidades que podem ocorrer durante o percurso, como frenagens repentinas ou veículos

ultrapassando pela direita, à utilização dos espelhos retrovisores são de grande ajuda para a condução segura do automóvel, principalmente quando há necessidade de trocar de pista. Mesmo utilizando-os, ainda existem chances de ocorrer colisões com outros veículos devido ao ponto cego dos espelhos, que corresponde à área na qual não permite a visualização de outros veículos pelos espelhos retrovisores, possibilitando a geração de acidentes, a Figura 4 ilustra essa situação.

Figura 4 - Ponto cego



Fonte: Cruzeiro do Sul (2018).

O presente trabalho tem como proposta identificar veículos, através de sensores, que entrem no ponto cego e alertar o motorista através de sinais visuais e sonoros, auxiliando-o na condução do automóvel e minimizando as chances de ocorrer acidentes. Os sinais visuais e sonoros também serão emitidos quando o automóvel estiver parado e os sensores identificarem corpos se deslocando ou dentro da área de abertura da porta, informando os ocupantes do motivo do travamento da porta.

1.2 OBJETIVOS

Visando o planejamento do trabalho e delimitando um foco, os seguintes objetivos são apresentados.

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um dispositivo de segurança veicular que utiliza sensores e limitadores para abertura de portas automotiva, auxiliando na

segurança e facilidade durante o embarque e desembarque dos ocupantes, como também, durante a condução do veículo nas estradas, colaborando com a segurança no trânsito.

1.2.2 Objetivos específicos

Do objetivo geral derivam-se os específicos como sendo:

- a) pesquisar vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de sensores de proximidade;
- b) selecionar o tipo de sensor que melhor atende os requisitos para o desenvolvimento do trabalho, como também, o modelo;
- c) analisar tipos de atuadores para limitar a abertura da porta;
- d) definir o atuador que melhor atende os requisitos para o desenvolvimento do trabalho;
- e) implementar o atuador no limitador de porta automotivo.
- f) realizar experimentos do conjunto atuador/limitador;
- g) realizar testes do conjunto atuador/limitador em uma porta automotiva.

1.3 ABORDAGEM E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Como limitação, o tipo de sensor selecionado para o trabalho não foi desenvolvido, utilizou-se um sensor existente no mercado que cumpria com os requisitos estabelecidos, sendo desenvolvida a programação e comunicação do sensor com o atuador.

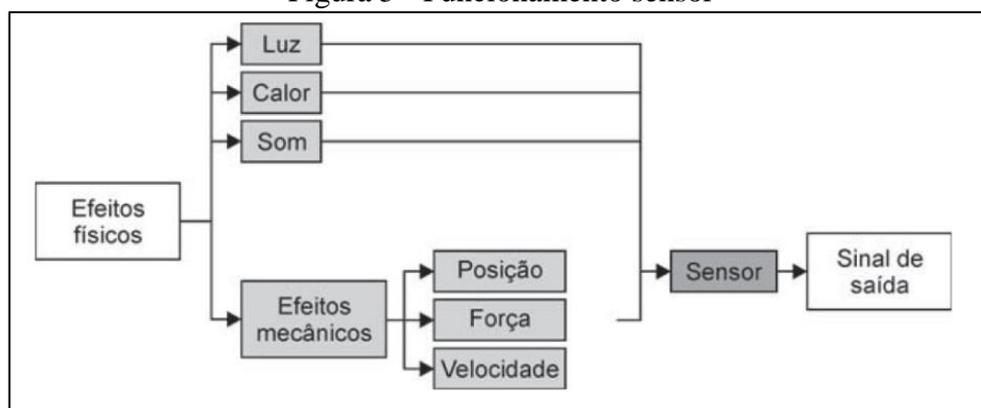
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica sobre os assuntos que são discutidos neste trabalho.

2.1 SENSORES DE PROXIMIDADE

Sensores são dispositivos que detectam grandezas físicas e as convertem em variáveis de sinais, tais grandezas podem ser luminosa, térmica ou cinética. Os mesmos podem ser chamados de transdutores devido à capacidade de transformar uma grandeza em outra, como sinais sonoros em sinais elétricos (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2011). A Figura 5 ilustra o funcionamento de um sensor.

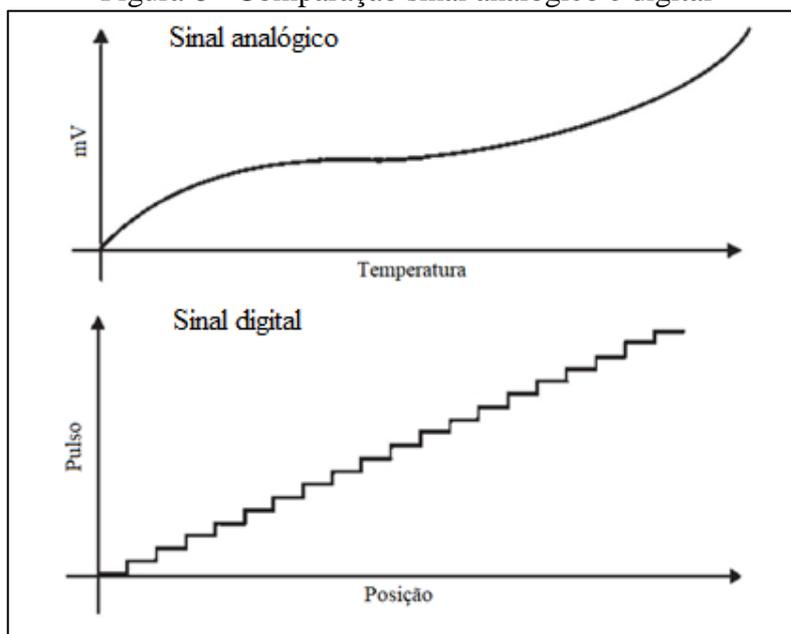
Figura 5 - Funcionamento sensor



Fonte: Thomazini e Alburquerque (2011).

Os sensores podem ser classificados em analógicos ou digitais em função da natureza do sinal de saída. Sinais analógicos podem assumir infinitos valores dentro de uma determinada faixa de operação, enquanto os sinais digitais podem assumir apenas dois valores, sendo eles 1 e 0. Sensores analógicos são mais comuns, sendo utilizados para medir grandezas que assumem diferentes valores ao longo do tempo, como temperatura, velocidade e força. Os sensores digitais apenas indicam se uma grandeza atingiu um valor predeterminado, pois naturalmente não existem grandezas físicas que assumem valores de 1 e 0, sendo utilizados em chaves de nível por exemplo. (THOMAZINI; ALBURQUERQUE, 2011). A Figura 6 mostra a comparação do sinal analógico para o digital.

Figura 6 - Comparação sinal analógico e digital



Fonte: Adaptado de Thomazini e Albuquerque (2011).

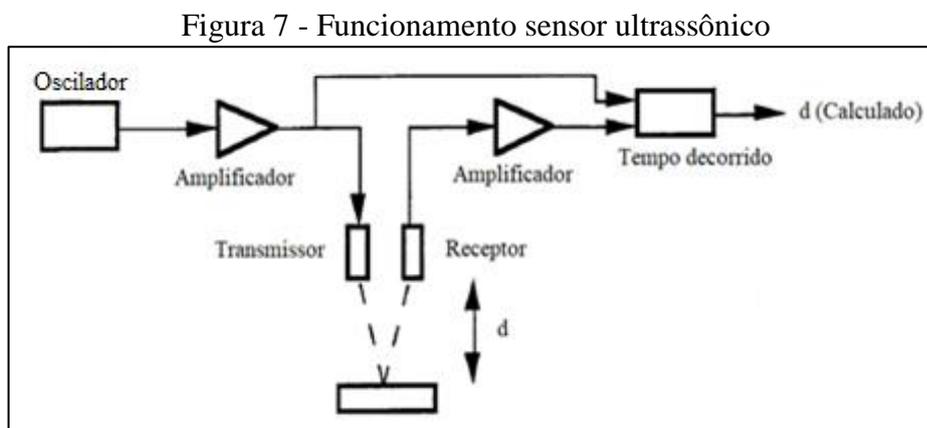
Os sensores também são classificados como ativos ou passivos. Um sensor é considerado ativo quando o mesmo emite energia em direção ao objetivo e realiza a medição a partir da parcela refletida, como por exemplo, um sensor indutivo que emite um campo magnético e através da perturbação do campo por um objeto realiza a medição, já um sensor passivo necessita de uma fonte de energia externa para realizar a medição, como os sensores termopar que realizam a medição conforme a variação de temperatura (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2010).

2.1.1 Sensores ultrassons

São sensores que utilizam frequências sonoras acima de 20000 Hz para medir e calcular a distância até um determinado objeto. Por utilizarem frequências sonoras, os mesmos conseguem detectar qualquer tipo de material que reflita as ondas emitidas. Para a determinação da distância do objeto até o sensor é utilizado o tempo que a onda sonora produzida leva para chegar até o objeto e ser refletida como eco até o sensor. A Equação 1 determina a distância, em metros, do sensor até o objeto, em que, c é a velocidade do som no ar em metros por segundo, t_p é o tempo do pulso ultrassônico em segundos, considerando ida e volta, sendo essas duas variáveis divididas por dois em função do percurso de ida e volta que uma onda acústica percorre, resultando na distância entre objeto e sensor (WEBSTER, 2000).

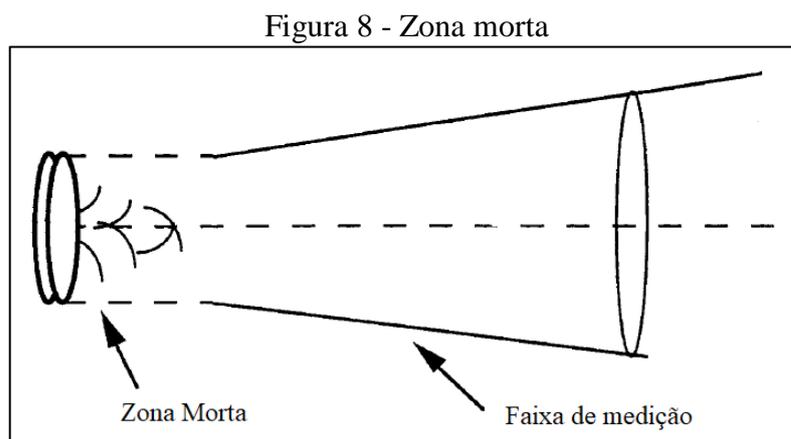
$$d = \frac{c \times tp}{2} \quad (1)$$

A Figura 7 ilustra o processo de medição de um sensor ultrassônico.



Fonte: Adaptado de Webster (2000).

A zona morta ou zona cega do sensor é uma região próxima ao transdutor que corresponde a um período de tempo logo após o momento de emissão, onde o transdutor, por inércia, continua vibrando depois da excitação. Durante estes instantes, o transdutor estará inoperante, impossibilitado de detectar o eco refletido por qualquer obstáculo (WEBSTER, 2000), a Figura 8 ilustra esse fenômeno.



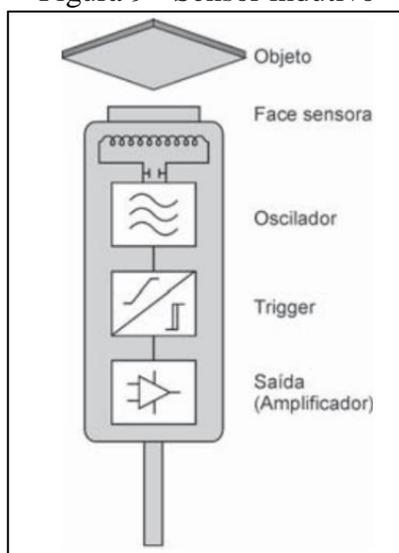
Fonte: Adaptado de Webster (2000).

Os sensores de ultrassom possuem muitas aplicações, diversas máquinas industriais frequentemente utilizam estes modelos de sensores para detectar a presença de um objeto em uma fábrica automatizada. Há modelos de sensores ultrassons que não sofrem interferência nas medições com a presença de água.

2.1.2 Sensores indutivos

São sensores utilizados para a detecção de objetos metálicos em pequenas distâncias. Tal detecção é realizada por um campo eletromagnético de alta frequência na extremidade da sonda, esse campo é gerado pela passagem de corrente elétrica através de uma bobina, quando o campo entra em contato com o objeto a ser medido, pequenas correntes elétricas são induzidas no material, reagindo ao campo da sonda e alterando a indutância total, possibilitando a medição (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2010). Um sensor de proximidade indutivo inclui um circuito oscilador LC, um comparador de sinal e um chaveador, conforme Figura 9 (THOMAZINI; ALBURQUERQUE, 2011).

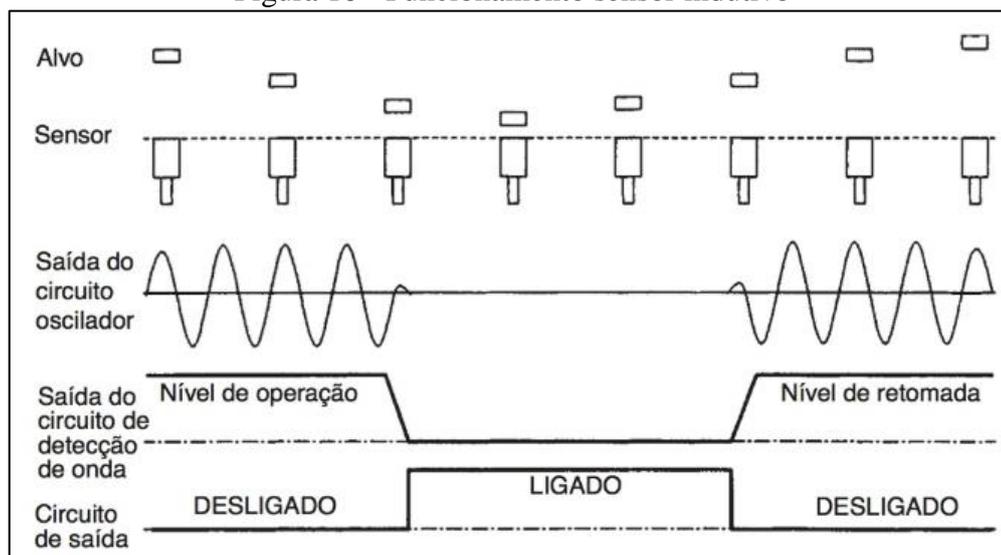
Figura 9 - Sensor indutivo



Fonte: Thomazini e Albuquerque (2011).

Quando um alvo metálico se aproxima e entra no campo, correntes parasitas são induzidas na superfície do alvo, isso resulta em uma redução da amplitude do sinal do oscilador. O circuito detector identifica a mudança na amplitude do oscilador e é ligado a uma amplitude específica de operação. Quando o alvo sai do campo de detecção, o oscilador responde com um aumento na amplitude. Conforme a amplitude aumenta acima de um valor específico, o circuito de detecção identifica e é desligado, fazendo com que o sinal de saída retorne ao estado normal (SOLOMAN, 2012). A Figura 9 ilustra seu funcionamento.

Figura 10 - Funcionamento sensor indutivo



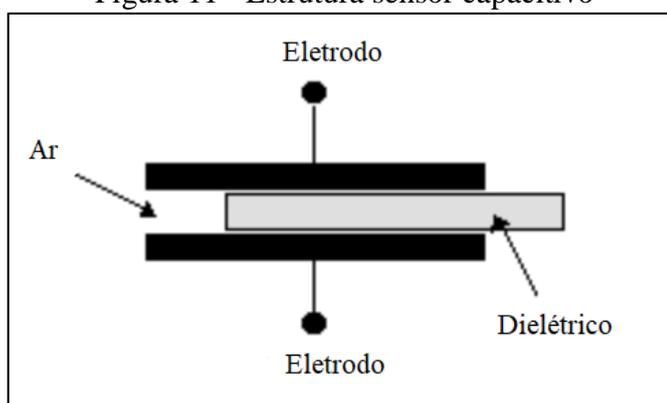
Fonte: Soloman (2010).

Apesar da pequena distância de detecção, os sensores indutivos apresentam ótima precisão e por consequência repetibilidade em medições. São sensores que podem trabalhar em ambientes hostis e em contato com líquidos (THOMAZINI; ALBURQUERQUE, 2011).

2.1.3 Sensores capacitivos

São sensores que detectam objetos através da variação de sua capacitância quando esses entram em seu campo elétrico. Um sensor ou transdutor capacitivo é um condensador que, em função de uma grandeza não elétrica, exibe uma variação do valor nominal da capacidade. Possui duas placas condutoras separadas por um dielétrico, Figura 11, as variações no valor nominal da capacidade ocorrem pela separação entre as placas, por redução da área frente a frente e da variação da constante dielétrica do material (DIAS, 1999).

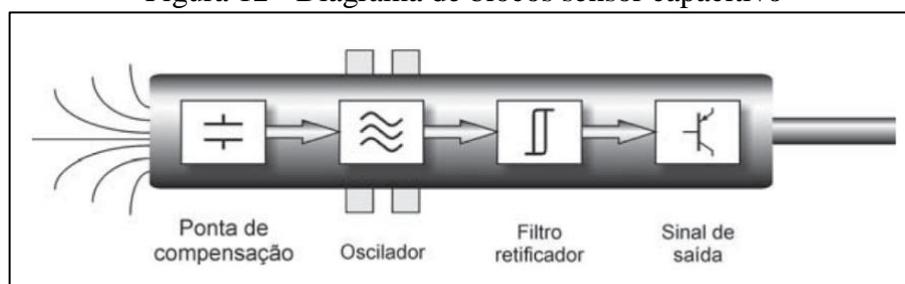
Figura 11 - Estrutura sensor capacitivo



Fonte: Adaptado de Dias (1999).

Um sensor capacitivo consiste em uma ponta capacitiva, um oscilador, um retificador de sinal, um circuito de filtragem e um circuito de saída. Na aproximação do alvo o oscilador aumenta a capacitância do circuito com a ponta de compensação, quando um determinado valor da capacitância é atingido, o oscilador é ativado, o que liga o circuito de saída e faz com que ele comute seu estado de aberto para fechado ou vice-versa. Na ausência de um alvo, o oscilador está inativo (THOMAZINI; ALBURQUERQUE, 2011). A Figura 12 mostra o diagrama de blocos para seu princípio de funcionamento.

Figura 12 - Diagrama de blocos sensor capacitivo



Fonte: Thomazini e Albuquerque (2011).

São utilizados em diversos tipos de processos, devido sua capacitiva de detectar e monitorar metais e não metais, sólidos e líquidos, objetos e produtos de natureza orgânica e mineral. Geralmente são utilizados para medir faixas de 10 μm a 10 mm, não sendo indicados para ambientes hostis que possam envolver dispersão de fluidos, partículas metálicas, ou poeira (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2010). A Tabela 1 mostra a comparação de um sensor capacitivo e indutivo.

Tabela 1 - Comparação sensor capacitivo e indutivo

PARÂMETRO	CAPACITIVO	INDUTIVO
Faixa típica (mm)	De 0,01 a 10	De 0,1 a 15
Resolução (nm)	2	2
Material que forma o objeto a ser medido	Não afetado pelas diferenças de materiais. Pode ser utilizado para materiais não condutores, como, por exemplo, plásticos.	Afetado pelas diferenças de materiais; normalmente usado apenas com materiais condutores.
Material que forma o meio	Sensível alteração para meio não condutivo	Não sensível a meio não condutivo
Custo	Maior do que o indutivo	Menor do que o capacitivo

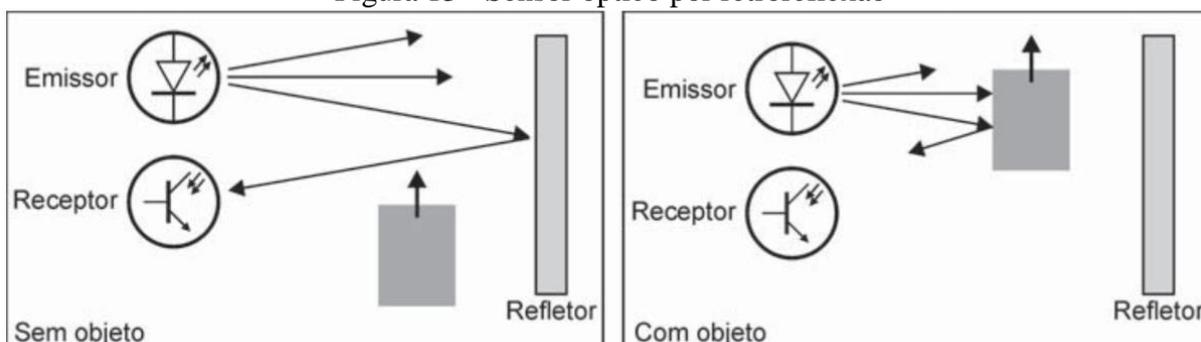
Fonte: Adaptado de Balbinot e Brusamarello (2010).

2.1.4 Sensores ópticos

Os sensores ópticos ou fotoelétricos utilizam a propagação da luz para realizar medições de distâncias, posições e presença de objetos. Seu princípio de funcionamento consiste em um emissor e um receptor, em que o emissor deve gerar uma intensidade suficiente de luz para o receptor, possibilitando que o sensor comute sua saída. Para minimizar os efeitos de possíveis interferências causadas por outras fontes luminosas que não o emissor, no receptor é acoplado um filtro que somente considera sinais com a mesma frequência do emissor (THOMAZINI; ALBURQUERQUE, 2011).

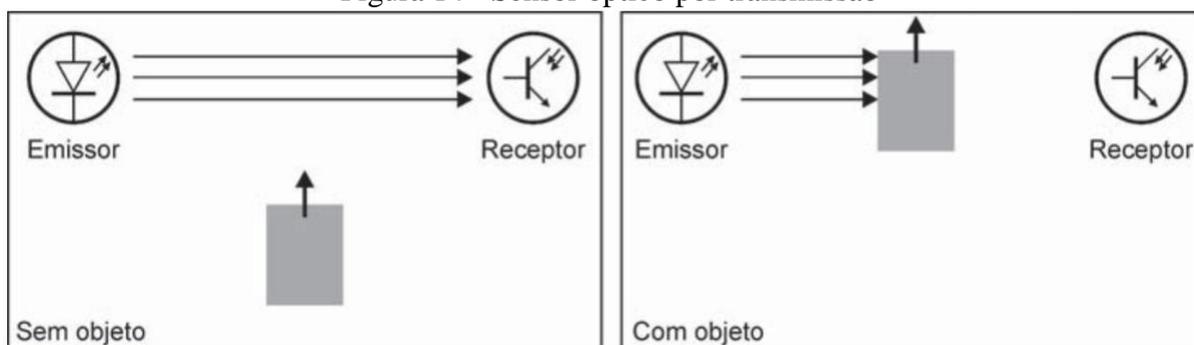
Podem ser classificados como sensores ópticos por retroreflexão, transmissão e reflexão difusa. Os sensores ópticos por retroreflexão possuem no mesmo corpo o emissor e o receptor, por intermédio de um refletor, o feixe de luz gerado pelo emissor chega ao receptor, sempre que um objeto passa pelo feixe o sensor é ativado. O objeto detectado pode refletir a luz de maneira direta ou difusa, por esta razão, objetos claros, brilhantes ou transparentes podem eventualmente não ser detectados. A limpeza, dimensão e instalação do refletor são de fundamental importância para o funcionamento do sensor e para definir sua distância de funcionamento. Os sensores ópticos por transmissão ou sensores ópticos de detecção por barreira de luz, possuem o emissor e o receptor montado em dispositivos separados. Uma barreira de luz é criada quando o emissor e o receptor são alinhados, sempre que um objeto interrompendo essa barreira o sensor é ativado. O sensor óptico por reflexão difusa possui o emissor e o receptor montado no mesmo dispositivo. A luz enviada pelo emissor cria uma região ativa cuja presença de um objeto faz com que a luz seja refletida de forma difusa, de volta ao receptor, ativando o sensor (SOLOMAN, 2010; THOMAZINI; ALBURQUERQUE, 2011). As Figuras 12, 13 e 14 ilustram os sensores ópticos por retroreflexão, transmissão e reflexão difusa respectivamente.

Figura 13 - Sensor óptico por retroreflexão



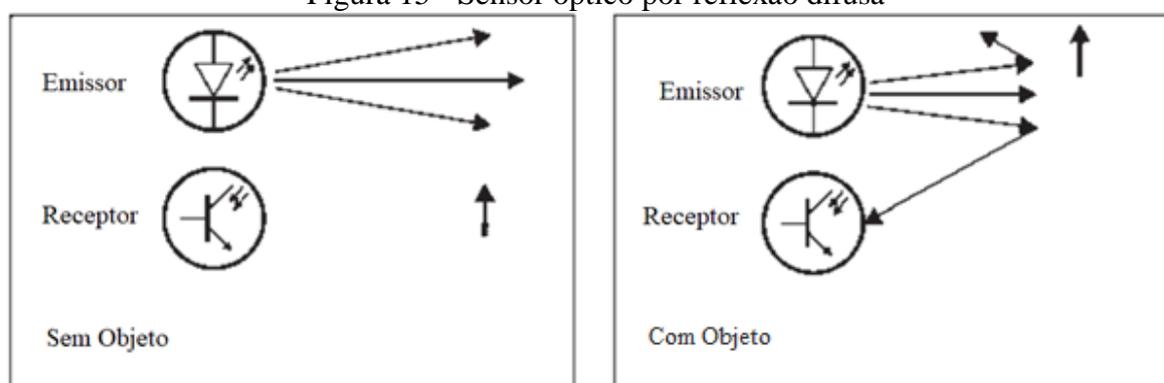
Fonte: Thomazini e Albuquerque (2011).

Figura 14 - Sensor óptico por transmissão



Fonte: Thomazini e Albuquerque (2011).

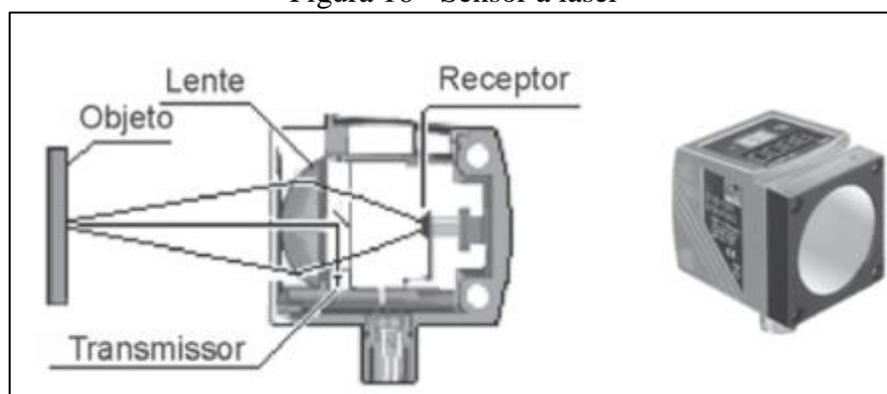
Figura 15 - Sensor óptico por reflexão difusa



Fonte: adaptado de Thomazini e Albuquerque (2011).

O sensor a laser, Figura 15, é um sensor óptico de reflexão difusa que utiliza como fonte de luz o laser. O mesmo executa funções de inspeções de precisão e qualidade que requerem medições muito exatas. Baseia-se no princípio do tempo de trânsito que a luz do diodo transmissor leva para viajar do sensor para o objeto e voltar, sendo diretamente proporcional à distância percorrida. (THOMAZINI; ALBURQUERQUE, 2011).

Figura 16 - Sensor a laser

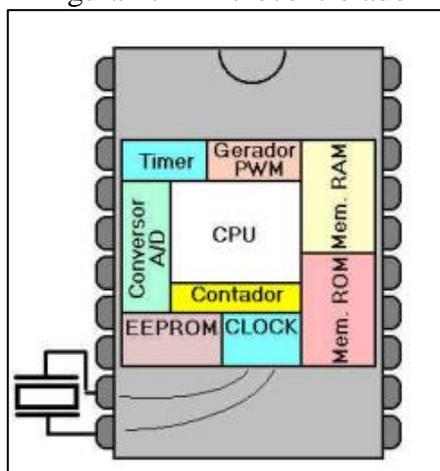


Fonte: Thomazini e Albuquerque (2011).

2.2 MICROCONTROLADORES

O microcontrolador é um componente eletrônico que executa uma sequência programada, utilizado no controle de processos lógicos (SOUZA, 2005). Está provido internamente de todos os componentes necessários para o controle, sendo eles, CPU, memória ROM, memória RAM, entradas e saídas digitais, conversor analógico/digital, *whatchdog*, entre outros (OKI; MANTOVANI, 2005). A Figura 17 mostra uma ilustração de um microcontrolador genérico.

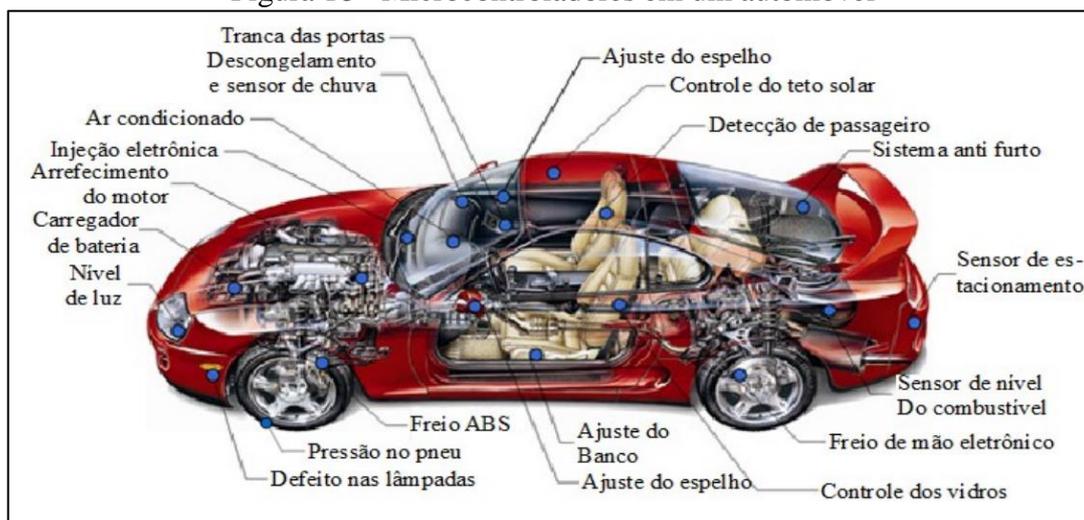
Figura 17 - Microcontrolador



Fonte: Oki e Mantovani (2005).

São utilizados em diversas aplicações e dispositivos, principalmente em sistemas embarcados, que são definidos como um software implementado em hardware para a execução de uma determinada tarefa em tempo real. Essa configuração traz como vantagens um circuito eletrônico otimizado, redução do tamanho, custo e recursos computacionais, além de um aumento na confiabilidade (MEHL, 2011). A Figura 18 mostra algumas aplicações de microcontroladores em um automóvel.

Figura 18 - Microcontroladores em um automóvel



Fonte: Kerschbaumer (2012).

2.3 ATUADORES

Atuadores são elementos que executam movimento em resposta de comandos que podem ser manuais, mecânicos, hidráulicos, pneumáticos e elétricos.

2.3.1 Atuadores mecânicos

Atuadores mecânicos utilizam componentes como cabos, hastes, alavancas, cames ou cunhas para transferir a força de acionamento até o ponto de aplicação. Em média 35% de sua eficiência são perdidos pelo atrito das partes mecânicas, sendo necessário realizar ajuste e lubrificar o sistema frequentemente, para que o mesmo trabalhe com sua máxima eficiência, não gerando sobreaquecimento e desgastes. Seu tempo de atraso a partir do acionamento é pequeno e depende da distância que o ponto de aplicação está em relação ao ponto de acionamento (LIMPERT, 1999).

2.3.2 Atuadores hidráulicos e pneumáticos

Tecnologias que utilizam fluidos, líquidos ou gases, pressurizados para a transmissão, geração e controle de potência. Tais fluidos são classificados como compressíveis e incompressíveis. Quando não há variação da massa específica, mesmo com grandes variações de pressão, o fluido é denominado incompressível. Quando há variação da massa específica com a variação da pressão o fluido é denominado compressível. Fluidos são

também classificados como viscosos e não viscosos, que está relacionado à facilidade de escoamento do líquido (DE NEGRI, 2002).

Os atuadores hidráulicos e pneumáticos são classificados como lineares ou rotativos, em que geram movimentos de translação e rotação respectivamente. Cilindros de simples e dupla ação são exemplos de atuadores lineares e o cilindro de aleta giratória é um exemplo de atuador rotativo (SILVA, 2002).

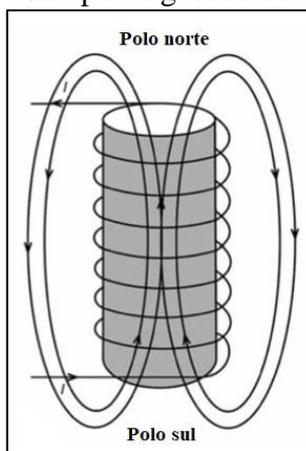
Atuadores hidráulicos utilizam, na sua maioria, fluídos viscosos e incompressíveis, como óleos minerais e fluidos sintéticos. Já em atuadores pneumáticos o ar comprimido é geralmente utilizado. A utilização de ar comprimido em atuadores pneumáticos é caracterizado por não apresenta riscos de faísca em atmosfera explosiva, não contamina o meio ambiente, não precisa de linhas de retorno, escape como os atuadores hidráulicos. O ar possui vapor d'água, umidade, que pode ser condensado dependendo das condições de pressão e temperatura, causando uma perda na eficiência do atuador. Como o ar apresenta baixa viscosidade, sua facilidade em escoar em pequenos orifícios é grande, implicando no funcionamento do atuador. Um atuador pneumático não permite paradas do pistão em posições intermediárias com precisão, pois o esforço na haste do pistão comprime o ar retirando o pistão da sua posição inicial de parada, por isso, os atuadores pneumáticos possuem apenas duas posições limitadas por batentes mecânicos, uma vez que não é possível atingir posições intermediárias com precisão. Esse problema já não ocorre com os atuadores hidráulicos, pois o óleo é incompressível. Algumas máquinas que exigem alta precisão de posicionamento usam atuadores hidráulicos. Outra dificuldade imposta pela compressibilidade do ar é o controle e estabilidade da velocidade dos atuadores (DE NEGRI, 2002; SILVA, 2002).

2.3.3 Atuadores Magnéticos

Atuam como fonte de excitação e controle externo utilizando campo magnético. As teorias do magnetismo apontam duas formas de gerar um campo magnético, sendo uma delas pelos movimentos de cargas eletricamente carregadas ou pela existência de um campo magnético intrínseco em partículas elementares. Na primeira forma a movimentação das cargas geram o campo magnético, como uma corrente elétrica passando em um fio, sendo esse tipo de dispositivo conhecido como solenoide. Na segunda forma as partículas elementares, possuem um campo magnético intrínseco, gerado pelo movimento de rotação dos elétrons sobre próprio eixo (FURTADO, 2008).

A extremidade pela qual as linhas emergem é chamada de polo norte, sendo a oposta chamada de polo sul. Experimentalmente, é possível notar que polos magnéticos opostos se atraem e polos semelhantes se repelem, ou seja, o polo norte é atraído somente pelo polo sul e vice-versa (HALLIDAY ET AL, 2016). A Figura 19 mostra o campo magnético de uma bobina.

Figura 19 - Campo magnético de uma bobina



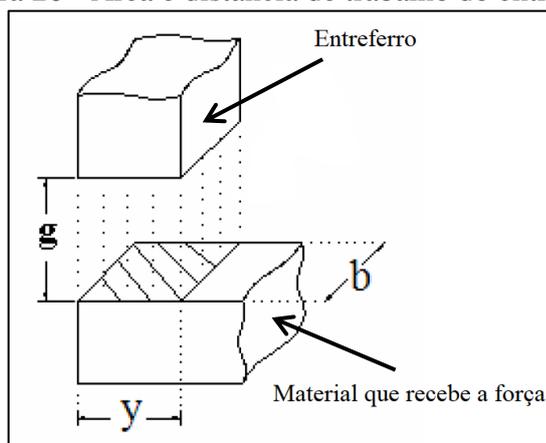
Fonte: adaptado de Balbinot e Brusamarello (2011).

Furtado (2008) realiza o equacionamento para determinar a força magnética de uma bobina em newtons. A Equação 2 representa a força de um bobina com núcleo do tipo E.

$$Fb = \frac{\mu_0 \times A \times N^2 \times i^2}{6 \times g^2} \quad (2)$$

Onde μ_0 é a coeficiente de permeabilidade do ar que equivale a $4\pi \times 10^{-7}$ henry por metro, A é a área, considerada igual para as três superfícies de contato, do entreferro em metros², N é número de espiras, i é a corrente em amperes e g é a distância do entreferro até o material, em metros, que recebe a força. A Figura 20 ilustra os valore de g e A, onde A é igual a y multiplicado por b.

Figura 20 - Área e distância de trabalho do entreferro

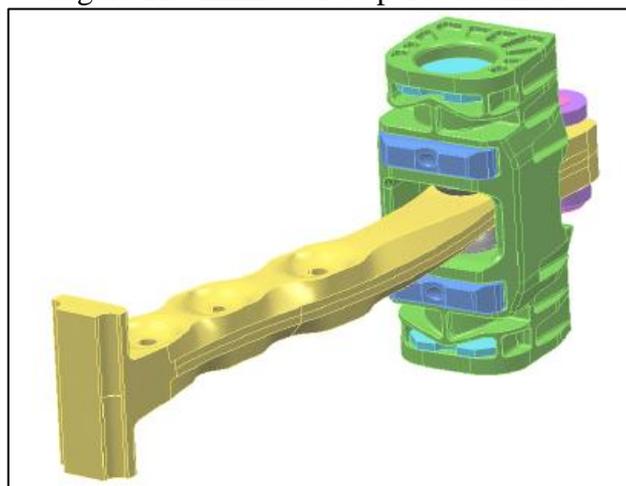


Fonte: Furtado (2008).

2.4 LIMITADOR DE PORTA AUTOMOTIVA

Uma porta automotiva possui um conjunto de componentes que realizam diferentes tipos de funções, sendo eles, fechadura, batente, mecanismo do vidro, limitador, dobradiças, guarnições, maçaneta interna e externa, entre outros. O limitador de porta tem como função auxiliar os ocupantes a entrar e sair do veículo sem que a porta se volte contra os mesmos em determinadas condições de inclinação do veículo. Tal componente possui posições predeterminadas de abertura (PEREIRA, 2009). A Figura 21 ilustra um limitador de porta.

Figura 21 - Limitador de porta automotiva



Fonte: Pereira (2009).

Seu requisito fundamental é oferecer alta resistência ao movimento da porta durante a abertura e fechamento em certos pontos de parada, essa resistência deve ser superada pelo

esforço adicional aplicado pelos ocupantes tirando a porta desses pontos. O limitador não deve oferecer nenhuma resistência em todos os outros pontos (NAYAK; IM, 2006).

Como mostrado na Figura 22 um limitador de porta é constituído de um corpo ou curso que possui em seu interior molas de compressão, esse corpo é fixado no painel interno da porta. O travamento da porta em posições predeterminadas ocorre pela geometria da haste, que através de pinos deslizantes e molas integradas ao corpo do limitador realizam o travamento (PEREIRA, 2015).

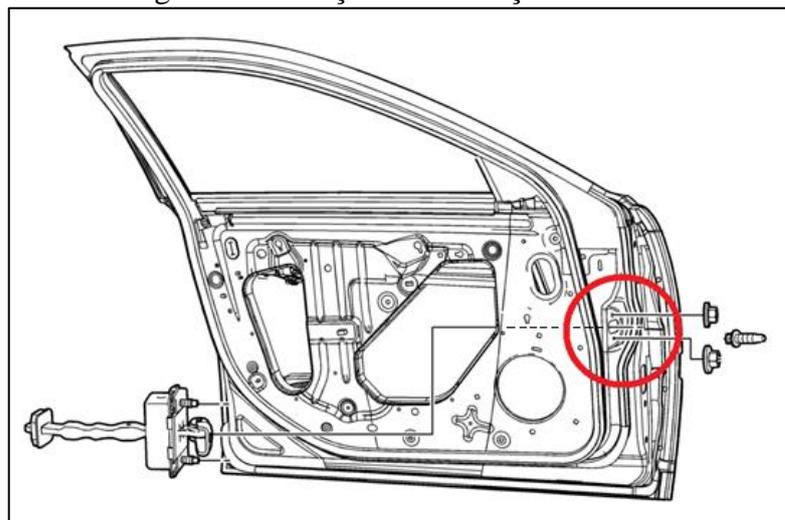
Figura 22 - Componentes de um limitador de porta



Fonte: Pereira (2015).

A Figura 23 mostra onde o limitador é instalado na porta.

Figura 23 - Posição de instalação limitador

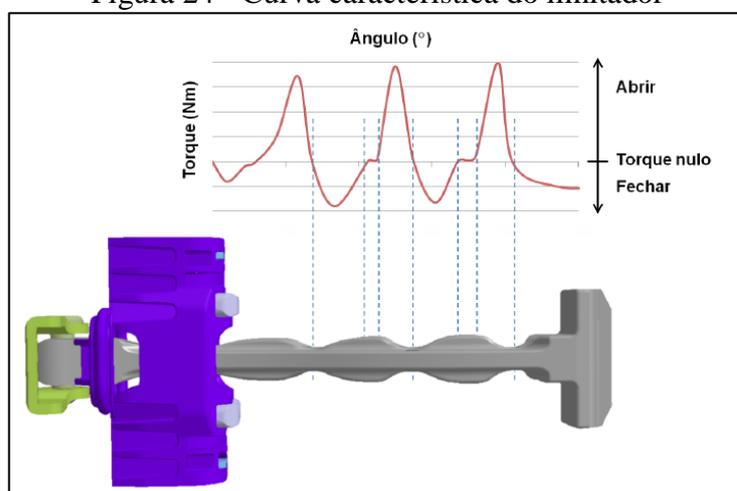


Fonte: Adaptado de Chevrolet (2014).

A geometria característica da haste é responsável por oferecer maior resistência ao movimento do cursor, mantendo a posição de abertura da porta até que uma força maior seja

aplicada (NAYAK; IM, 2006). A Figura 24 mostra a curva característica do limitador expressa pelo torque em função do deslocamento do cursor.

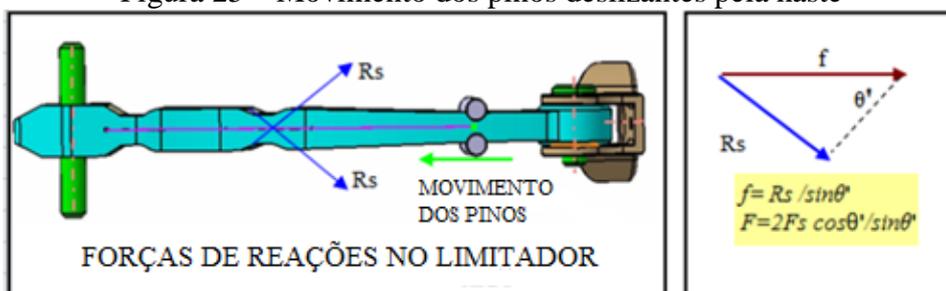
Figura 24 - Curva característica do limitador



Fonte: Pereira (2015).

O cálculo da força de resistência gerada pelo limitador durante a abertura da porta é equacionado por Kavthekar e Badadhe (2015). As forças devido à passagem dos pinos deslizantes pela geometria da haste do limitador são ilustradas na Figura 25.

Figura 25 – Movimento dos pinos deslizantes pela haste



Fonte: Adaptado de Kavthekar e Badadhe (2015).

A equação 3 representa a força da mola atuando nos pinos.

$$F_s = K x (dp + dh) x \cos\theta + \mu x \operatorname{sen}\theta \quad (3)$$

Onde k é a rigidez da mola em newton por metro, dp a compressão da mola instalada no corpo do limitador em metros, dh é a compressão da mola proveniente das ondulações da haste em metros e μ é o coeficiente de atrito entre os roletes e a haste. A força de resistência do limitador é representada pela equação 4.

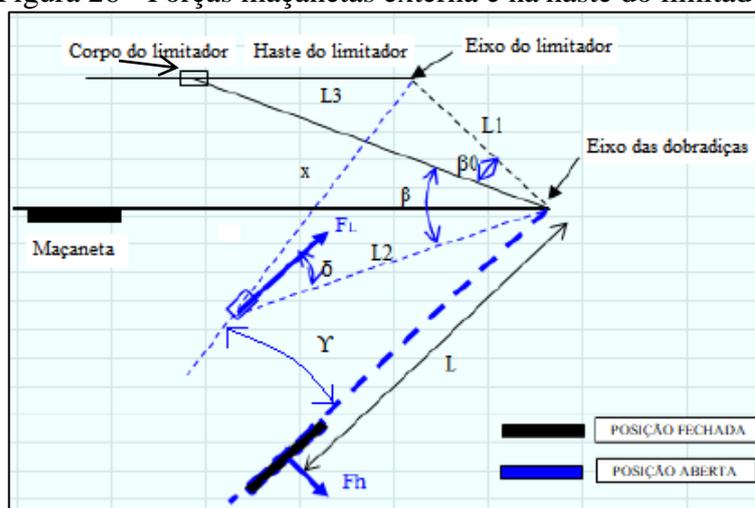
$$Fl = \frac{2 \times Fs \times \cos\theta}{\text{sen}\theta} \quad (4)$$

Substituindo a equação 3 na equação 4, obtém-se a equação 5.

$$Fl = \frac{2 \times k \times (dp + dh) \times (\cos\theta + \mu \times \text{sen}\theta)}{\text{sen}\theta} \quad (5)$$

A Figura 26 mostra a representação esquemática das forças na maçaneta externa e na haste do limitador durante a abertura.

Figura 26 - Forças maçanetas externa e na haste do limitador



Fonte: Adaptado de Kavthekar e Badadhe (2015).

A equação 6 representa a força na maçaneta durante a abertura da porta para superar a força de resistência do limitador.

$$Fl \times L2 \times \text{sen}(\delta) - Fh \times L = 0 \quad (6)$$

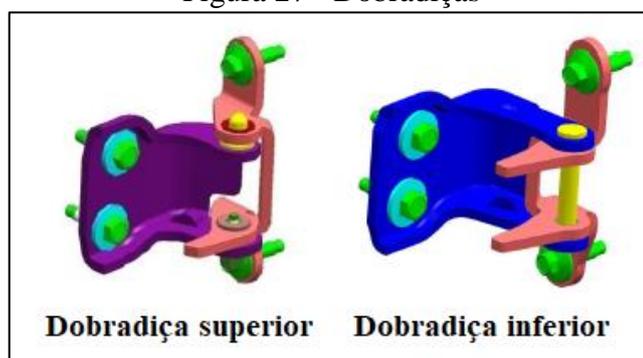
Onde, L2 é a distância do eixo das dobradiças até o corpo do limitador em metros, δ é o ângulo entre a força do limitador e L2, L é a distância do ponto de aplicação da força até as dobradiças e Fh a força na maçaneta em Newtons. Substituindo a Equação 5 na Equação 6 obtém-se a Equação 7

$$Fh = \frac{(2 \times k \times (dp + dh) \times (\cos\theta + \mu \times \text{sen}\theta) \times L2 \times \text{sen}\delta)}{L \times \text{sen}\theta} \quad (7)$$

2.5 DOBRADIÇAS

São vínculos entre a porta e o painel lateral do veículo que permitem o movimento circular da porta em cima do eixo das dobradiças. Em cada porta há duas dobradiças, sendo elas, superior e inferior. Esses componentes têm o objetivo de permitir a abertura e fechamento da porta com a mínima resistência de torque (PEREIRA, 2015). A Figura 27 ilustra as dobradiças.

Figura 27 - Dobradiças



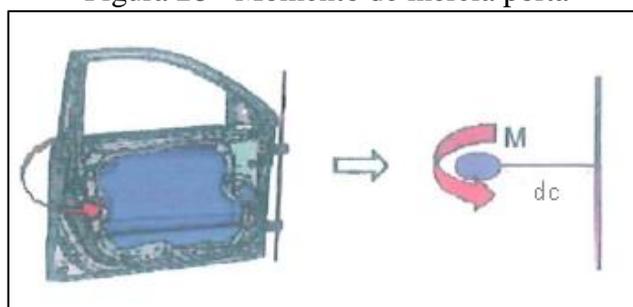
Fonte: Adaptado de Pereira (2015).

Para realizar o movimento de rotação em torno das dobradiças é necessário que os ocupantes superarem a inércia da porta para colocá-la em movimento. Jei (2011) utiliza a Equação 8 para obter o momento de inércia da porta.

$$I_p = I_g + d_c^2 \times M \quad (8)$$

Onde, I_g é o momento de inércia do centro de gravidade da porta em kg.m^2 , d_c é distância entre as dobradiças e o centro de massa em metros e M é a massa da porta em quilogramas. A Figura 28 ilustra o movimento da porta.

Figura 28 - Momento de inércia porta

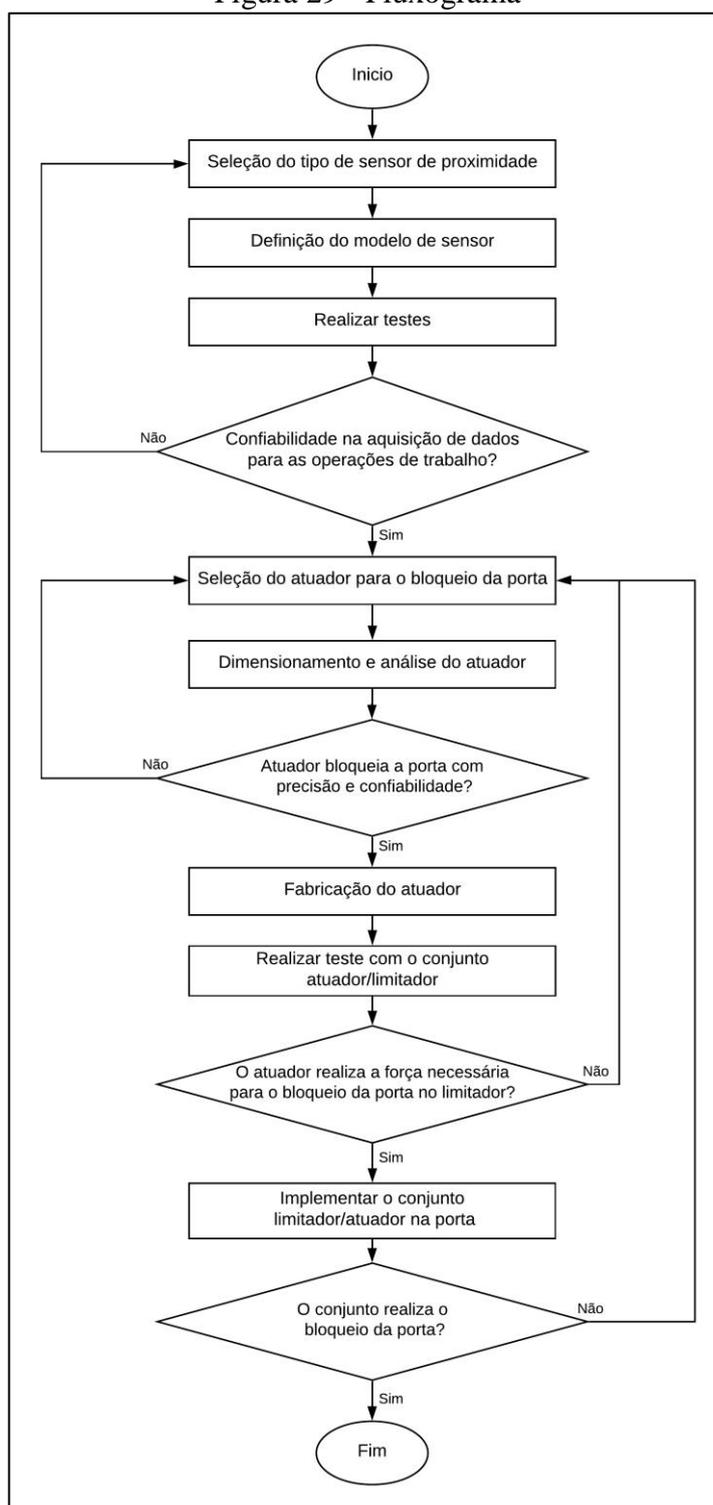


Fonte: Adaptado de Jei (2011).

3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O atual capítulo apresenta as etapas que foram realizadas para o desenvolvimento do trabalho. A Figura 29 mostra o fluxograma das etapas.

Figura 29 - Fluxograma



Fonte: O autor (2019).

Todo o sistema possui uma central de gerenciamento onde as informações recebidas são processadas, organizadas, armazenadas, seguindo uma sequência lógica programada. A partir dos dados de entradas são gerados dados de saídas e esses são utilizados para a realização de ações no sistema. O trabalho utilizou como central de gerenciamento a placa de desenvolvimento Arduino Mega 2560 que utiliza um microcontrolador ATmega2560. A programação do sistema ocorreu na sua IDE (*Integrated Development Environment*). A Figura 30 mostra a placa.

Figura 30 – Arduino Mega 2560

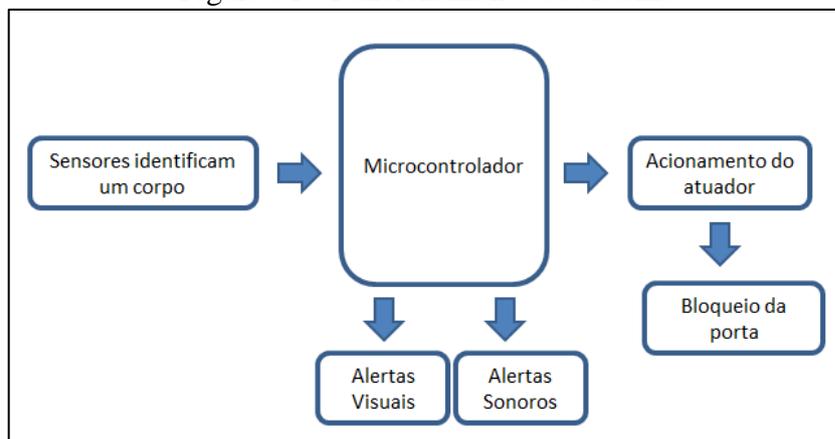


Fonte: O autor (2019).

Essa placa de desenvolvimento foi escolhida por possuir uma plataforma de prototipagem muito bem estruturada e por sua aquisição ser acessível. Possui 256 kB de memória *flash*, 8 kB de memória RAM e um *clock* de 16 MHz.

A Figura 31 ilustra o funcionamento do sistema, que inicia através da identificação de corpos pelos sensores, o microcontrolador gerencia as informações captadas e caso a distância do corpo represente perigo de acidente, o microcontrolador emite os sinais sonoros e visuais para alertar os ocupantes, acionando em paralelo o atuador para realizar o bloqueio da porta.

Figura 31 - Funcionamento do sistema



Fonte: O autor (2019).

3.1 SENSORIAMENTO

A escolha do tipo de sensor utilizado é um fator primordial para a eficiência e confiabilidade do sistema, servindo também de gatilho para a ação dos demais elementos. A atuação do sistema inicia na identificação de corpos, móveis ou estáticos, que devido à ação de abertura da porta ou troca de pista do automóvel, possam gerar um acidente de trânsito. A detecção de corpos pelos sensores deve ocorrer com precisão, independente das condições externas como luminosidade ou chuva, devem identificar qualquer tipo de material e possuir um tempo de resposta rápido. A pesquisa bibliográfica realizada apresentou o funcionamento dos principais tipos de sensores de proximidade, como também, seus pontos positivos e negativos para cada necessidade. O Quadro 1 apresenta o comparativo dos sensores de proximidade.

Quadro 1 - Comparativo dos sensores de proximidade

Sensor	Precisão de medição	Resposta rápida	Longo Alcance de medição	Desempenho não afetado por fatores externos (chuva ou luz)	Detecção de qualquer tipo de material
Ultrassom	X	X	X	X	X
Capacitivo	X	X			X
Indutivo	X	X		X	
Óptico	X	X	X		

Fonte: O autor (2019).

Para o objetivo do trabalho, o sensor que atende com os requisitos é o ultrassom, devido sua capacidade de trabalhar em ambientes externos sem sofrer interferências, como em chuvas ou neblinas, funcionar sem a presença de luz, possuir uma distância de medição longa comparado com os outros tipos de sensores, realizar medições com precisão, além de detectar qualquer tipo de material.

3.1.1 Posicionamento dos sensores

Foram utilizados três sensores ultrassom posicionados em diferentes lugares. Para a identificação de corpos se aproximando da área de abertura da porta o posicionamento

ocorreu no para-choque traseiro, como ilustra a Figura 32. Para a identificação de corpos estáticos e do ponto cego, foi posicionado um sensor na extremidade da porta dianteira do automóvel, próximo à coluna central, como ilustra a Figura 33. Tal posição foi escolhida por permitir a maior área de medição durante a abertura da porta.

Figura 32 - Posicionamento sensor traseiro



Fonte: O autor (2019).

Figura 33 - Posicionamento sensor lateral



Fonte: O autor (2019).

O terceiro sensor foi posicionado na parte interna da porta, como mostra a Figura 34. A posição do terceiro sensor foi definida para evitar um ponto cego entre o sensor posicionado na traseira do automóvel e o sensor da porta, quando há corpos se movendo para

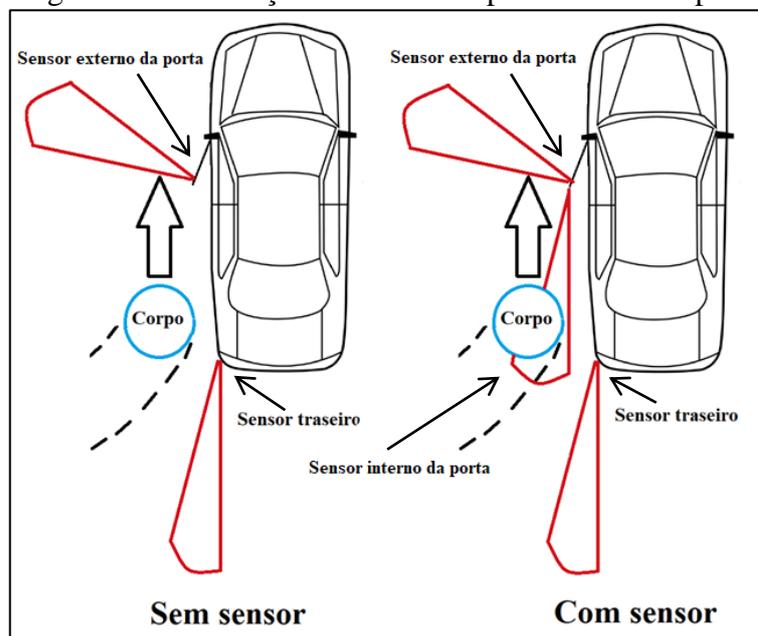
a área de abertura da porta que não vieram da traseira do automóvel, mas sim da lateral. A Figura 35 mostra o comparativo utilizando terceiro sensor.

Figura 34 - Posicionamento sensor interno na porta



Fonte: O autor (2019).

Figura 35 – Utilização do sensor na parte interna da porta



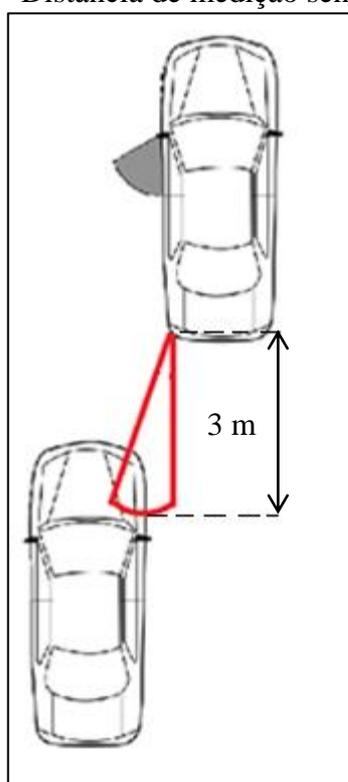
Fonte: Adaptado de Pein (2010).

3.1.2 Faixas de medições

O sistema precisa alertar os ocupantes do automóvel somente quando houver possibilidade de uma colisão, evitando tirar a atenção dos mesmos quando não é necessário. Faixas de medições foram estabelecidas para deixar o sistema com maior precisão.

Para identificar corpos se movendo para área de abertura da porta, estabeleceu-se uma faixa de medição de 3 metros de distância para o sensor localizado na traseira do automóvel, como mostra a Figura 36.

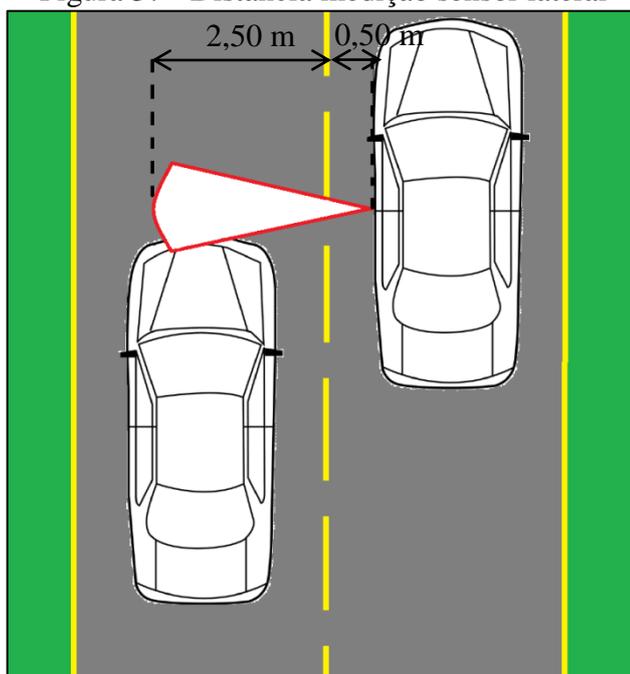
Figura 36 - Distância de medição sensor traseiro



Fonte: Adaptado de Pein (2010).

A largura de pista para rodovias determinada no Artigo 30 do Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) é de 3,50 metros. Esse valor somado com 0,50 metros que corresponde à média da distância lateral do automóvel até a faixa da pista é igual a 4 metros. Em perímetros urbanos a largura de pista é menor, sendo coerente estabelecer uma distância de medição de 3 metros para o sensor localizado na porta do automóvel que auxilia a eliminar o ponto cego dos espelhos retrovisores. A Figura 37 mostra a distância de medição do sensor.

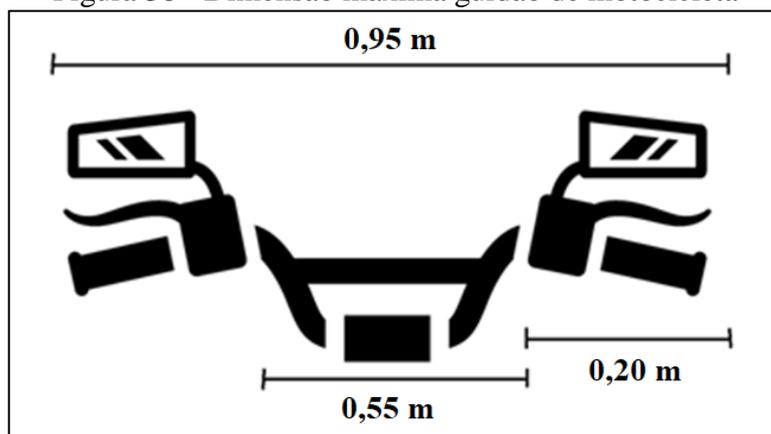
Figura 37 - Distância medição sensor lateral



Fonte: Adaptado de Peim (2010).

Quando o automóvel estiver parado o bloqueio da abertura da porta é realizado a partir de 0,20 m da colisão com corpos estáticos. Esta distância foi determinada a partir do maior tamanho de guidão permitido pela portaria 159/2017 do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) para motocicletas, que corresponde a 0,95 m. Adotando valores menores que 0,20 m, em situações que o ocupante do automóvel abrir a porta e uma motocicleta estiver estacionado no seu lado, o sensor identificará a estrutura da moto, mas o guidão da moto passará despercebido, ocasionado a colisão, da porta ou do vidro, com o guidão. Essa distância foi estabelecida subtraindo o tamanho máximo de guidão permitido pela largura média do corpo de uma motocicleta, 0,55 m. O resultado foi dividido por dois, permitindo ter uma aproximação da distância da ponta do guidão até o corpo da motocicleta. A Figura 38 mostra as dimensões.

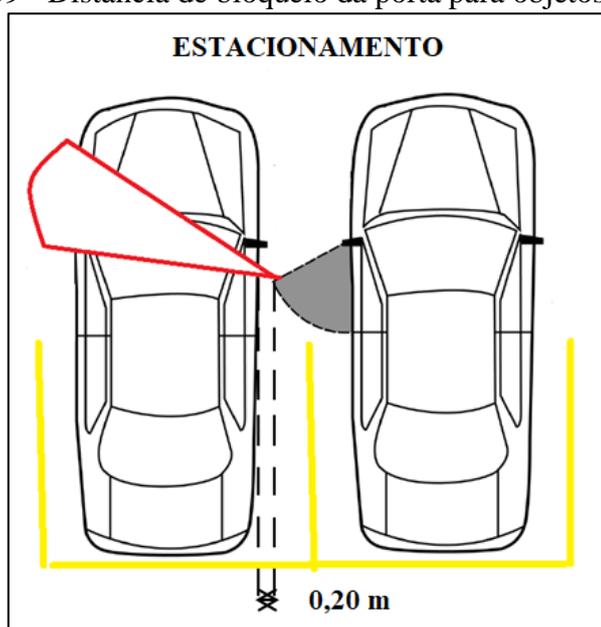
Figura 38 - Dimensão máxima guidão de motocicleta



Fonte: Adaptado de Depositphotos (2014).

Essa distância de bloqueio da porta não atrapalhará a saída dos ocupantes e evitará danos nas portas. A Figura 39 mostra a abertura da porta em um estacionamento.

Figura 39 - Distância de bloqueio da porta para objetos estáticos

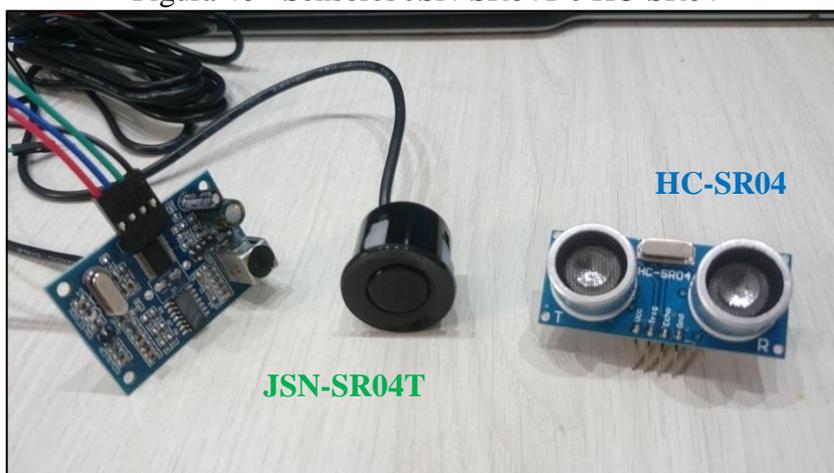


Fonte: Adaptado de Peim (2010).

3.1.3 Modelos de sensores ultrassom

Dentro os diferentes modelos de sensores ultrassom disponíveis no mercado, foram selecionados dois modelos que possuem configurações que atendam as necessidades do trabalho, sendo eles o JSN-SR04T e o HC-SR04, ambos são apresentados na Figura 40.

Figura 40 - Sensores JSN-SR04T e HC-SR04



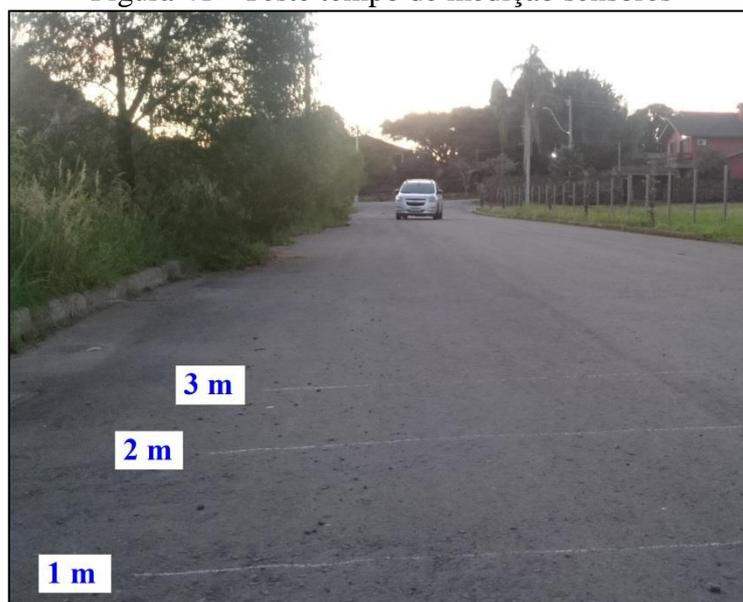
Fonte: O autor (2019).

O sensor HC-SR04 possui uma faixa de medição de 0,02 m até 4 m, com uma abertura de 15 graus, precisão de 3 mm e frequência de trabalho de 40000 Hertz. Já o sensor JSN-SR04T possui uma faixa de medição de 0,20 m até 4,50 m, com graus de abertura inferior a 50 graus, precisão de 2 mm e frequência de trabalho de 40000 Hertz.

3.1.4 Teste dos sensores

Foram realizados testes para determinar qual modelo de sensor melhor atende aos requisitos do trabalho, analisando o tempo de medição dos sensores e a área de medição. O Artigo 61 do CTB limita a velocidade máxima em vias urbanas, onde não há sinalização regulamentadora de, 60 km/h em vias arteriais, 40 km/h em vias coletoras e 30 km/h em vias locais. Tendo em vista as velocidades regulamentadas pelo CTB é necessário possuir um sensor ultrassom que identifique veículos na velocidade máxima estabelecida, sem apresentar falhas durante a medição. Para a realização do teste, os dois modelos de sensores foram posicionados na lateral da pista de um condomínio fechado e utilizando uma Chevrolet Spin, ano 2016, submetida a velocidades de 30, 40 e 60 km/h, foram feitas as validações dos sensores. A Spin foi escolhida por possuir controle de velocidade, permitindo fixar as velocidades nos valores impostos. A Figura 41 mostra o local do teste e as marcações de 1 metro, 2 metros e 3 metros em relação aos sensores para o teste.

Figura 41 - Teste tempo de medição sensores



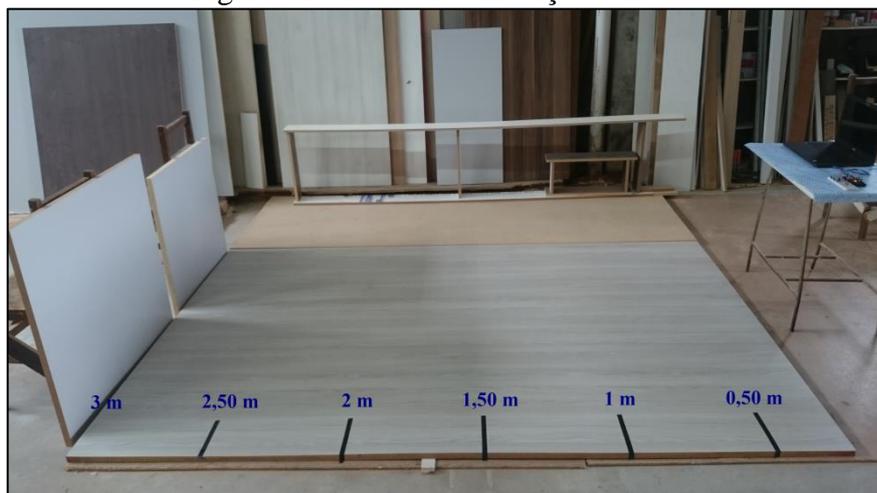
Fonte: O autor (2019).

Sempre que os sensores identificavam a passagem da Spin, era gravado a distância da mesma em relação aos sensores em um notebook. Como as velocidades estabelecidas para o teste eram constante por conta do controle de velocidade da Spin foi possível, através da Equação 9, determinar o tempo de medição dos sensores. Onde, d é a distância em metros, V é a velocidades em metros por segundo e t é o tempo em segundos. O valor de 3 representa a máxima distância de medição programada para os sensores que foi definido no capítulo 3.1.2.

$$(3 - d) = V \times t \quad (9)$$

O entendimento da área de medição dos sensores é de fundamental importância para aplicação no trabalho. Embora informações como o ângulo de abertura dos sensores sejam informados nos *datasheets*, tal valor pode sofrer algumas variações, como também, não possuir valores constantes durante toda a distância de medição. Para obter as áreas de medição dos sensores foram realizadas marcações a cada 0,50 m em uma chapa de madeira, com uma distância máxima de 3 m em relação aos sensores, como mostra a Figura 42.

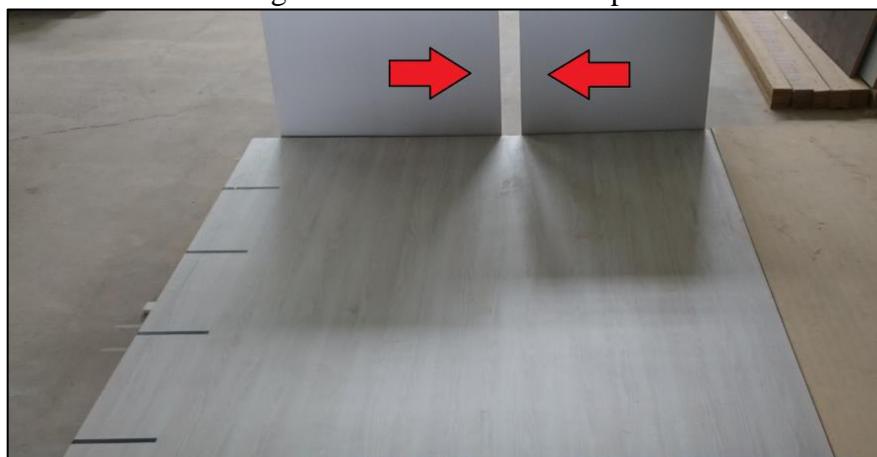
Figura 42 - Teste área medição sensores



Fonte: O autor (2019).

Utilizadas duas chapas de MDF foi realizado o movimento das mesmas em direção ao centro da chapa no chão, como mostra a Figura 43. Sempre que os sensores identificaram as chapas, marcações no chão eram feitas, desenhado assim a área de medição dos sensores.

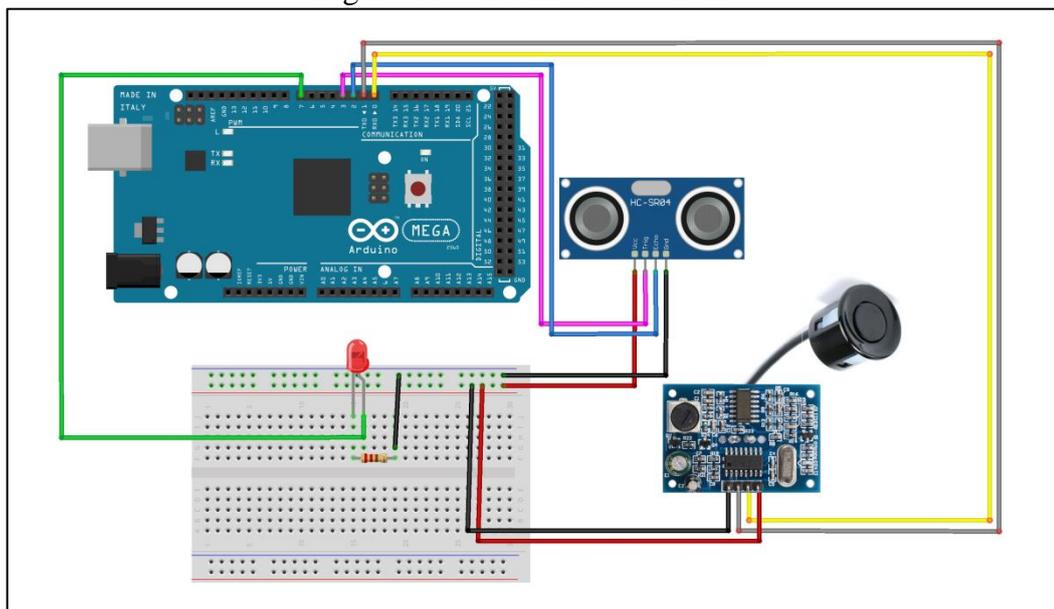
Figura 43 - Movimentos chapas



Fonte: O autor (2019).

Para ambos os testes o sistema de medição foi composto pelos dois modelos de sensores, um LED para informar quando os sensores identificavam um corpo, o Arduino Mega 2560 para o gerenciamento das informações e um notebook para a leitura e gravação dos dados gerados. A Figura 44 ilustra o sistema montado.

Figura 44 - Sistema teste sensores

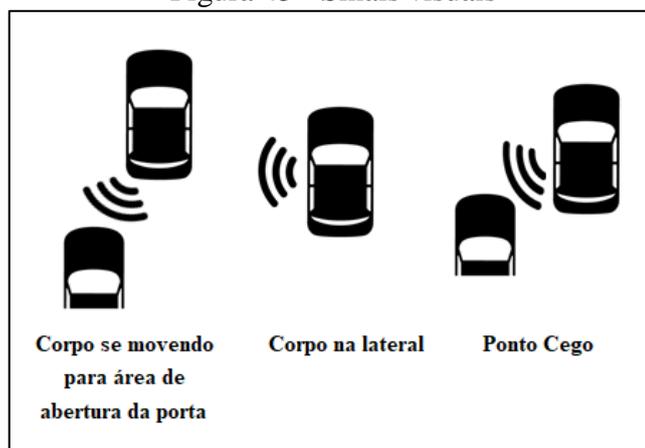


Fonte: O autor (2019).

3.2 ALERTAS VISUAIS

Sempre que os sensores identificarem algum corpo é necessário informar os ocupantes de forma clara onde o mesmo se encontra. Alertas visuais são utilizados para ilustrar se o corpo está se movendo para a área de abertura da porta, na lateral do automóvel ou no ponto cego do motorista. Os sinais utilizados para cada situação são mostrados na Figura 45.

Figura 45 - Sinais visuais



Fonte: Adaptado de Depositphotos (2017).

Os sinais são emitidos no espelho retrovisor do automóvel através de um *display* LCD ST7735 128X160PX de 1,8 polegadas. A Figura 46 ilustra o local onde os sinais são emitidos e a Figura 47 mostra o *display* utilizado.

Figura 46 - Local de visualização dos sinais visuais



Fonte: O autor (2019).

Figura 47 - *Display* LCD ST7735 128X160PX



Fonte: O autor (2019).

3.3 ALERTAS SONOROS

A atenção dos ocupantes pode estar focalizada em outra situação, inibindo a visualização dos sinais visuais emitidos. Para alertá-los, sinais sonoros também são emitidos quando os sensores identificarem possíveis colisões através de um *buzzer*, conforme mostra a Figura 38. O *buzzer* emite sons diferentes para cada tipo de alerta. As frequências sonoras emitidas pelos *buzzer* variam conforme a proximidade do corpo com o automóvel, sendo maior quando o corpo estiver perto do automóvel.

Figura 48 - *Buzzer*

Fonte: O autor (2019).

3.4 ATUADOR

Com a pesquisa bibliográfica realizada sobre os diferentes tipos de atuadores, foi possível identificar as vantagens e desvantagens de cada um e suas características específicas. Para o trabalho, o atuador deve realizar o bloqueio da abertura da porta com precisão, sem sofrer atrasos quando solicitado. Como esse atuador será instalado na porta, o mesmo não deve possuir peso elevado, pois a adição de peso na porta alterará parâmetros de desempenho da mesma que poderão gerar problemas futuros. O mesmo também deve ocupar um pequeno espaço para instalação, visto que o espaço interno da porta é restrito, devido a outros componentes nela instalados. O Quadro 2 apresenta o comparativo dos diferentes tipos de atuadores pesquisados.

Quadro 2 – Comparativo dos tipos de atuadores

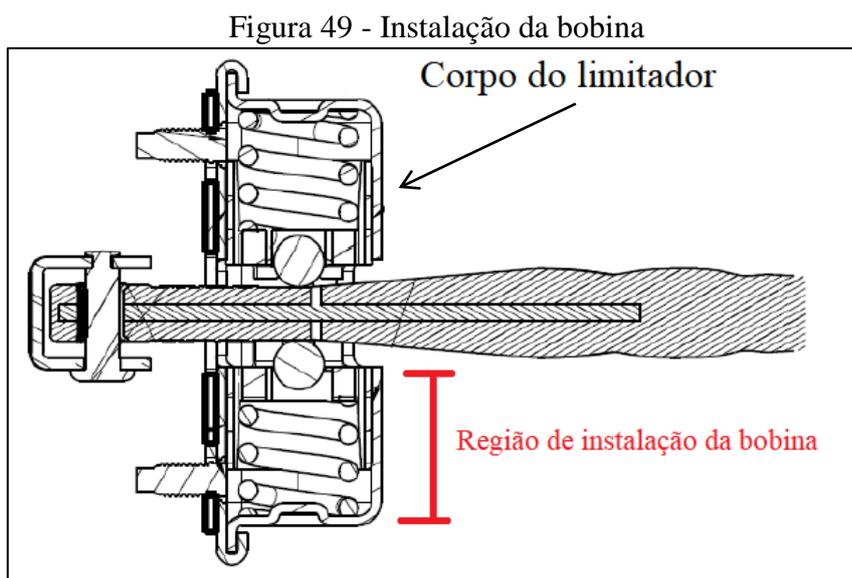
Sensor	Resposta rápida ao acionamento	Não possui peso elevado	Pouco espaço ocupado para instalação
Mecânico	X	X	
Hidráulico	X		
Pneumático	X	X	
Magnético	X	X	X

Fonte: O autor (2019).

O atuador que atende aos requisitos do trabalho é o magnético. Dentro dos diferentes tipos de atuadores magnéticos utilizou-se uma bobina para realizar o bloqueio da porta. O bloqueio ocorre quando os sensores identificam possíveis colisões com a porta e o microcontrolador permite a passagem de corrente elétrica pela bobina gerada por uma bateria. A passagem de corrente elétrica gera um campo magnético ao redor da bobina que tende a amortecer o movimento do limitador até travá-lo, permitindo a abertura da porta somente quando o corpo identificado sair da área de abertura da porta.

3.4.1 Posicionamento da bobina no limitador

A instalação da bobina foi feita no corpo do limitador, pois é onde a haste do limitador passa, possibilitando assim, realizar o travamento. A Figura 49 mostra onde a bobina foi instalada.



Fonte: Adaptado de Mozzone (2013).

3.5 MODELO DE PORTA UTILIZADO

Os cálculos de forças e o dimensionamento do atuador partem das características do modelo de porta selecionado para o estudo. A instalação do sistema de sensoriamento no automóvel requer que furos sejam feitos na porta e na traseira do automóvel. Realizar tais operações em um automóvel em circulação não era viável. Buscou-se a alternativa de realizar o corte da lateral de um automóvel que estava em um desmanche de carros. Foi efetuada a

compra da seção lateral do veículo da marca Ford, modelo Ka, ano 1999. A Figura 50 mostra o corte da lateral do automóvel.

Figura 50 - Corte lateral automóvel



Fonte: O autor (2019).

Por estar em um desmanche de carros, a seção lateral do modelo possuía algumas batidas, que para o propósito do trabalho não tinham influência, visto que é um problema estético.

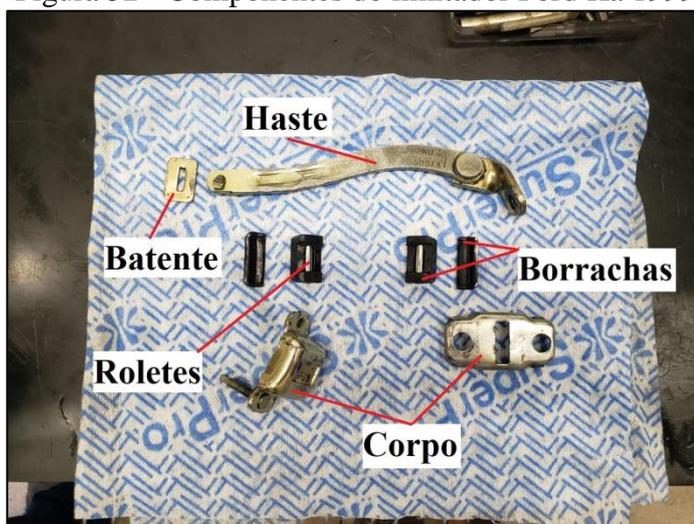
O limitador presente na porta é mostrado na Figura 51 e seus componentes na Figura 52. Percebe-se que esse modelo de limitador utiliza borrachas no lugar de molas.

Figura 51 - Limitador de porta Ford Ka 1999



Fonte: O autor (2019).

Figura 52 - Componentes do limitador Ford Ka 1999



Fonte: O autor (2019).

3.5.1 Estrutura fixação porta

Para a realização dos testes foi projetada uma estrutura para a fixação da seção lateral da porta, com a mesma altura do automóvel original. A estrutura foi construída com tubos de aço 50x30x3 mm, chapas e rodízios giratórios de 4 polegadas. A Figura 53 mostra o projeto da estrutura.

Figura 53 - Estrutura fixação porta



Fonte: O autor (2019).

Após a construção da estrutura, a seção lateral foi soldada na mesma. A Figura 54 mostra o resultado obtido.

Figura 54 - Seção lateral fixada na estrutura projetada



Fonte: O autor (2019).

3.6 FORÇA DE ABERTURA DA PORTA

Para determinar a força magnética necessária para realizar o bloqueio de abertura da porta em situações de risco e, conseqüentemente, o desenvolvimento da bobina, é essencial conhecer a força aplicada na porta pelos ocupantes. Para captar essa força utilizou-se um dinamômetro de 40 kgf, conforme Figura 55, fixado na posição de abertura da porta.

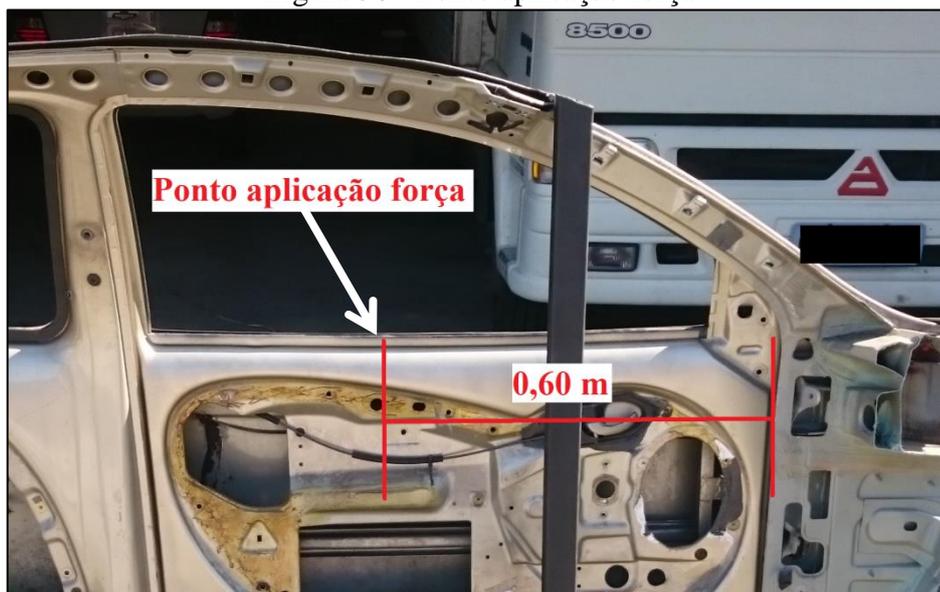
Figura 55 - Dinamômetro



Fonte: O autor (2019).

A medição da força de abertura foi realizada sem o limitador instalado, sendo medida apenas a força utilizada pelo ocupante, já englobando a força de atrito das dobradiças contra o movimento. A força foi aplicada em uma distância de 0,60 m das dobradiças, pois é a região onde é aplicada a força do ocupante no dia a dia para o desembarque. A Figura 56 mostra o ponto de aplicação da força.

Figura 56 - Ponto aplicação força



Fonte: O autor (2019).

3.7 DESENVOLVIMENTO DA BOBINA

Conhecendo a força aplicada pelos ocupantes na porta, F_h , e utilizando a Equação 6, é possível determinar a força que o atuador precisa realizar para impedir a abertura da porta. Adicionando a força da bobina na Equação 6, obtém-se a Equação 10. A força da bobina é somada com a força de resistência do limitador, pois são forças que atuam contra o movimento de abertura da porta. A força da bobina atua paralelo à haste do limitador.

$$(F_b \times \text{sen}(\gamma) + F_l \times \text{sen}(\delta)) \times L_2 - F_h \times L = 0 \quad (10)$$

Como mencionado por Nayak e Im (2006), o requisito fundamental do limitador é oferecer resistência ao movimento da porta durante a abertura e fechamento em certos pontos de parada, não devendo oferecer nenhuma resistência em todos os outros pontos. Considerando tal explicação, adotou-se o valor de F_l igual a 0, pois dependendo do ponto

onde o atuador é acionado, não haverá a força de resistência do limitador para auxiliar no bloqueio da porta. Logo, a Equação 10 fica:

$$Fb \times L2 \times \text{sen}(\gamma) - Fh \times L = 0 \quad (10)$$

Quando a porta já está em rotação e é necessário conter esse movimento, o momento de inércia é atribuído no cálculo. Logo, a aceleração angular e o momento de inércia da porta, Equação 8, são inseridos na Equação 10, gerando assim, a Equação 11.

$$Fb \times L2 \times \text{sen}(\gamma) - Fh \times L = (Ic + dc^2 \times M) \times \alpha \quad (11)$$

Onde, α é a aceleração angular em radianos por segundos ao quadrado. Por não ter acesso ao desenho detalhado do modelo de porta, utilizou-se para o cálculo do momento de inércia no centro de gravidade a de um retângulo. Logo, a Equação 8 fica:

$$Ip = \frac{(b \times h^3)}{12} + dc^2 \times M \quad (8)$$

Onde b é o comprimento da porta em metros e h é a altura da porta em metros. Logo a Equação 11 fica:

$$Fb \times L2 \times \text{sen}(\gamma) - Fh \times L = \left(\frac{(b \times h^3)}{12} + dc^2 \times M \right) \times \alpha \quad (11)$$

As dimensões da porta para o cálculo foram medidas e são apresentadas no Quadro

3.

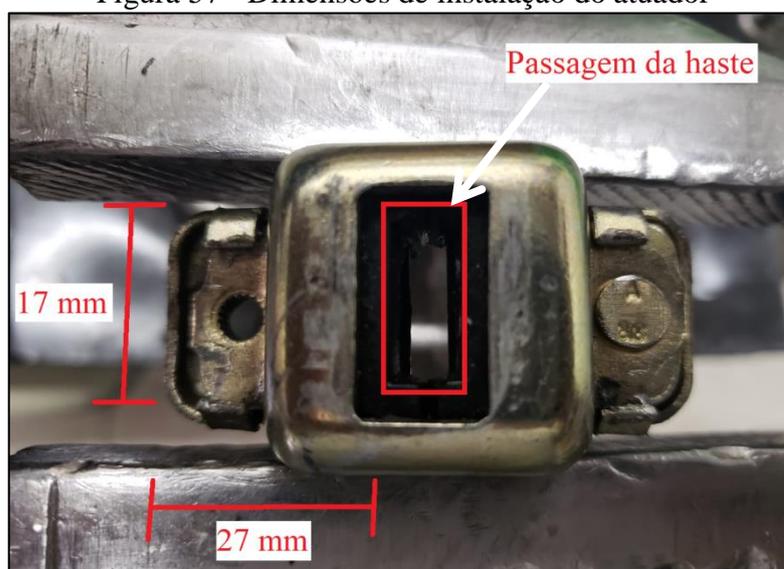
Quadro 3 - Dimensões e características da porta

Comprimento	1,25 m
Altura	1,1 m
Peso	25 kg
γ	11,56°
Ponto aplicação força até dobradiças (L)	0,60 m
Distância dobradiças até corpo do limitador (L2)	0,16 m
Distância centro de gravidade até as dobradiças (dc)	0,625 m
Ângulo de abertura	85°

Fonte: O autor (2019).

Tendo em vista o limite de espaço para instalar o atuador na porta, estabeleceu-se que as dimensões do atuador não devem ser maiores que o corpo do limitador. As dimensões que permitem a instalação do atuador sem prejudicar a passagem da haste no corpo do limitador são apresentadas na Figura 57.

Figura 57 - Dimensões de instalação do atuador

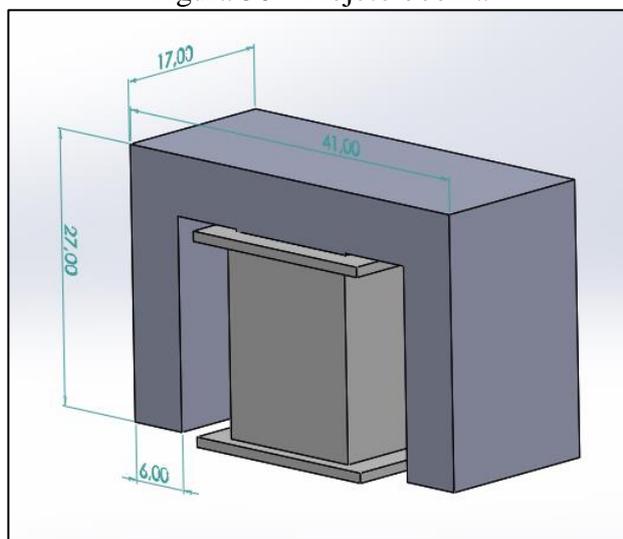


Fonte: O autor (2019).

Com as dimensões definidas, desenvolveu-se uma bobina utilizando núcleo do tipo E com material de ferro silício. Essa configuração de núcleo permite concentrar as linhas do

campo magnético dentro de sua geometria, tornando a força magnética aplicada maior. A Figura 58 mostra o projeto da bobina.

Figura 58 - Projeto bobina



Fonte: O autor (2019).

Com tais informações definiu-se A como sendo a multiplicação de 17 mm por 6 mm e g com valor de 0,25 mm. Convertendo de milímetros para metros e substituindo as dimensões estabelecidas na Equação 2, obtém-se:

$$Fb = \frac{\mu_0 \times 0,000102 \times N^2 \times i^2}{6 \times 0,00025^2} \quad (2)$$

A Tabela 2 de fios AWG permite selecionar o número do fio que melhor se aplica ao desenvolvimento da bobina, através da corrente e do diâmetro do fio para determinar o número de espiras que o espaço do enrolamento permite. Quanto maior o diâmetro do fio, maior será sua capacidade de suportar uma corrente alta, porém, o número de espiras dentro de uma determinada área diminui.

Tabela 2 - Fios AWG

Número AWG	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Nº de espiras por cm	Kg por Km	Resistência (ohms/Km)	Capacidade (A)
0	11,86	107,2	-	-	0,158	319
0	10,4	85,3	-	-	0,197	240
0	9,226	67,43	-	-	0,252	190
0	8,252	53,48	-	-	0,317	150
1	7,348	42,41	-	375	1,4	120
2	6,544	33,63	-	295	1,5	96
3	5,827	26,67	-	237	1,63	78
4	5,189	21,15	-	188	0,8	60
5	4,621	16,77	-	149	1,01	48
6	4,115	13,3	-	118	1,27	38
7	3,665	10,55	-	94	1,7	30
8	3,264	8,36	-	74	2,03	24
9	2,906	6,63	-	58,9	2,56	19
10	2,588	5,26	-	46,8	3,23	15
11	2,305	4,17	-	32,1	4,07	12
12	2,053	3,31	-	29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63	-	23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6
15	1,45	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,15	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6

Fonte: Instituto de Física (2012).

A Figura 59 mostra o equipamento utilizado para realizar o enrolamento da bobina.

Figura 59 - DMB 1005 CNC



Fonte: O autor (2019).

4. RESULTADOS

Seguindo a metodologia desenvolvida no capítulo 3, o atual capítulo apresenta os resultados obtidos.

4.1 COMPARATIVO DOS SENSORES

A execução do teste de tempo de medição dos sensores é mostrado na Figura 60.

Figura 60 - Teste tempo de medição sensores



Fonte: O autor (2019).

Os resultados obtidos no teste são apresentados na Tabela 3. Os valores indicam a distância que o sensor identificou a Spin entrando no seu campo de medição, sendo que seu valor máximo de medição foi programado para 3 m.

Tabela 3 - Resultados teste tempo de medição sensores

TESTE	HC-SR04	JSN-SR04T
30 km/h = 8,33 m/s		
Medição 1	2,48 m	2,92 m
Medição 2	2,50 m	2,94 m
Medição 3	2,37 m	2,89 m
Medição 4	2,41 m	2,94 m
Medição 5	2,39 m	2,91 m
Média	2,43 m	2,92 m
40 km/h = 11,11 m/s		
Medição 1	1,70 m	2,50 m
Medição 2	2,30 m	2,33 m
Medição 3	2,50 m	2,50 m
Medição 4	1,80 m	2,87 m
Medição 5	2,20 m	3,10 m
Média	2,10 m	2,66 m
60 km/h = 16,67 m/s		
Medição 1	1,25 m	1,85 m
Medição 2	1,27 m	1,80 m
Medição 3	1,34 m	2,30 m
Medição 4	1,32 m	1,60 m
Medição 5	1,27 m	1,90 m
Média	1,29 m	1,89 m

Fonte: O autor (2019).

Utilizando a Equação 9 e as médias obtidas para cada velocidade e sensor, foi possível comparar o tempo de medição dos sensores. O Quadro 4 apresenta esse comparativo.

Quadro 4 - Resultados tempos de medições sensores

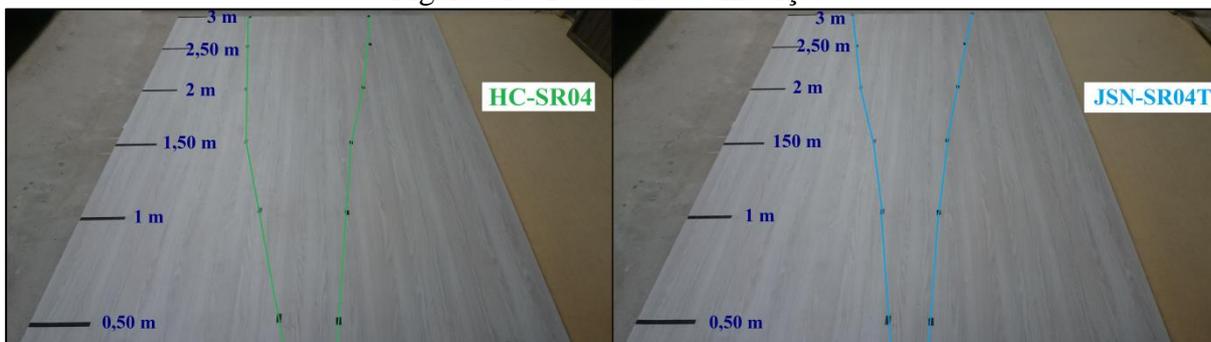
	HC-SR04	JSN-SR04T
30 km/h = 8,33 m/s	0,068 s	0,010 s
40 km/h = 11,11 m/s	0,081 s	0,031 s
60 km/h = 16,67 m/s	0,103 s	0,067 s

Fonte: O autor (2019).

Percebe-se que o sensor JSN-SR04T apresentou um tempo de medição superior ao do HC-SR04T para todas as velocidades estabelecidas. Essa maior velocidade de identificar objetos que entram no seu campo de atuação permite emitir os alerta sonoros e visuais com antecedência, como também, realizar o acionamento do atuador com maior velocidade.

Os resultados obtidos no teste para a determinação da área de medição dos sensores mostraram que o sensor HC-SR04 apresenta área de medição um pouco superior ao JSN-SR04T. A Figura 61 apresenta a realização do teste.

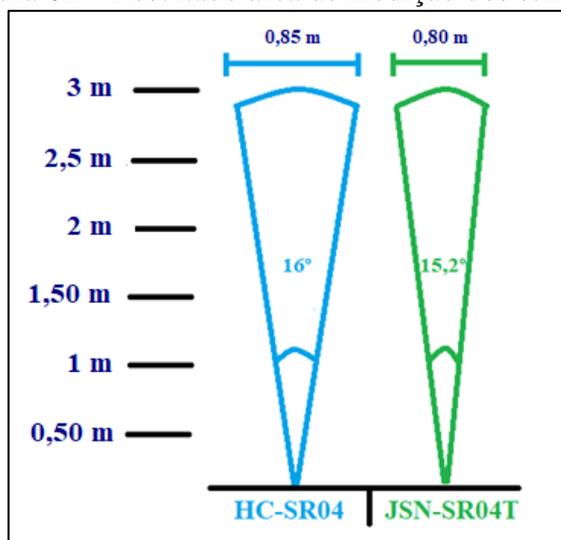
Figura 61 - Teste área de medição



Fonte: O autor (2019).

A área de medição do sensor HC-SR04, possuindo uma abertura máxima de 0,85 m para 3 m equivalendo a um ângulo de abertura de 16° . O sensor JSN-SR04T, possui uma abertura máxima de 0,80 m para 3 m, equivalendo a um ângulo de abertura de $15,2^\circ$. A Figura 62 ilustra os resultados.

Figura 62 – Resultado área de medição dos sensores



Fonte: O autor (2019).

A diferença da área de medição entre os sensores é pequena, sendo de $1,275 \text{ m}^2$ para o HC-S04 e $1,20 \text{ m}^2$ para o JSN-SR04T.

Com os resultados obtidos nos testes, o sensor JSN-SR04T apresentou um tempo de medição superior ao HC-SR04 em todas as velocidades, chegando a ser 6 vezes mais rápido

para velocidades de 30 km/h, 2,5 vezes mais rápido para velocidades de 40 km/h e 1,5 vezes mais rápido para velocidade de 60 km/h. Em contrapartida, apresentou uma área de medição inferior ao HC-SR04, tendo 0,075 m² a menos de área.

Por apresentar uma velocidade muito superior que o HC-SR04T e uma diferença de área pequena, optou-se por utilizar o sensor JSN-SR04T no trabalho. O sensor selecionado, também possui geometria que facilita sua implementação no automóvel. As Figura 63, 64 e 65 mostram a instalação do sensor, nas posições estabelecidas, na seção do automóvel.

Figura 63- Instalação sensor porta



Fonte: O autor (2019).

Figura 64 - Instalação sensor traseira



Fonte: O autor (2019).

Figura 65 - Instalação sensor parte interna da porta



Fonte: O autor (2019).

4.2 ALERTAS VISUAIS

O *display* foi instalado na parte interna do retrovisor como mostra a Figura 66. Os cabos de conexão foram passados no interior da porta e no vidro foi realizado o corte do material espelhado.

Figura 66 - Instalação *display*

Fonte: O autor (2019).

4.3 DESENVOLVIMENTO DO ATUADOR

Foram feitas 10 medições para determinar a força de abertura aplicada pelos ocupantes na porta. A Figura 67 mostra a realização das medições e a Tabela 4 mostra os resultados.

Figura 67 - Teste força de abertura



Fonte: O autor (2019).

Tabela 4 - Resultados força aplicada pelos ocupantes na porta

	Força aplicada (N)
Medição 1	2,35
Medição 2	2,6
Medição 3	2
Medição 4	1,9
Medição 5	2,3
Medição 6	2,2
Medição 7	2,4
Medição 8	2,45
Medição 9	2,3
Medição 10	2,1

Fonte: O autor (2019).

As medições realizadas através do dinamômetro mostram que a força média aplicada para abertura da porta pelos ocupantes é de $(2,26 \pm 0,2)$ N, visto que nesse valor já engloba a força de atrito das dobradiças que age contra o movimento de abertura. A aceleração angular da porta para esse valor de força é $0,137 \text{ rad/s}^2$.

Atribuindo o valor encontrado de 2,26 N para F_h e utilizando as informações do Quadro 3 na Equação 11, determinou-se a força necessária do atuador, representada por F_a , para realizar o bloqueio da porta.

$$F_b \times 0,16 \times \text{sen}(11,56) - 2,26 \times 0,60 = \left(\frac{(1,25 \times 1,1^3)}{12} + 0,625^2 \times 25 \right) \times (0,137) \quad (11)$$

A força do atuador para realizar o bloqueio da porta é de 84,61 N. Utilizando esse valor de F_b na Equação 2 foi possível determinar as melhores combinações de número de voltas por corrente que atenda esse valor de força.

Definiu-se que a bobina deveria ter 33 espiras e uma corrente de 16 A, em que o fio AWG 10 atenderia essa configuração. O resultado da construção da bobina é apresentado na Figura 68 e sua implementação no corpo do limitador na Figura 69. A mesma possui um peso de 200 gramas.

Figura 68 - Bobina desenvolvida



Fonte: O autor (2019).

Figura 69 - Implementação bobina no limitador



Fonte: O autor (2019).

4.4 ENSAIOS DO LIMITADOR ELETROMAGNÉTICO

Foi realizado o teste de força variando a corrente aplicada na bobina e através do dinamômetro foi medida a força que a bobina aplica na haste do limitador impedindo seu movimento. A Figura 70 mostra a execução do teste para uma corrente de 16 A, em que a força obtida foi de 81,33 N.

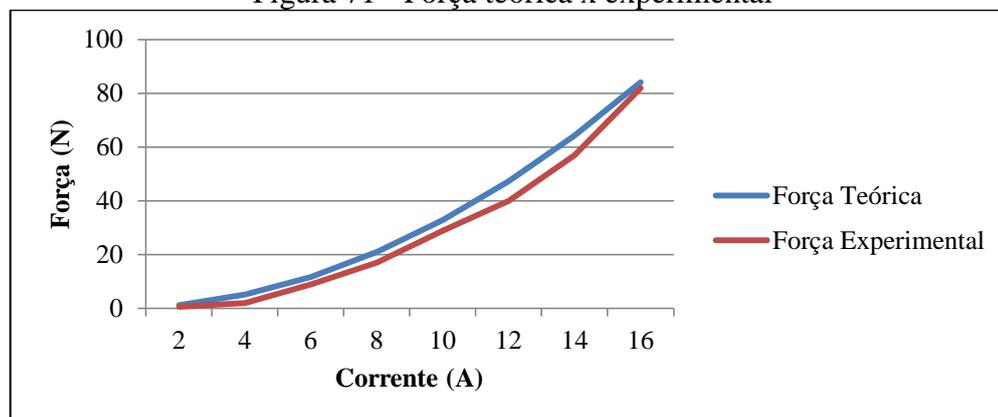
Figura 70 - Teste força bobina na haste em kgf



Fonte: O autor (2019).

Com a realização do teste foi possível desenvolver o gráfico apresentado na Figura 71 que compara o valor da força teórica e experimental em relação a corrente aplicada.

Figura 71 - Força teórica x experimental



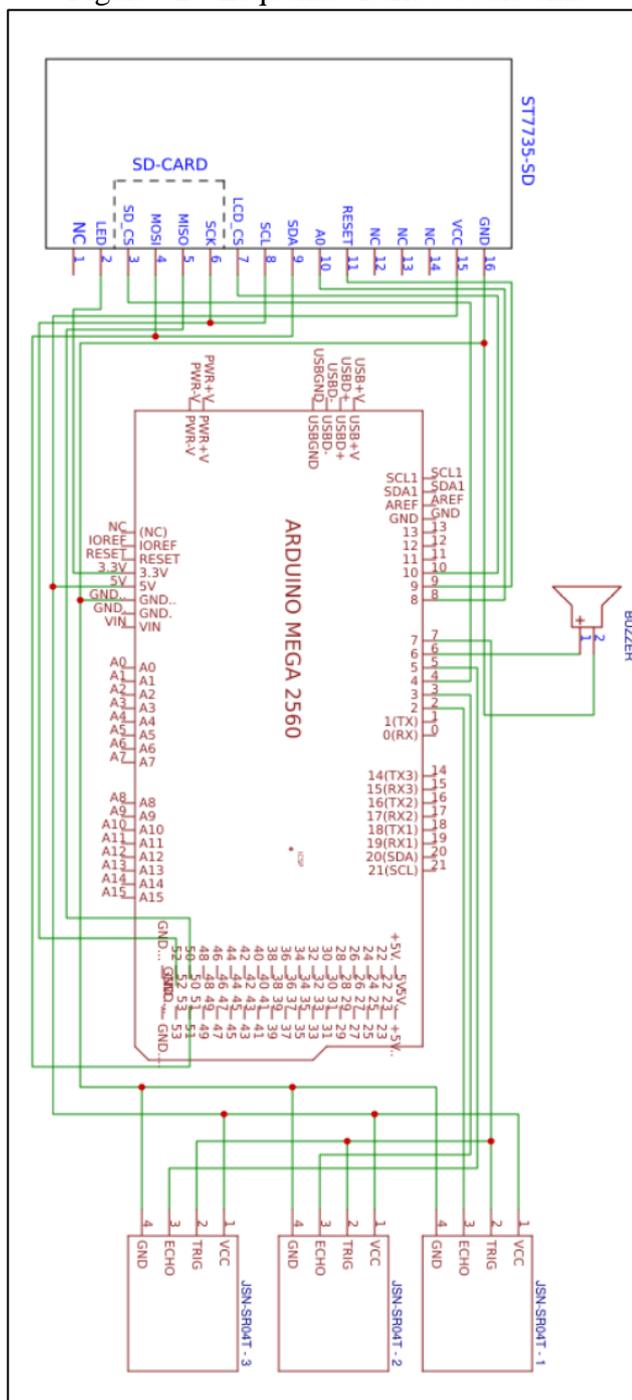
Fonte: O autor (2019).

A força experimental se assemelha a força teórica, sendo um pouco menor devido a perdas de energia provenientes dos cabos utilizados.

4.5 ESQUEMA ELÉTRICO DO SISTEMA

A Figura 72 mostra o esquema elétrico do sistema.

Figura 72 - Esquema elétrico do sistema

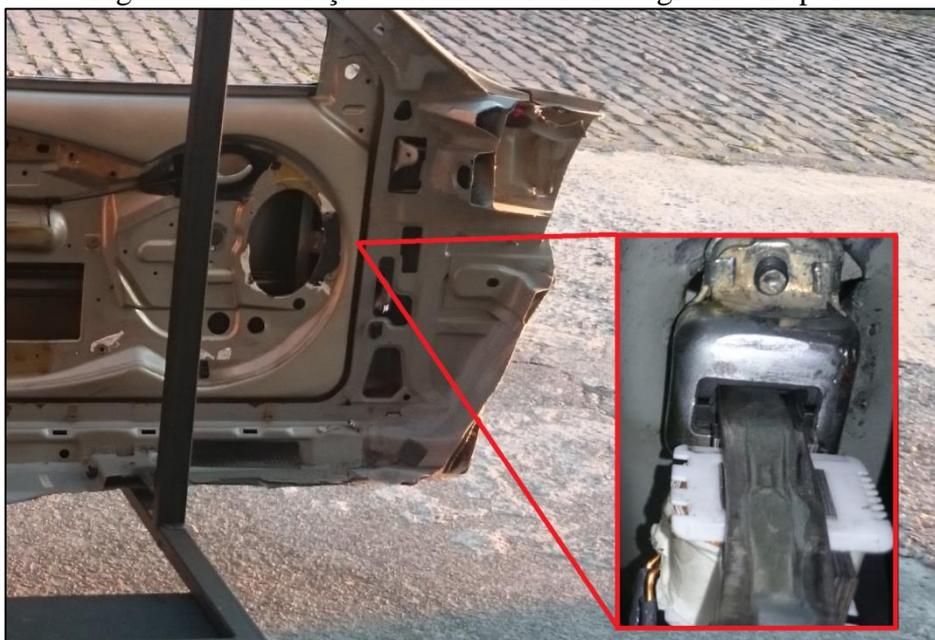


Fonte: O autor (2019).

4.6 TESTES DO LIMITADOR NA PORTA

Foi feita a instalação do limitador eletromagnético na seção da porta, como mostra a Figura 73.

Figura 73 - Instalação do limitador eletromagnético na porta



Fonte: O autor (2019).

Aplicando corrente na bobina e realizando a abertura da porta constatou-se que a força necessária para abertura é de 7,11 N, ou seja, os ocupantes devem aplicar uma força 3 vezes maior para abrir a porta. A medição da força foi feita utilizando um dinamômetro como no teste do capítulo 4.3. A Figura 74 mostra a realização do teste.

Figura 74 - Força de abertura com o atuador em kgf



Fonte: O autor (2019).

A resistência de abertura gerada pelo atuador é pouco perceptível pelos ocupantes, uma vez que o valor de 7,11 N é facilmente superado pelo esforço humano. Para os valores de forças captados, o atuador realiza o bloqueio, mas para criar uma resistência perceptível para os ocupantes deve-se realizar alterações no atuador, seja elas de tamanho, número de espiras ou corrente aplicada.

Para realizar o bloqueio total da porta será necessário projetar uma haste específica para aplicação, uma vez que a haste utilizada possui ondulações que compromete o contato do atuador em todos os pontos de abertura. O tamanho do atuador deve ser aumentado, garantindo uma quantidade maior de espiras e conseqüentemente uma maior força. Esse aumento deve ser realizado em conjunto com o espaço interno da porta.

O aumento da força do atuador deve tornar o bloqueio da porta perceptível pelos ocupantes, mas a abertura da porta poderá ser realizada pelos ocupantes se uma força mais intensa for aplicada, pois em casos de acidentes ou emergências os ocupantes conseguiram sair do automóvel.

4.7 CUSTO DO SISTEMA

A lista de componentes que são utilizados no sistema, como também seus preços são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Componentes e valores do sistema

Componentes	Quantidade	Preço unitário/metro/hora	Total
Arduino Mega 2560	1	R\$ 95 ,00	R\$ 95,00
Sensor ultrassom JSN-SR04T	3	R\$ 120,00	R\$ 360,00
<i>Buzzer</i>	1	R\$ 2,50	R\$ 2,50
<i>Display LCD</i>	1	R\$ 42,00	R\$ 42,00
Bobina (Fios e entreferro)	1	R\$ 60,00	R\$ 60,00
TOTAL			R\$ 559,50

Fonte: O autor (2019).

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do trabalho oportunizou a pesquisa dos diferentes tipos de sensores de proximidades. Entre esses, verificou-se que a utilização de um sensor ultrassom atende as necessidades do projeto, permitindo identificar qualquer tipo de objeto, ter faixas de medições adequadas ao trabalho e um tempo de medição rápido. Entre os dois modelos de sensores ultrassons selecionados para testes, o JSN-SR04T apresentou características que melhor atende as necessidades do projeto.

Devido às restrições de espaço de instalação na porta e peso a ser agregado, o atuador selecionado entre mecânicos, pneumáticos, magnéticos e hidráulicos, foi o magnético. O mesmo ocupou uma pequena área de instalação, agregando pouco peso na porta.

Os testes realizados do limitador eletromagnético na porta mostraram que para a força de abertura mensurada, o atuador cria uma força de resistência, mas tal força é pouco perceptível pelos ocupantes. Melhorias devem ser feitas para maximizar a força do atuador e torna-la perceptível. Destinar um maior espaço interno da porta para o limitador eletromagnético poderá proporcionar um aumento no seu tamanho e assim, uma maior quantidade de espiras na bobina, ampliando sua força. Outra melhoria é projetar uma haste específica para o limitador eletromagnético, ampliando a área de contato, otimizando a interação entre o atuador e haste.

Constatou-se que o limitador eletromagnético pode ser aplicado nas portas automotivas. Visto que esse trabalho apresentou a primeira versão do limitador eletromagnético, trabalhos futuros serão feitos para aperfeiçoar o dispositivo e amplificar sua força.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Os limitadores de portas automotivos utilizados atualmente possuem uma haste com geometria complexa que dependem das características da porta para seu desenvolvimento. O próximo passo a ser seguido é realizar o estudo para viabilizar a eliminação da haste com geometria complexa do limitador por uma haste de geometria mais simples, que otimize o trabalho em conjunto com o atuador. Essa análise será realizada utilizando softwares de simulação.

Sabe-se que a geometria da haste é a responsável por permitir pontos de paradas durante a abertura da porta para facilitar a saída dos ocupantes e evitar que a porta se volte

contra os mesmos. Com a utilização da bobina e um giroscópio implementado na porta será possível reconhecer em qual ângulo de abertura a porta se encontra e através da programação do microcontrolador estabelecer em quais ângulos a bobina será acionada para criar postos de paradas iguais aos da haste utilizada atualmente. Isso facilitará o desenvolvimento de limitadores de porta e permitirá a aplicação do limitador em qualquer veículo.

5.2 PATENTE

Foram feitas diversas pesquisas sobre limitadores de porta e todos os resultados encontrados utilizavam molas ou borrachas para criar uma força de resistência na haste do limitador. Por não encontrar nenhum projeto semelhante ao de um limitador eletromagnético no mercado criou-se a oportunidade de abrir um pedido de patente do projeto junto a Universidade de Caxias do Sul, visto que tal produto possui um grande mercado para aplicação. O projeto encontra-se nos escritórios especializados parceiros da universidade para análise de patente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBINOT, Alexandre. **Instrumentação e fundamentos de medidas**, v.2. 2. Rio de Janeiro LTC 2011.

CHEVROLET. **Chevrolet Sonic repair manual: front side door check link replacement**. 2014. Disponível em: <http://www.csmans.com/front_side_door_check_link_replacement-823.html>. Acessado em: 04 jun. 2019.

CTB. **Artigo 49**. 1997. Disponível em: <<http://www.ctbdigital.com.br/artigo/art49>>. Acessado em: 27 mar. 2019.

CTB. **Artigo 61**. 1997 Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503.htm>. Acessado em: 19 jun. 2019.

CONTRAN. **Resolução Nº 717**. 2017. Disponível em: <<https://www.denatran.gov.br/images/Resolucoes/Resolucao7172017.pdf>>. Acessado em: 23 mar. 2019.

CRUZEIRO FM. **Ponto cego do veículo: atitudes podem evitar acidentes**. 2018. Disponível em: <<https://www.cruzeirofm.com.br/ponto-cego-do-veiculo-atitudes-podem-evitar-acidentes/>>. Acessado em: 31 mar. 2019.

DE NEGRI, Victor Juliano. **Sistemas hidráulicos e pneumáticos para automação e controle: parte I – princípios gerais da hidráulica e pneumática**. Florianópolis: Universidade de Santa Catarina, 2001. Disponível em: <<http://laship.ufsc.br/site/wp-content/uploads/2013/06/SistHPContAutP1.pdf>>. Acessado em: 26 abr. 2019.

DENATRAN. **Portaria 159/2017**. 2017. Disponível em: <<https://infraestrutura.gov.br/images/Portarias-Denatran/2017/Portaria1592017.pdf>>. Acessado em: 24. Ago. 2019.

DEPOSITPHOTOS. **Conjunto de ícones do volante**. 2014. Disponível em: <<https://br.depositphotos.com/49658193/stock-illustration-set-icons-of-steering-wheel.html>>. Acessado em: 24 ago. 2019.

DEPOSITPHOTOS. **Segurança auto**. 2017. Disponível em: <<https://br.depositphotos.com/171691488/stock-illustration-auto-safety-flat-vector-icons.html>>. Acessado em: 02 set. 2019.

DEPOSITPHOTOS. **Acidente motorista abre porta carro**. 2018. Disponível em: <<https://pt.depositphotos.com/204896230/stock-illustration-accident-driver-opens-car-door.html>>. Acessado em: 24 mar. 2019.

DIAS, Victor da Fonte. **Sebenta multimídia: análise de circuitos elétricos**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 1999. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/eng04030/Aulas/teoria/capa.htm>>. Acessado em: 05 abr. 2019.

FURTADO, Rogério Mendonça. **Desenvolvimento de um atuador magnético para excitação sem contato de sistemas rotativos**. São Paulo: Universidade Estadual de Campinas, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/262899/1/Furtado_RogérioMendonca_D.pdf>. Acessado em 12 jun. 2019.

HALLIDAY, David. **Fundamentos de física, v.3 : eletromagnetismo**. 10. São Paulo LTC 2016.

IBPT. **Frota brasileira de veículos em circulação**. 2018. Disponível em: <<https://ibpt.com.br/noticia/2640/REAL-FROTA-CIRCULANTE-NO-BRASIL-E-DE-65-8-MILHOES-DE-VEICULOS-INDICA-ESTUDO>>. Acessado em: 08 mar. 2019.

INSTITUTO DE FÍSICA. **Tabela de fios AWG**. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~mittmann/tabela_de_fios.pdf>. Acessado em: 28 out. 2019.

JEI A. J. **A study on the methodology for improving IQS score for door opening/closing effort**. SAE technical Paper Series, 2011-01-0777, 2011.

KERSCHBAUMER. **Microcontroladores**. Luzerna: Instituto Federal Catarinense, 2012. Disponível em: <<http://professor.luzerna.ifc.edu.br/ricardo-kerschbaumer/wp-content/uploads/sites/43/2018/02/Apostila-Microcontroladores.pdf>>. Acessado em: 03 mai. 2019.

LIMPERT, Rudolf. **Brake design and safety**. Warrendale, PA, EUA: Society of automotive engineers (SAE), 1992.

MEHL, E. L. d. M. **Sistemas eletrônicos embarcados**. [S.l.]: Universidade Federal do Paraná, 2011.

MOZZONE, Maurizio. **Study of the door closing performance of an aluminum door**. Dissertação de Mestrado em Ciências Aplicadas, University of Windsor, Windsor, 2013. Disponível em: <<https://scholar.uwindsor.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=5921&context=etd>>. Acessado em: 12 jun. 2019.

KAVTHEKAR, Navalkumar; BADADHE, Avinash. **Numerical analysis of door closing velocity for a passenger car**. Pune University, Maharashtra, 2015. Disponível em: <<http://airccse.org/journal/ijci/papers/4215ijci01.pdf>>. Acessado em: 08 de ago. 2019.

NAYAK, Raviraj; IM, Kee. **Axiomatic design of the check link for an automotive side closure system**. SAE Technical Paper Series, 2006-01-1205,2006.

DNER. **Normas para projeto das estradas de rodagem**. 1950. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviaras/faixa-de-dominio/normas-projeto-estr-rod-reeditado-1973.pdf>>. Acessado em: 19 jun. 2019.

OKI, Nobuo; MANTOVANI, Suely Cunha Amaro. **Microcontroladores PIC**. São Paulo: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2013. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/microcontroladores-_pic-1.pdf>. Acessado em: 03 mai. 2019.

ONU. **Resolução A/64/L44**. 2010. Disponível em: <<https://undocs.org/A/64/L.44/Rev>>. Acessado em: 23 mar. 2019.

PARADA. **Pacto nacional pela redução de acidentes**. 2012. Disponível em: <<https://www.paradapelavida.com.br/lancamento-do-parada/>>. Acessado em: 17 mar. 2019.
PEIN, Wayne. **San Francisco's shared lane pavement markings: improving bicycle safety**. 2010. Disponível em: < <https://bicyclingmatters.files.wordpress.com/2010/01/critique-of-san-fran-shared-use-report21.pdf> >. Acessado em: 22 abr. 2019.

PEREIRA, Fernando Domingues. **Estudo do esforço de fechamento de portas automotivas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Automotiva, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://www.automotiva-poliusp.org.br/wp-content/uploads/2009/07/Pereira-Fernando-Domingues.pdf>>. Acessado em: 17 mai. 2019.

PEREIRA, Fernando Domingues. **Desenvolvimento e validação experimental de modelo para cálculo e análise de confiabilidade do esforço de fechamento de portas automotivas**. Tese de Doutorado em Engenharia Automotiva, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-07072016-142720/pt-br.php>>. Acessado em: 02 jun. 2019.

REVISTA BICICLETA. **Como evitar ser atropelado por carros**. 2018. Disponível em: <<https://revistabicicleta.com/dicas/como-evitar-ser-atropelado-por-carros/>>. Acessado em: 24 mar. 2019.

RIGHETTO, Jefferson. **Construção Funcional: Uma abordagem do desenvolvimento de componentes individuais da carroceria, com foco no veículo completo, integrando o produto, o processo e a manufatura**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Automotiva, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <https://www.automotiva-poliusp.org.br/wp-content/uploads/2013/02/righetto_jefferson.pdf>. Acessado em: 18 mai. 2019.

ROBERT BOSCH GMBH. **Manual de tecnologia automotiva**. São Paulo: E. Blücher, 2005.

SILVA, Emílio Carlos Nelli. **Apostila de Pneumática**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2002. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/d/pmr2481/pneumat2481.pdf>>. Acessado em: 26 abr. 2019.

SOLOMAN, Sabrie. **Sensores e sistemas de controle na indústria**. 2. Rio de Janeiro LTC 2012.

SOUZA, David José. **Desbravando o PIC: Ampliado e Atualizado para PIC 16F628A**. 8ª ed. São Paulo, SP, Brasil: Érica, 2005.

THOMAZINI, Daniel. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 8. São Paulo Erica 2011.

WEBSTER, John G. **The measurements, instrumentation, and sensors: handbook**. Boca Raton: Crc Press Llc, 1999.