

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**JONATHAN PAULO MENTGES**

**SISTEMA ESPECIALISTA DE BAIXO CUSTO PARA AUXÍLIO DE  
ESTACIONAMENTO PARALELO**

**São Leopoldo  
2018**

JONATHAN PAULO MENTGES

SISTEMA ESPECIALISTA DE BAIXO CUSTO PARA AUXÍLIO DE  
ESTACIONAMENTO PARALELO

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Graduado em  
Engenharia, pelo Curso de Engenharia  
Elétrica da Universidade do Vale do Rio  
dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Jean Schmith

São Leopoldo

2018

## **AGRADECIMENTOS**

A finalização deste trabalho significa não apenas mais um trabalho concluído, mas sim a conclusão de mais uma etapa de minha vida acadêmica. Durante todas essas etapas, sempre tive o apoio de meus pais, minha principal fonte de influência e inspiração, e que nunca mediram esforços para me dar todo o apoio necessário, ao qual sou eternamente grato. Gratidão por tudo o que sempre fizeram por mim, por fazerem de mim quem eu sou hoje.

À minha namorada, Anelise Hugentobler, agradeço pela ajuda durante os testes, pela paciência e atenção durante as incontáveis horas que passei neste trabalho e todos os momentos de dificuldades.

Ao meu orientador, Jean Schmith, muito obrigado pelo tempo disponibilizado a este trabalho, pelas sugestões e revisões.

Também a todos os professores e amigos que diretamente ou indiretamente me ajudaram a chegar até aqui, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A condução de veículos por vezes se mostra uma tarefa que requer perícia para ser realizada, sendo que uma das principais dificuldades encontradas pelos motoristas é a tarefa de estacionar o veículo em uma vaga do tipo paralela entre dois veículos. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema eletrônico de baixo custo que seja capaz de auxiliar o motorista a encontrar uma vaga de tamanho suficiente para estacionar e a posicionar o carro de forma adequada dentro da vaga. Para que o sistema possa realizar essa tarefa, ele deve ler o ambiente em torno do veículo, bem como medir o deslocamento do carro e seu ângulo de esterço, determinado pela posição do conjunto direção e rodas dianteiras, a fim de poder calcular e orientar o condutor a estacionar corretamente. A partir da utilização deste sistema, estacionar o veículo em vaga paralela será uma tarefa de menor complexibilidade, pois remove a necessidade de decisão do usuário quanto as movimentações necessárias sobre o veículo. Cabe ressaltar que o sistema proposto possui atuação indireta sobre veículo, ou seja, não substitui o condutor durante a manobra de estacionamento.

**Palavras-chave:** estacionamento paralelo; sistema de auxílio; baixo custo.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Etapas do estacionamento paralelo. ....	15
Figura 2 - Volkswagen® Tiguan® .....	17
Figura 3 - Ford® Fusion®.....	18
Figura 4 - Tesla® Model S®.....	19
Figura 5 - Cobertura dos sensores do Tesla Model S .....	20
Figura 6 – Veículo de quatro rodas como o modelo de Ackerman.....	21
Figura 7 – Modelo matemáticos simplificado da Bicicleta .....	22
Figura 8 – Parâmetros do veículo .....	23
Figura 9 – Processo de detecção da vaga .....	25
Figura 10 – Encoder óptico. ....	27
Figura 11 – Sensor de Ultrassom.....	28
Figura 12 – Propagação das ondas sonoras.....	29
Figura 13 – Posicionamento do veículo para início do estacionamento.....	29
Figura 14 – Primeira etapa da manobra de estacionamento.....	31
Figura 15 – Segunda etapa da manobra de estacionamento.....	31
Figura 16 – IRCs descritos pelo veículo.....	33
Figura 17 – Honda® Civic® 2011.....	38
Figura 18 – Projeto do encoder da barra de direção .....	41
Figura 19 – Esquema elétrico do circuito do sensor de esterço.....	42
Figura 20 – Sensor de esterço instalado sob o painel do carro.....	43
Figura 21 - Sensor de esterço instalado sob o painel do carro .....	44
Figura 22 – Conector do sensor de esterço .....	44
Figura 23 – Encoder da roda traseira.....	45
Figura 24 - Esquema elétrico do circuito do sensor de deslocamento .....	46
Figura 25 – Sensor de deslocamento e sensor de distância lateral .....	47
Figura 26 – Suporte do sensor de deslocamento e sensor de distância lateral .....	48
Figura 27 – Sensor Ultrassônico HC-SR04.....	49
Figura 28 – Shield com microcontrolador e display.....	50
Figura 29 – Informações preliminares do software.....	51
Figura 30 – Leitura da vaga.....	51
Figura 31 – Posicionamento do veículo .....	52
Figura 32 – Primeira parte da manobra de entrada na vaga de estacionamento.....	52

Figura 33 – Segunda parte da manobra de entrada na vaga de estacionamento.....	53
Figura 34 – Etapas finais do estacionamento.....	53
Figura 35 – Fluxograma do software de controle .....	54
Figura 36 – Valor medido x Valor real .....	56
Figura 37 – Erro de indicação do sensor de deslocamento .....	60
Figura 38 – Estacionamento sem influência do usuário .....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros do veículo.....	24
Tabela 2 – Parâmetros do Honda® Civic® .....	39
Tabela 3 – Resposta dos sensores do encoder da direção .....	42
Tabela 4 – Resposta do sensor de distância lateral.....	56
Tabela 5 – Resultado da medição do tamanho da vaga .....	57
Tabela 6 – Resultados da manobra de estacionamento .....	59
Tabela 7 – Influência da variação do ângulo do carro.....	62
Tabela 8 – Alteração do ângulo de esterço.....	63
Tabela 9 – Alteração do ângulo de esterço.....	63

## LISTA DE SIGLAS

$\dot{\varnothing}$	Velocidade angular em relação à referência inercial do carro
$p_t$	Quantidade total de pulsos do encoder em uma volta da roda
$\dot{x}$	Velocidade linear na coordenada x
$x_d$	Distância percorrida na possível vaga
$x_f$	Distância para centralizar o veículo na vaga
$x_m$	Distância percorrida pelo veículo sobre o arco do ICR
$x_{min}$	Espaço mínimo para poder manobrar o carro
$x_r$	Referência Inercial do veículo no plano “x”
$\dot{y}$	Velocidade linear na coordenada y
$y_r$	Referência Inercial do veículo no plano “y”
$\theta$	Ângulo de esterço do carro
$\theta_l$	Ângulo de esterço da roda esquerda
$\theta_r$	Ângulo de esterço da roda direita
$\varnothing$	Ângulo de orientação do veículo
a	Distância entre rodas
b	Distância entre o eixo traseiro e a traseira do veículo
c	Circunferência da roda
L	Comprimento do veículo
P	Pontos de referência na manobra de estacionamento
R	Raio do movimento descrito pelo veículo
V	Velocidade longitudinal do veículo
W	Largura do veículo
O	Centro dos ICRs impostos pelo ângulo de esterço do carro
l	Distância entre eixos do carro
p	Quantidade de pulsos do encoder durante a medição
$\beta$	Ângulo da reta euclidiana que liga os pontos P1 e P3
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAN	Controller Area Network
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
ECU	Electronic Control Unit
ICR	Instantaneous Center of Rotation



IHM Interface Homem Máquina

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 Definição do Tema ou Problema</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2 Delimitações do Trabalho</b> .....	<b>12</b>
<b>1.3 Objetivos</b> .....	<b>13</b>
1.3.1 Objetivo Geral .....	13
1.3.2 Objetivos Específicos .....	13
<b>1.4 Justificativa</b> .....	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1 Estacionamento Paralelo</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2 Estado da Arte</b> .....	<b>16</b>
2.2.1 Volkswagen® Tiguan® .....	16
2.2.2 Ford® Fusion® .....	18
2.2.3 Tesla® Model S® .....	19
<b>2.3 Modelo matemático do veículo</b> .....	<b>20</b>
<b>2.4 Modelo matemático do sistema especialista</b> .....	<b>24</b>
2.4.1 Detecção da Vaga .....	25
2.4.2 Encoder .....	27
2.4.3 Sensor de Ultrassom .....	28
2.4.4 Posicionamento do veículo .....	29
2.4.5 Manobra do veículo .....	30
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1 Etapas de elaboração do sistema</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2 Veículo de teste</b> .....	<b>38</b>
<b>3.3 Aquisição de dados pela CAN</b> .....	<b>39</b>
<b>3.4 Sensor de esterço</b> .....	<b>40</b>
<b>3.5 Sensor de deslocamento</b> .....	<b>45</b>
<b>3.6 Sensor de distância lateral</b> .....	<b>48</b>
<b>3.7 Microcontrolador e display</b> .....	<b>49</b>
<b>3.8 Software de controle</b> .....	<b>50</b>
<b>4 ANÁLISE DE RESULTADOS</b> .....	<b>55</b>
<b>4.1 Avaliação do sensor de distância lateral</b> .....	<b>55</b>
<b>4.2 Medição do tamanho da vaga</b> .....	<b>57</b>

<b>4.3 Teste da manobra de estacionamento .....</b>	<b>58</b>
<b>4.4 Influência do usuário na manobra de estacionamento.....</b>	<b>61</b>
4.4.1 Variação do ângulo do carro .....	61
4.4.2 Variação do ângulo da direção .....	62
<b>4.5 Custos do sistema .....</b>	<b>64</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO A – PARTE DO MANUAL DO SENSOR HC-SR04 .....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas eletrônicos embarcados tem crescido largamente na indústria automobilística, auxiliando e acrescentando segurança para a condução dos veículos. Como exemplo desses sistemas cito os sistemas de assistência para estacionamento, sistema para permanência na faixa de rolagem, detecção de colisão frontal e lateral e até mesmo a condução autônoma dos veículos, conhecida como *Autopilot* (Tesla, 2017).

As aplicações em sistemas embarcados, como exemplo das descritas anteriormente, são tarefas complexas e que exigem a integração de muitos campos de conhecimento. Para solucionar problemas de deslocamento, o sistema deve entender a mecânica e cinemática do dispositivo controlado, suas dinâmicas e teoria de controle. Para criar um sistema de percepção do ambiente robusto, o sistema embarcado deve ser capaz de analisar os sinais e processar os mais variados tipos de tecnologias de sensores (Siegwart, 2011).

O desenvolvimento dessas tecnologias tem inspiração em dois focos distintos: segurança e criação de facilidades para o condutor. O grande número de acidentes nas cidades e rodovias vem instigando as montadoras a desenvolverem sistemas que possam prever situações em que os usuários não consigam ou tenham pouca perícia para evitar, diminuindo assim colisões que levariam a perdas materiais ou de vidas. Em relação às tarefas de facilitação na condução para o motorista, um dos principais é o sistema de auxílio para estacionamento, tarefa esta que muitos motoristas têm dificuldades em executar. Segundo informações levantadas pelo Departamento de Trânsito do Rio Grande do Sul (DETRAN-RS, 2015 e 2017), na região metropolitana de Porto Alegre, 53% dos candidatos que tentaram obter a carteira de habilitação da categoria B, veículos leves, reprovaram por não executar satisfatoriamente a baliza, sendo dois dos principais fatores o excesso de tempo para realização da manobra e colisão com os limitadores de deslocamento.

Para solucionar o problema de estacionamento, as empresas desenvolveram inicialmente um sistema composto por sensores ultrassom instalados nos para-choques dos carros, informando ao condutor a distância que o veículo se encontrava do outro; o próximo passo dado foi a instalação de câmeras de ré, fornecendo ao condutor a imagem da região posterior ao veículo; e atualmente, os sistemas mais modernos contam com, além dos anteriores, um sistema automatizado ou semi-

automatizado para vagas do tipo paralela ou perpendicular, conduzindo o veículo total ou parcialmente independente da ação do motorista para a vaga desejada.

### **1.1 Definição do Tema ou Problema**

Estacionar um carro em uma vaga paralela é uma tarefa complexa, pois é necessário mensurar a vaga, posicionar corretamente o veículo e manobra-lo para dentro da vaga, tudo isso muitas vezes em meio a um trânsito conturbado. Dependendo do tipo de veículo utilizado, as condições e dificuldades mudam, como exemplo de grandes camionetas e veículos de carga sem o retrovisor central, limitando assim a visão da parte posterior ao veículo.

Para facilitar essa tarefa, sistemas auxiliares ajudam o condutor a manobrar e posicionar o veículo corretamente. Os mais simples utilizam sensores ultrassom instalados nos para-choques traseiros e dianteiros, que informam ao motorista a distância do veículo aos objetos, como também câmeras de ré, fornecendo a imagem da parte traseira do carro. Os dispositivos mais sofisticados possuem sistemas eletrônicos, que, dependendo o veículo, manobra o carro para a vaga desejada sem nenhum tipo de interferência do condutor.

Sistemas de estacionamento automáticos estão disponíveis apenas em modelos mais recentes de automóveis e têm um custo agregado muito elevado. O objeto de estudo e desenvolvimento deste trabalho é elaborar um sistema que analise o ambiente no entorno do veículo e dê as coordenadas para auxiliar o condutor no estacionamento paralelo, que possa ser instalado em um veículo que originalmente não contém esta função.

### **1.2 Delimitações do Trabalho**

Este trabalho visa desenvolver um dispositivo eletrônico especialista para auxílio de estacionamento em vaga paralela, alocando o veículo entre outros dois carros e deixando-o alinhado com o calçamento, através de uma Interface Homem Máquina (IHM). Conforme o código de trânsito brasileiro (BRASIL, 1997), artigo 181, incisos II e III, considera-se infração estacionar o veículo afastado a mais de meio

metro do calçamento. Portanto, para considerar um estacionamento com sucesso, foi definida como distância máxima meio metro entre o carro e o calçamento, bem como a não colisão com nenhum veículo já estacionado.

Quanto ao motorista, suas atribuições são restritas ao controle do volante, acelerador e freio, atuando de acordo com as orientações providas do sistema especialista de auxílio para estacionamento.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Desenvolver um sistema eletrônico de baixo custo que seja capaz de auxiliar o usuário de um automóvel a estacionar corretamente o carro em uma vaga do tipo paralela, fazendo a medição da vaga e orientando-o durante a manobra de estacionamento.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- a) Obter as variáveis de controle do carro, como deslocamento e ângulo de esterço;
- b) Realizar a leitura do ambiente que se encontra ao redor do carro;
- c) Desenvolver um *software* que adquira os dados de campo e calcule as atuações necessárias para cada etapa da manobra de estacionamento;
- d) Desenvolver uma interface para que o usuário possa fazer a leitura dos dados durante o processo.

### **1.4 Justificativa**

A condução de veículos é uma função que exige capacitação e perícia dos usuários para que possa ser feita de forma correta e eficiente. Estacionar o carro nem sempre é uma tarefa fácil, exigindo certa perícia do condutor, o que acaba se tornando um incômodo para muitas pessoas.

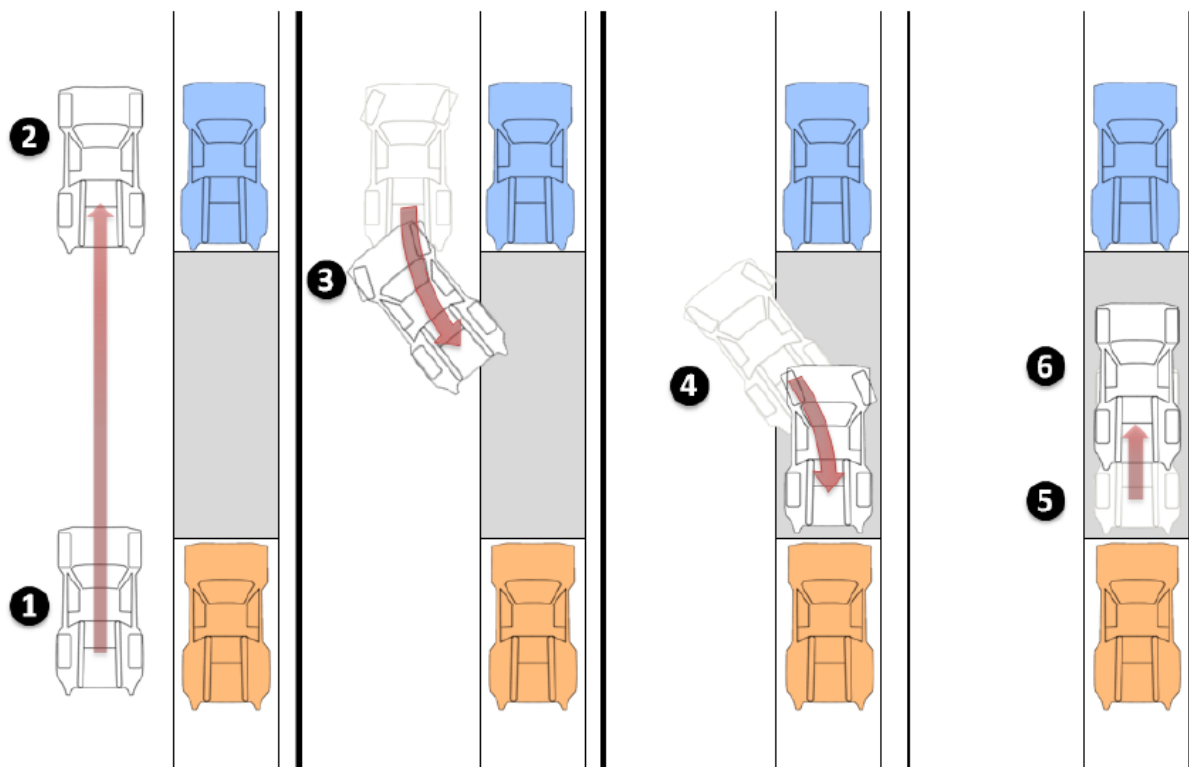
As provas de habilitações para a categoria B, veículos leves, mostram que mais da metade dos candidatos não conseguem finalizar a baliza satisfatoriamente, sendo reprovados, conforme o DETRAN-RS (2015 e 2017). Para isso, a utilização de sistemas de auxílio para estacionamento se torna uma ferramenta importante para os condutores, pois substitui total ou parcialmente a tarefa do condutor de mensurar a vaga, posicionar e manobrar o veículo corretamente.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Estacionamento Paralelo

O estacionamento de um veículo em uma vaga do tipo paralela consiste em colocar o veículo entre dois carros em linha reta em paralelo com o calçamento. Conforme Andrade (2011) e S. H. Jeong (2009), para que esta tarefa possa ser executada em uma única manobra, podemos dividi-la em algumas etapas, conforme Figura 1.

Figura 1– Etapas do estacionamento paralelo.



Fonte: Andrade (2011, p. 8).

As etapas podem ser divididas em 6 partes, sendo elas:

1. Localizar uma vaga que seja de um tamanho suficiente para o veículo poder manobrar, movendo-se em linha reta paralelamente à vaga;
2. Parar o veículo quando o para-choque do veículo estacionado à frente estiver na mesma linha do para-choque do carro em movimento;



3. Mover a direção para o lado do calçamento e engatar a marcha ré, e lentamente movimentar o veículo para dentro da vaga desejada, até que o carro esteja posicionado no meio do movimento de marcha ré;
4. Quando o veículo estiver no meio do movimento de marcha ré, girar o volante para o sentido oposto ao que estava, ou seja, para o lado oposto ao calçamento, e continuar o movimento de ré;
5. Executar o movimento de ré até que o veículo esteja paralelo ao calçamento, parando então o carro;
6. Alinhar as rodas do veículo com o calçamento, engatar a marcha para frente e avançar até que o carro alcance o centro da vaga, finalizando a manobra da baliza.

Todas as manobras descritas dependem de uma correta avaliação e atuação do condutor. Como exemplos: parar o carro no lugar certo antes de entrar na vaga, esterçar corretamente o volante, saber onde virar o volante para o outro lado e evitar colidir com os veículos à frente e atrás. Portanto, cada tomada de decisão do motorista afeta a etapa seguinte, sendo esta a dificuldade na manobra de estacionar, agir corretamente e no momento exato.

Um controlador eletrônico que auxilie o motorista na tarefa de estacionar o carro na vaga paralela deve ser capaz de, no caso de estudo proposto neste trabalho, calcular e tomar todas as decisões necessárias para que essa tarefa seja realizada com sucesso. Para isso, o condutor deve controlar o ângulo do volante de acordo com a indicada pelo equipamento e seguir suas orientações quanto à marcha e deslocamento do veículo.

## **2.2 Estado da Arte**

### **2.2.1 Volkswagen® Tiguan®.**

O Volkswagen® Tiguan® foi o primeiro carro a ser lançado no Brasil com um sistema de auxílio para estacionamento. O modelo foi trazido em 2010 com o sistema chamado *Park Assist* (somente esse sistema custava R\$3.765,00).

Esta novidade trazida pela Volkswagen® tinha a função de guiar o carro em vagas paralelas e perpendiculares. Para isso, são utilizados sensores nos para-

choques e uma câmera de ré, esta que não possui função inteligente, sendo somente para auxílio visual do usuário, conforme o manual do veículo (Volkswagen, 2010).

Figura 2 - Volkswagen® Tiguan®



Fonte: Volkswagen (2017, p. 1)

Para as vagas paralelas, o motorista necessita acionar um botão de comando no console central antes de passar pela vaga desejada. Estando ativado o sistema, o carro passa pela vaga e mede se o espaço necessário é suficiente. Sendo suficiente, o carro avisa o condutor que é possível estacionar através de uma tela no painel de instrumentos, mostrando os carros já estacionados e a vaga de estacionamento. A função do carro durante o processo de estacionar é somente movimentar o volante e mostrar as ações ao motorista, que fica responsável por acelerar, frear e mudar a posição do câmbio de marchas.

Em relação à vaga perpendicular, o carro apenas mostra no *display* central a imagem da câmera de ré com duas faixas da trajetória do carro, sendo o motorista o responsável por toda a manobra.

A versão mais recente do Tiguan®, o modelo 2017, vem equipado com o *Park Assist 2*, que possui a função de estacionar perpendicularmente de forma similar ao

utilizado em vagas paralelas, atuando no volante do veículo enquanto o condutor controla acelerador, freio e câmbio (Volkswagen, 2017).

### 2.2.2 Ford® Fusion®

Atualmente muitas marcas possuem sistemas similares ao apresentado pela Volkswagen® em 2010. Como exemplo o Ford® Fusion® 2017, Figura 3.

Figura 3 - Ford® Fusion®



Fonte: Ford (2016, p. 1)

O Ford® Fusion® vem com um conjunto bastante vasto de complementos eletrônicos para auxiliar o motorista durante a condução do veículo. Dentre as facilidades, estão inclusos sistema de permanência em faixa, sistema de informação de ponto cego, alerta de tráfego cruzado, *active city stop*, assistente pré-colisão, sistema de auxílio para estacionamento. Todos esses sistemas utilizam sensores ao redor do carro para detectar o ambiente e atuar ou auxiliar o motorista (Ford, 2016).

No caso de estudo, o sistema de auxílio para estacionamento, seu funcionamento é igual ao do Volkswagen® Tiguan®, o veículo mede a vaga, atua no volante enquanto o condutor fica responsável pelos demais comandos.

O que fica ressaltado em todo o manual do veículo é a advertência de que nenhuma ação de auxílio do carro substitui o comando do motorista, este que deve estar sempre supervisionando as ações do veículo e intervir caso necessário, ficando sob responsabilidade do motorista qualquer ação do veículo.

### 2.2.3 Tesla® Model S®

O Tesla Model S, Figura 4, é um automóvel com tração totalmente elétrica que possui a mais avançada tecnologia quanto a sensoriamento e auxílio ao motorista. Este carro não somente é o único a estacionar sozinho, como também a possuir o sistema *Autopilot*, um sistema autônomo que dirige o carro para o motorista, bastando informar o destino desejado, conforme o manual do veículo (Tesla, 2017).

Figura 4 - Tesla® Model S®

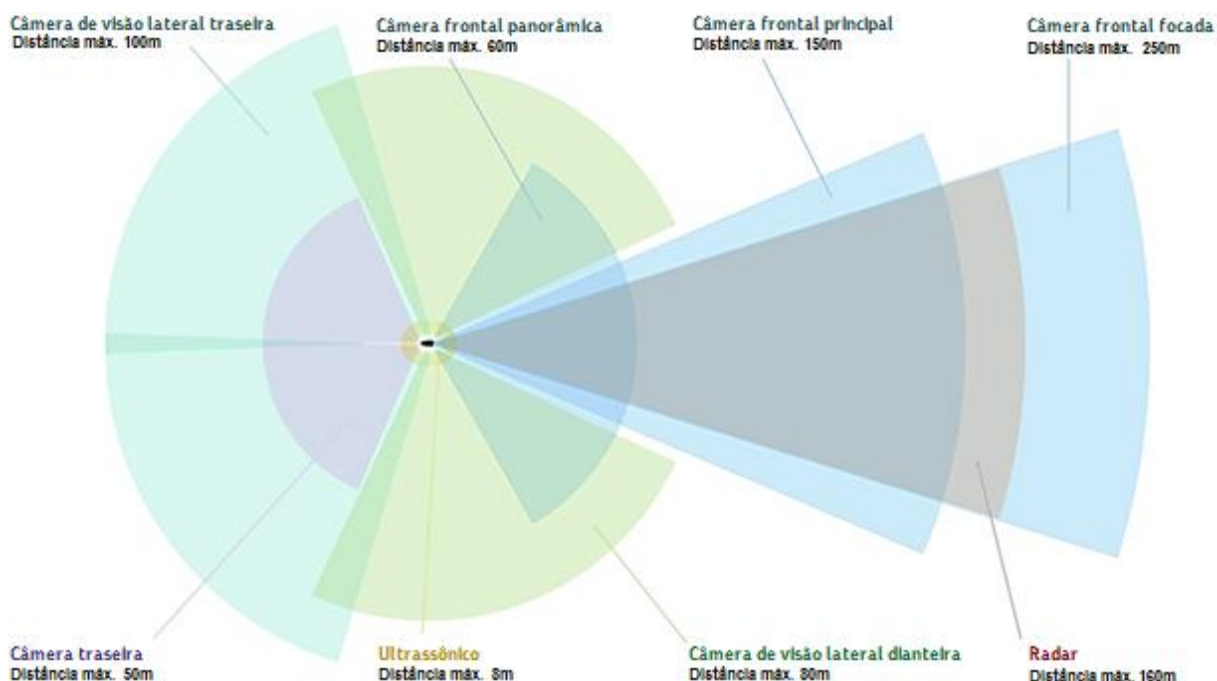


Fonte: Tesla (2017, p. 1)

Para todas funções do veículo, o Tesla® Model S® conta com um gama de sensores, conforme Figura 5. São eles: 8 câmeras de vídeo de longo alcance ao redor do carro, 12 sensores de ultrassom para detectar objetos em até 8 m de distância e um radar instalado na dianteira do veículo, dando visibilidade de 360° em até 250 m de distância. Adicionalmente contém GPS e sistema de internet, sendo os dados

processados em um controlador de alto desempenho, de acordo com o fabricante do veículo (Tesla, 2017).

Figura 5 - Cobertura dos sensores do Tesla Model S



Fonte: Adaptado de <https://www.tesla.com/autopilot>

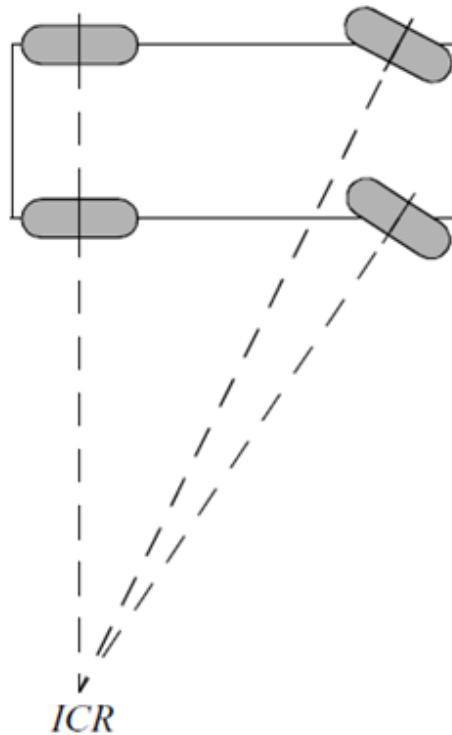
### 2.3 Modelo matemático do veículo

O modelo matemático do veículo descreve como ele se movimenta pelo ambiente, sendo também chamado de modelo cinemático. O que descreve o sistema de esterço do veículo é conhecido como geometria de Ackerman (Siegwart, 2011). Ainda conforme Siegwart (2011), o modelo matemático de Ackerman considera um veículo com dois pares de rodas, sendo um par traseiro fixo e alinhado com o veículo, e um par dianteiro móvel. O conjunto móvel possui um sistema mecânico no conjunto de direção que faz com que as rodas adotem ângulos de esterço distintos quando o veículo é submetido a uma mudança de trajetória, mantendo a roda que se encontra no lado interno da curva com ângulo em relação ao carro maior que a roda externa à curva (Figura 6).

Para modelar o sistema, é utilizado o conceito de ICR (*instantaneous center of rotation*, em tradução literal, centro instantâneo de rotação), ou seja, quando o veículo

descreve uma curva, considera-se essa curva como parte de um círculo, que possui um raio definido. Quando esse raio tende ao infinito, o ângulo de esterço tende a zero, o carro então realiza um movimento em linha reta. Para que o veículo descreva esse raio, todas as rodas desse veículo devem descrever um ângulo de esterço que satisfaça essa condição, conforme Figura 7.

Figura 6 – Veículo de quatro rodas como o modelo de Ackerman



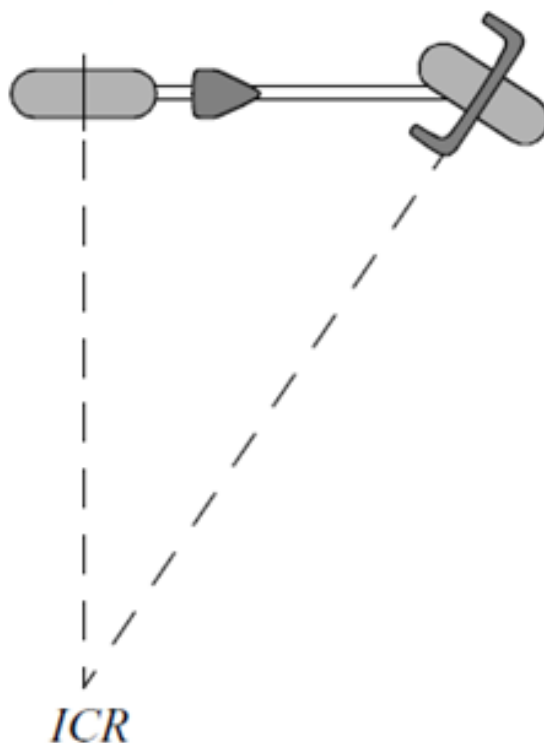
Fonte: Siegwart (2011, p. 68)

Para simplificar a modelagem, assume-se que esse veículo de quatro rodas se comporte como um veículo de duas rodas, por exemplo uma bicicleta, sendo o centro de cada eixo do veículo de quatro rodas as rodas da bicicleta. Portanto, o ICR do modelo cinemático a ser descrito fica conforme a Figura 7, de acordo com Siegwart (2011) e Andrade (2011). Para se possa aproximar o ângulo de esterço do modelo da bicicleta, é tomado como base o ângulo de esterço das rodas do carro, de acordo com a equação ((1)).

$$\theta = \frac{\theta_l + \theta_r}{2} \quad (1)$$

onde  $\theta$  é o ângulo de esterço do veículo,  $\theta_l$  é o ângulo de esterço da roda dianteira esquerda e  $\theta_r$  o ângulo de esterço da roda dianteira direita.

Figura 7 – Modelo matemáticos simplificado da Bicicleta



Fonte: Siegwart (2011, p. 68)

Tomando como base o modelo da bicicleta, é assumido que não ocorre deslizamento lateral nas rodas dianteira, ou seja, o movimento lateral nas rodas é zero, visto que o ângulo descrito pela bicicleta é o mesmo imposto pela roda dianteira. No veículo convencional, este efeito é decorrente da diferença de ângulo das rodas da frente, de acordo com Andrade (2011).

Para a análise neste trabalho, conforme Zhu e Rajamani (2006), para velocidades baixas as dinâmicas do veículo podem ser desprezadas, podendo ser aplicado ao caso da manobra de estacionamento, que se desenvolve de forma lenta. Adicionalmente, adota-se que o escorregamento das rodas é nulo, ou seja, o movimento descrito pelo plano da roda é o mesmo descrito pelo seu giro.

O modelo matemático que define o movimento do veículo é definido pela sua localização no plano cartesiano, que definem sua posição, e pelo ângulo de orientação do carro, que define seu ângulo em relação ao calçamento. As variações desses componentes no tempo são definidas pelas equações (2), (3) e (4).

$$\dot{x} = V \cdot \cos \phi \quad (2)$$

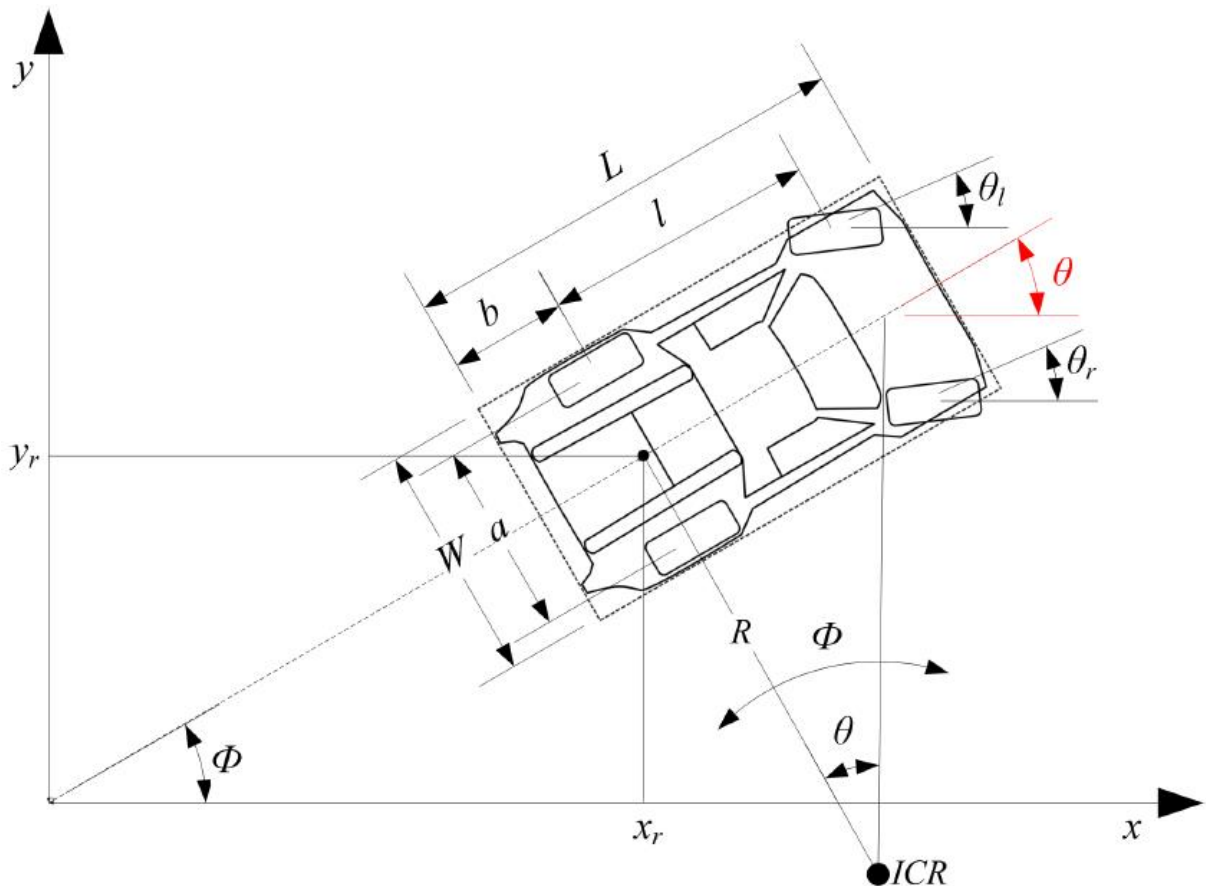
$$\dot{y} = V \cdot \sin \phi \quad (3)$$

$$\dot{\phi} = V \cdot \frac{\tan \theta}{l} \quad (4)$$

onde  $V$  é a velocidade longitudinal do veículo,  $\dot{x}$  e  $\dot{y}$  são as velocidades lineares,  $\dot{\phi}$  é a velocidade angular em relação à referência inercial do carro, localizada no centro do eixo traseiro,  $l$  é a distância entre eixo no carro e  $\theta$  é o ângulo de esterço das rodas dianteiras.

A Figura 8 apresenta os parâmetros do veículo utilizados para o modelo, bem como suas descrições na Tabela 1.

Figura 8 – Parâmetros do veículo



Fonte: Andrade (2011)



Tabela 1 – Parâmetros do veículo

Símbolo	Descrição
L	Comprimento do veículo
b	Distância entre o eixo traseiro e a traseira do veículo
$l$	Distância entre eixos
W	Largura do veículo
a	Distância entre rodas
$\theta$	Ângulo de esterçamento do veículo
$\theta_l$	Ângulo de esterçamento da roda esquerda
$\theta_r$	Ângulo de esterçamento da roda direita
$\phi$	Ângulo de orientação do veículo
$x_r$	Referência Inercial do veículo na coordenada “x”
$y_r$	Referência Inercial do veículo na coordenada “y”
R	Raio do movimento descrito pelo veículo
ICR	Centro Instantâneo de Rotação

Fonte: O autor

Para determinar a posição futura do veículo, utiliza-se as velocidades lineares e angular em função do tempo, conforme equações (5), (6) e (7).

$$x_r(k + 1) = x_r(k) + \dot{x} \cdot \Delta t \quad (5)$$

$$y_r(k + 1) = y_r(k) + \dot{y} \cdot \Delta t \quad (6)$$

$$\phi(k + 1) = \phi(k) + \dot{\phi} \cdot \Delta t \quad (7)$$

onde  $k$  representa o estado atual e  $k + 1$  representa o estado futuro.

## 2.4 Modelo matemático do sistema especialista

Entendendo as seis etapas que constituem a manobra da baliza, conforme seção 2.1, podemos dividir a tarefa em três partes principais, onde o sistema especialista deverá: auxiliar na detecção da vaga, posicionar o veículo corretamente

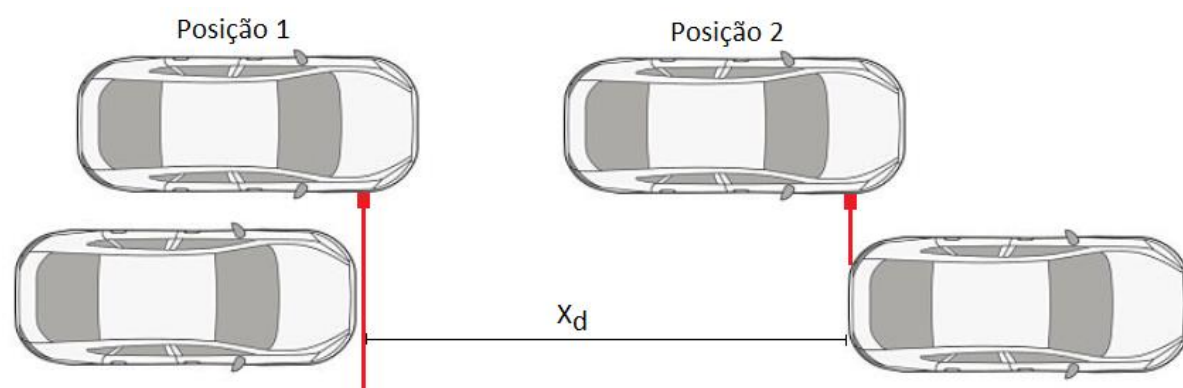
antes de manobrar o carro para dentro da vaga e efetivamente auxiliar na manobra de estacionamento para a vaga desejada. Essas seções serão explicadas mais detalhadamente nas seções 2.4.1 Detecção da Vaga, 2.4.4 Posicionamento do veículo e 2.4.5 Manobra do veículo.

#### 2.4.1 Detecção da Vaga

O primeiro passo que o sistema especialista deve executar é auxiliar na detecção da vaga de estacionamento, que consiste em medir o espaço disponível e calcular se é suficiente para que o carro possa ser manobrado para dentro dele.

Para isto, é utilizado um sensor na lateral do veículo que detecta a distância que os objetos estão do veículo em movimento. Conforme projetos similares (S. H. Jeong, 2009), para esta tarefa é utilizado um sensor de ultrassom, visto sua facilidade de uso. Sempre que a distância do veículo para os objetos for maior que um determinado valor, é considerado que existe um espaço de uma possível vaga, começando então a mensura-la, conforme “Posição 1” da Figura 9.

Figura 9 – Processo de detecção da vaga



Fonte: O autor

Para mensurar o tamanho da vaga, é utilizado um encoder acoplado na roda do veículo, que fornece ao controlador a distância percorrida, de acordo com a equação (8).

$$x_d = \frac{c}{p_t} \cdot p \quad (8)$$

onde  $x_d$  é a distância percorrida na possível vaga,  $c$  é circunferência da roda,  $p_t$  é a quantidade total de pulsos do encoder em uma volta da roda e  $p$  é a quantidade de pulsos do encoder durante a medição da vaga.

Quando o sensor lateral detecta outro objeto à frente, “Posição 2” da Figura 9, a medição da vaga é finalizada e o sistema especialista registra o espaço disponível entre os dois veículos já estacionados.

O tipo de trajetória utilizado neste trabalho para posicionar o veículo dentro da vaga é a trajetória em S, que será melhor detalhada na seção. Para este tipo de trajetória, o espaço mínimo para que o carro possa ser manobrado depende das dimensões do carro e do máximo ângulo de esterço desenvolvido pela barra de direção, e pode ser definido pela equação (9).

$$x_{min} = \sqrt{2 \cdot R \cdot W + (L - b)^2} + b \quad (9)$$

onde  $x_{min}$  é o espaço mínimo para poder manobrar o carro sem colisão com os demais veículos estacionados,  $R$  é o raio da circunferência do ICR, que depende do ângulo de esterço das rodas dianteiras,  $W$  e  $L$  são respectivamente a largura e comprimento total do veículo e  $b$  é a distância entre o eixo traseiro e a traseira do carro.

O valor de  $R$  pode ser obtido através da equação (10).

$$R = \frac{l}{\tan(\theta)} \quad (10)$$

onde  $R$  é o raio do ICR,  $l$  é a distância entre eixos do carro e  $\theta$  o ângulo máximo de esterço das rodas dianteiras.

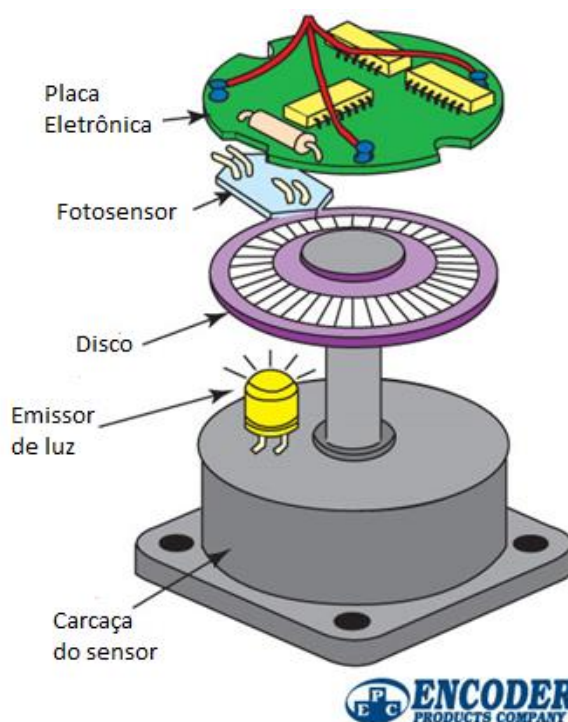
Portanto, sempre que o valor de  $x_d$  for maior que  $x_{min}$ , o espaço mensurado é considerado uma vaga de estacionamento.

## 2.4.2 Encoder

Conforme mencionado na seção 2.4.1, o encoder será utilizado no sensor de odometria, e também no sensor de esterço do volante, abordado na seção 3.4. Esse dispositivo converte movimento em um sinal eletrônico que pode ser lido por um dispositivo, como um contador ou um CLP. O sinal de retorno do encoder pode ser usado para determinar posição, velocidade, contagem ou direção (Encoder Products Company, 2016).

Um encoder pode utilizar vários tipos de tecnologias para criar o sinal elétrico, por exemplo: mecânico, magnético, resistivo ou ótico. Utilizando como exemplo o princípio ótico, o encoder gera o sinal baseado na interrupção do feixe de luz. Conforme Figura 10, um emissor de luz emite um feixe de luz sobre o disco codificado, que deixa o feixe passar quando incide sobre a parte aberta do rotor, e o bloqueia quando atinge a parte fechada, sendo esse feixe detectado por um sensor de luz. O sinal do desse sensor é enviado a um circuito eletrônico, que faz a contagem e/ou adaptação dos níveis de tensão para que o sinal possa ser enviado para outro dispositivo.

Figura 10 – Encoder óptico.



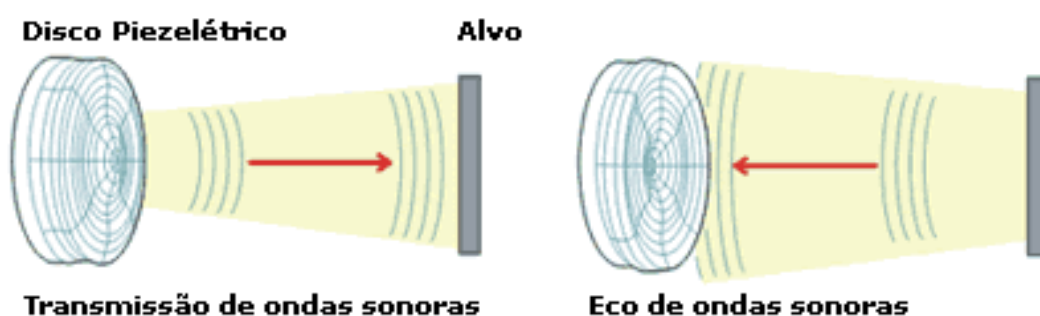
Fonte: Adaptado de Encoder Products Company (2016)

### 2.4.3 Sensor de Ultrassom

Os sensores ultrassônicos podem ser utilizados para a detecção sem contato em muitas aplicações, como medição de nível, altura, distância, contagem de objetos, etc. Permitem detectar de forma precisa e confiável objetos de materiais, formas, cores e texturas diversas. No sistema proposto é utilizado para medir a distância lateral entre o veículo em movimento e o estacionado.

O funcionamento dos sensores de ultrassom é baseado no tempo de propagação de uma onda sonora de alta frequência entre o sensor e o objeto que se deseja mensurar. Conforme Automatize (2008), o sensor emite pulsos de ondas ultrassônicas, quando um objeto recebe essas ondas ele as reflete, sendo o eco resultante recebido pelo sensor e convertido em um sinal elétrico, proporcional ao tempo decorrido entre a emissão das ondas e o recebimento do eco. A Figura 11 ilustra como é feita a emissão e o eco das ondas ultrassônicas.

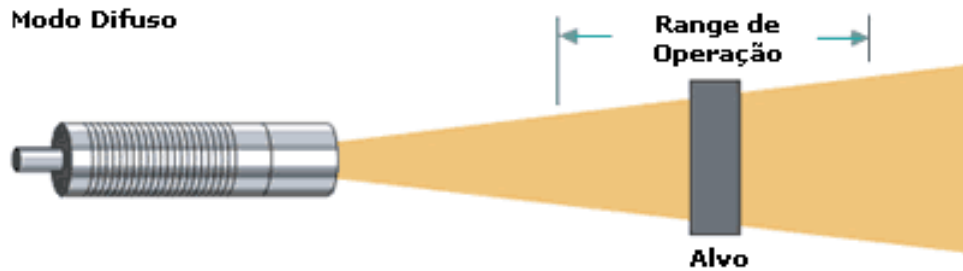
Figura 11 – Sensor de Ultrassom.



Fonte: Automatize (2008)

O sensor emite o feixe de ondas em forma de cone, conforme Figura 12, devido à sua construção. A detecção do eco incidente depende da sua intensidade, que é inversamente proporcional à distância entre o objeto a ser medido e o sensor, ainda de acordo com Automatize (2008).

Figura 12 – Propagação das ondas sonoras.

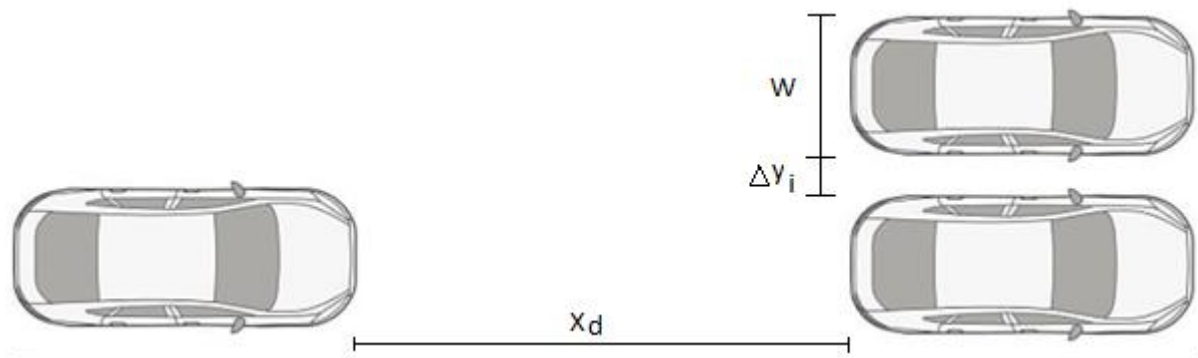


Fonte: Automatize (2008)

#### 2.4.4 Posicionamento do veículo

Após ser feita a medição da vaga desejada e o espaço disponível  $x_d$  ser maior que o mínimo definido pelas características do carro  $x_{min}$ , é necessário posicionar o veículo corretamente para o início da manobra de estacionamento. Esse posicionamento é feito através do alinhamento do para-choque traseiro do veículo em manobra com o do carro já estacionado mais à frente da vaga, conforme Figura 13.

Figura 13 – Posicionamento do veículo para início do estacionamento.



Fonte: O autor.

Ao terminar a medição da vaga o condutor receberá um aviso de que a vaga tem o espaço suficiente, e que deverá alinhar o veículo. É informado qual a distância entre a posição atual do veículo e a posição desejada, cabendo ao condutor conduzir o veículo paralelamente ao calçamento para frente, caso o veículo esteja atrás da

posição desejada, ou retornar caso já tenha passado desta posição. A medição da distância percorrida será feita da mesma forma que para a medição da vaga, através do encoder acoplado na roda traseira.

Um ponto a ser ressaltado é que o sistema de auxílio ao estacionamento proposto neste trabalho não possui a capacidade para detectar a posição real do carro em relação ao calçamento, ou seja, o ângulo de inclinação considerado no *software* tem como referência o ângulo do veículo quando está percorrendo a vaga para mensura-la. Portanto, fica sob total responsabilidade do condutor manter o carro paralelo à calçada quando assim for necessário para o correto funcionamento do sistema.

#### 2.4.5 Manobra do veículo

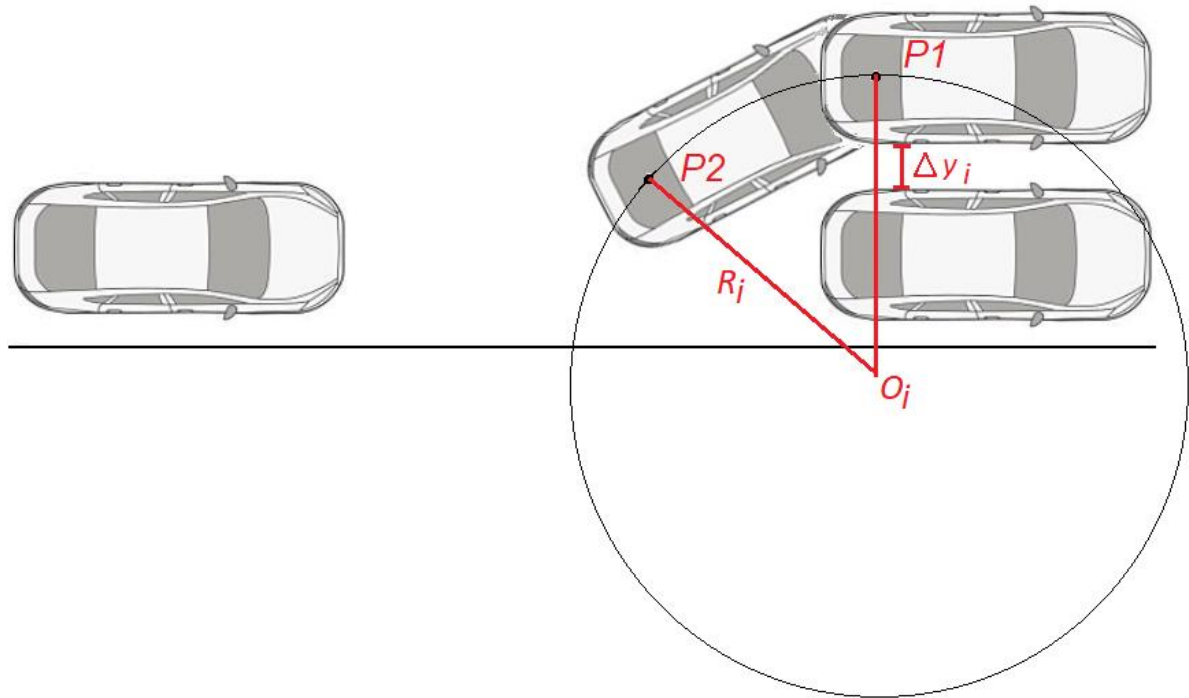
Após mensurar o espaço disponível e posicionar o veículo paralelamente ao veículo mais à frente da vaga de estacionamento, o sistema deve calcular os ângulos e deslocamentos necessários para manobrar o veículo para dentro da vaga desejada.

Inicialmente, considerando a manobra como uma trajetória em S, é definido os três pontos de referência P1, P2 e P3, onde P1 é o ponto de início da manobra, P2 é o ponto intermediário onde o ângulo de esterço do carro deve ser alterado e P3 é o ponto final da manobra de entrada na vaga, de acordo com Andrade (2011), Roth (2007) e Herrmann (2003).

A primeira etapa da manobra de estacionamento consiste em se deslocar do ponto P1 até o ponto P2, virando as rodas do veículo para o lado do calçamento, com um ângulo de esterço  $\theta_i$ , que irá determinar um centro do ICR em  $O_i$  e um raio  $R_i$ , conforme Figura 14.

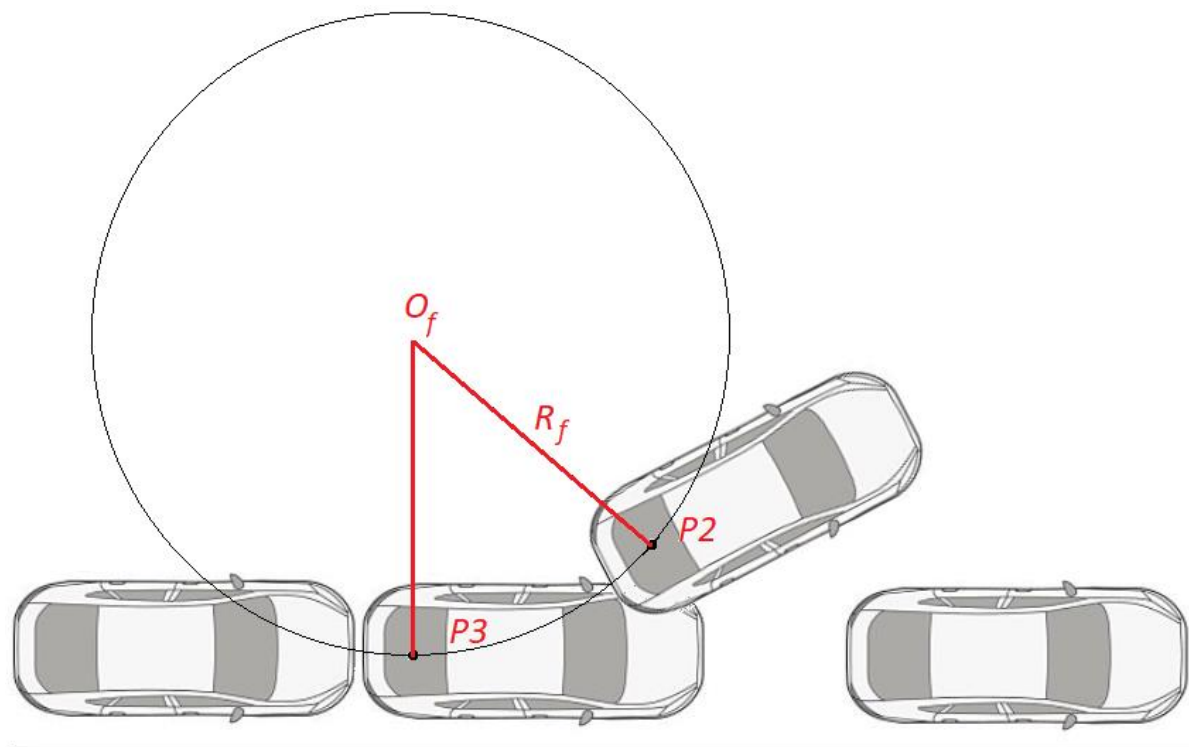
A segunda etapa da manobra de estacionamento consiste em deslocar do ponto P2 até o ponto P3, virando as rodas do veículo para o lado oposto ao calçamento, com um ângulo de esterço  $\theta_f$ , que irá determinar um centro do ICR em  $O_f$  e um raio  $R_f$ , conforme Figura 15.

Figura 14 – Primeira etapa da manobra de estacionamento.



Fonte: O autor.

Figura 15 – Segunda etapa da manobra de estacionamento.



Fonte: O autor.



Para calcular os ângulos de esterço nas duas etapas, bem como os centros e os raios dos ICRs, primeiramente é definido o ponto de início ,P1, como sendo a origem do sistema, portanto:

$$P1 = (0, 0)$$

O ponto final P3 é definido como sendo a diferença da posição de P1 a P3 no plano cartesiano, que depende do tamanho da vaga, dimensão do veículo e a distância entre o veículo em manobra e o estacionado, de acordo com a equação (11):

$$P3 = (-x_d, -(W + \Delta y_i)) \quad (11)$$

onde  $x_d$  é o tamanho da vaga,  $W$  é a largura do carro e  $\Delta y_i$  a distância entre o carro em manobra e o carro estacionado mais à frente quando em repouso no início da manobra de estacionamento, de acordo com a Figura 13.

Tendo definido os pontos P1 e P3, é calculado o ponto intermediário P2, onde ocorre a mudança de ângulo de inclinação do carro. Primeiramente é definido o ângulo da reta que liga os pontos P1 e P3 em relação ao eixo X como sendo  $\beta$ , conforme a equação (12).

$$\beta = \arctan\left(\frac{P1_x - P3_x}{P1_y - P3_y}\right) \quad (12)$$

O ponto P2 é definido como sendo a metade da distância euclidiana que o ponto P3 fica de P1, e após projetando suas componentes no plano cartesiano, equações (13) e (14):

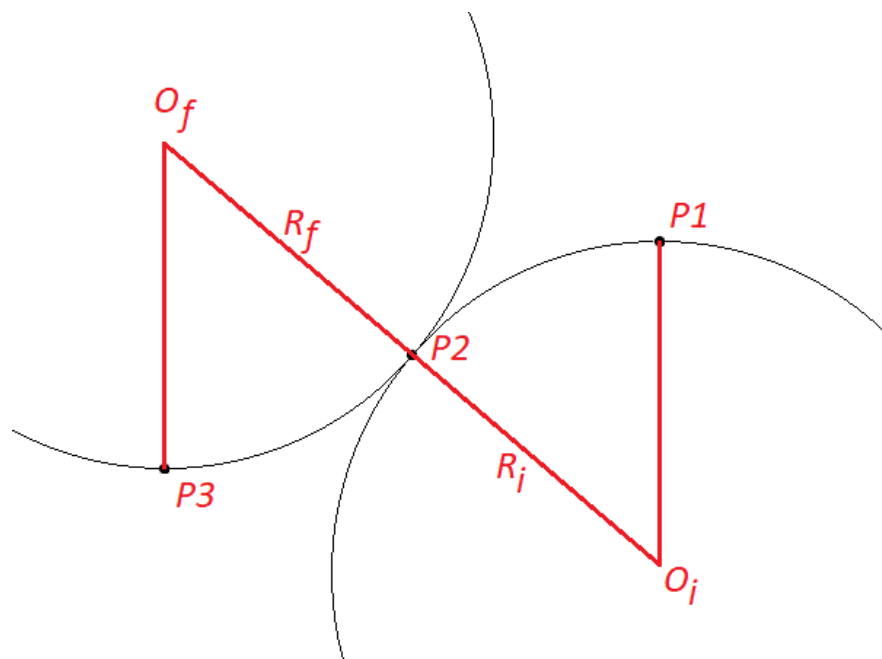
$$D_{P2} = \frac{\sqrt{(P1_x - P3_x)^2 + (P1_y - P3_y)^2}}{2} \quad (13)$$

$$P2 = (P1_x - D_{P2} \cdot \cos(\beta), P1_y - D_{P2} \cdot \sin(\beta)) \quad (14)$$

Tendo definido os pontos P1, P2 e P3, é calculado os demais parâmetros que são relacionados aos círculos descritos pelos dois IRCs, sendo eles os raios  $R_i$  e  $R_f$  e os centros  $O_i$  e  $O_f$ . Para obter esses valores, são tomadas algumas considerações, que podem ser comprovadas analisando a Figura 16:

- O valor de  $O_{i_x}$  é o mesmo que  $P1_x$ , pois estão no mesmo eixo em X;
- O valor de  $O_{f_x}$  é o mesmo que  $P3_x$ , pois estão no mesmo eixo em X;
- O valor da derivada da curva em P1 e P3 são zero, o que garante que o carro começa e termina o movimento paralelo ao calçamento;
- O ponto P2 pertence às duas curvas, o que garante a continuidade do movimento.

Figura 16 – IRCs descritos pelo veículo.



Fonte: O autor

Para determinar os valores dos raios e centros dos ICRs, utilizamos a equação paramétrica da circunferência (equação (15)):

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2 \quad (15)$$

Considerando que os pontos P1 e P2 fazem parte da mesma circunferência, a distância desses pontos ao centro é a mesma, podendo, portanto, igualar a equação acima para os dois pontos. Os valores de P1, P2 e  $O_{ix}$  são valores conhecidos, podendo obter o valor de  $O_{iy}$  de acordo com as equações (16) e (17).

$$(P2_y - O_{iy})^2 + (P2_x - O_{ix})^2 = (P1_y - O_{iy})^2 + (P1_x - O_{ix})^2 \quad (16)$$

$$O_{iy} = \frac{(P2_x - O_{ix})^2 + (P2_y^2 - P1_y^2)}{2 \cdot (P2_y - P1_y)} \quad (17)$$

Ainda de acordo com Andrade (2011), Roth (2007) e Herrmann (2003), considerando a equação (17) e algumas desenvolvimento, podemos substituir os parâmetros do carro e encontrar os centros das circunferências, de acordo com as equações (18) e (19).

$$O_{iy} = -\frac{(W + \Delta y_i)^2 + x_d^2}{4 \cdot (W + d)} \quad (18)$$

$$O_{fy} = -\frac{3 \cdot (W + \Delta y_i)^2 - x_d^2}{4 \cdot (W + d)} \quad (19)$$

onde  $W$  é a largura do carro,  $\Delta y_i$  é a distância entre o carro em manobra e o carro estacionado,  $x_d$  é o tamanho da vaga de estacionamento e  $d$  é a distância entre o centro do carro até o calçamento.

Portanto,  $O_i$  e  $O_f$  podem ser descritos pelas equações (20) e (21):

$$O_i = \left( 0, -\frac{(W + \Delta y_i)^2 + x_d^2}{4 \cdot (W + d)} \right) \quad (20)$$

$$O_f = \left( -x_d, -\frac{3 \cdot (W + \Delta y_i)^2 - x_d^2}{4 \cdot (W + d)} \right) \quad (21)$$

Sabendo que o ponto P2 pertence aos dois círculos, que a distância entre P1 e P2 é a mesma que a distância entre P2 e P3 e que ambos os círculos possuem dois

pontos sobre seu perímetro, conclui-se que os raios  $R_i = R_f$ , portanto, sabendo os valores de  $O_i$  e  $O_f$  se obtém o valor de R, conforme equação (22).

$$R = R_i = R_f = \frac{\sqrt{(O_{ix} - O_{fx})^2 + (O_{iy} - O_{fy})^2}}{2} \quad (22)$$

Tendo determinado todos os pontos do trajeto, é calculado o ângulo de esterço que o carro deverá utilizar para estacionar em uma única manobra sem colidir com nenhum veículo (equação (23)).

$$\theta = \arctan\left(\frac{l}{R}\right) \quad (23)$$

Para definir o momento em que o carro terá que fazer a alteração do ângulo de esterço no ponto P2, já que o veículo não possui sensores que são capazes de obter a localização real do carro, é calculado o valor do ângulo de inclinação do carro no ponto P2, que é definido pela equação (24):

$$\phi = \arcsen\left(\frac{x_d}{2 \cdot R}\right) \quad (24)$$

Tomando em consideração o trabalho proposto, que o veículo possui apenas sensor de odometria e de ângulo de esterço do carro, o melhor método para localizarmos o carro sobre a trajetória é calculando seu deslocamento. Podemos, portanto, obter o momento exato em que o veículo deve alterar o sentido das rodas dianteiras através do deslocamento que é feito sobre o arco imposto pelo IRC, ou seja, calculando o quando o carro andou sobre o arco, que será uma parcela do perímetro do círculo do IRC. Tendo que uma volta de círculo equivale a  $2\pi$ , é relacionada a distância através de  $\phi$  em P2, através da equação (25).

$$x_m = \frac{P2_\phi}{2 \cdot \pi} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R = \phi \cdot R \quad (25)$$

onde  $x_m$  é o deslocamento do veículo sobre o arco imposto pelo ICR,  $P2_\phi$  é o ângulo do carro no ponto P2 e R é o raio do ICR.

Finalmente, após o veículo parar sobre o ponto P3, é necessário centraliza-lo sobre a vaga, bastando então deslocar o carro para frente paralelamente ao calçamento, sendo então o ângulo de esterço em  $0^\circ$ , em uma distância da metade do tamanho restante da vaga. Portanto, o deslocamento necessário é definido pela equação (26).

$$x_f = \frac{x_d - L}{2} \quad (26)$$

onde  $x_f$  é o deslocamento necessário para ir de P3 ao centro da vaga,  $x_d$  é o tamanho da vaga e  $L$  o tamanho do veículo.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Etapas de elaboração do sistema

Para que o sistema de auxílio de estacionamento funcione corretamente, é necessário que sejam elaborados e/ou definidos alguns dispositivos, bem como suas configurações. O desenvolvimento do sistema será separado em etapas, que estão detalhadas a seguir:

1. Elaboração do *software*: o *software* de controle é o responsável por interpretar os sinais dos sensores, bem como calcular e informar ao condutor as ações necessárias para a manobra ser bem-sucedida. O *software* é implementado em uma plataforma ARM;
2. Definição do sensor lateral: o sensor lateral é o responsável por informar ao controlador a distância dos objetos em relação à lateral do veículo. Foi testado o sensor de ultrassom e verificado se atende a resposta para esta tarefa;
3. Elaboração do sensor de direção: o sensor de direção fornece ao controlador o ângulo de esterço do conjunto de direção. Como o veículo utilizado não possui sinal disponível para esta variável, foi necessária a confecção de um sensor, sendo ele do tipo encoder;
4. Teste do sensor de direção: após a confecção do sensor, foi necessário instalar o sensor no carro e calibrá-lo;
5. Elaboração do sensor de odometria: o sensor de odometria fornece a distância percorrida pelo carro ao controlador. Como o veículo utilizado não possui sinal disponível para esta variável, foi necessária a confecção de um sensor, que é do tipo encoder;
6. Teste do sensor de odometria: após a confecção do sensor, foi necessário instalar o sensor no carro e calibrá-lo;
7. Programação da interface (*display*): é necessário que exista uma forma de interagir com o usuário, informando-o as variáveis e as ações necessárias. Para esta tarefa foi configurado um display que mostra as informações ao condutor;
8. Teste do controlador em bancada: após a confecção do *hardware* necessário e da programação do *software* e *display*, foi feita a etapa de

- teste em bancada do controlador, simulando os sensores e analisando o comportamento do sistema;
9. Integração dos sensores com controlador: com o controlador funcionando, foram interligados todos os *hardwares* ao carro para que pudesse testar o sistema na situação real;
  10. Teste do sistema: com todos os equipamentos instalados e conectados, foi testado o sistema na situação real, a fim de identificar as falhas e possíveis melhorias do sistema;
  11. Depuração do sistema: a última etapa ocorre em paralelo com o teste do sistema, que é a depuração. Ao passo que foram detectadas as falhas do sistema, foi alterado o *software* e sensores para que se tivesse uma resposta satisfatória.

### 3.2 Veículo de teste

O veículo utilizado para testar o sistema de auxílio para estacionamento paralelo é um Honda® Civic® LXL 2011, Figura 17.

Figura 17 – Honda® Civic® 2011



Fonte: O autor

Na Tabela 2 podemos verificar os parâmetros dimensionais do veículo de teste. Para a medição dos ângulos de esterço das rodas, a direção foi virada completamente

para o lado direito, sendo o ângulo máximo de esterço do veículo dado em função da equação (1).

$$\theta_{max} = \frac{\theta_{l_{max}} + \theta_{r_{max}}}{2} = \frac{34^{\circ} + 44,1^{\circ}}{2} = 39,05^{\circ}$$

Tabela 2 – Parâmetros do Honda® Civic®

Símbolo	Descrição	Valor
L	Comprimento do veículo	4489 mm
b	Distância entre o eixo traseiro e a traseira do veículo	930 mm
l	Distância entre eixos	2710 mm
W	Largura do veículo	1720 mm
a	Distância entre rodas	1520 mm
$\theta_{max}$	Ângulo máximo de esterço do veículo	39,05°
$\theta_{l_{max}}$	Ângulo máximo de esterço da roda esquerda	34°
$\theta_{r_{max}}$	Ângulo máximo de esterço da roda direita	44,1°

Fonte: O autor

### 3.3 Aquisição de dados pela CAN

As informações de todos os sensores do carro que será usado neste projeto circulam entre as ECU's (*Electronic Control Unit*), através de uma rede de comunicação chamada de CAN (*Controller Area Network*). Conforme Currie (2017), no Civic existem duas redes CAN's, a F-CAN (*Fast CAN*, CAN rápida, em tradução literal) e a B-CAN (*Body-CAN*, CAN do chassi, em tradução literal).

A F-CAN trabalha com os elementos mais críticos do carro, como o motor, transmissão, sistema de direção, freios e outras funções fundamentais para o controle do veículo. Também circulam pela F-CAN as informações que são enviadas ao painel de instrumentos do veículo, a fim de prover informações mais precisas ao condutor. Para o Honda® Civic® 2011, a F-CAN utiliza um par de fios e opera a 500 kbps.



A B-CAN utiliza apenas um fio e opera a velocidades de 33 kbps. Nela, circulam informações menos críticas, como as funções do rádio, janelas, fechamento das portas, parâmetros de conforto, etc.

Para este trabalho, é necessário obter o ângulo de esterço desenvolvido pelo volante, bem como o deslocamento do carro, que pode ser obtido diretamente do odômetro do carro. Ambos os parâmetros circulam na rede F-CAN, portanto, este é um meio de obter os dados desejados.

Ainda conforme Currie (2017), o valor do odômetro é alterado através de incrementos enviados da ECU do motor a cada 10 ms, através da rede F-CAN. A quantidade de incrementos foi medido e cruzado com a velocidade do carro, sendo então possível determinar a distância percorrida pelo veículo em cada incremento, sendo esse de aproximadamente 9 metros.

A distância percorrida pelo carro durante a manobra de estacionamento é do tamanho máximo de dois carros, ou seja, aproximadamente 9 metros. Portanto, a utilização do sinal do odômetro do veículo obtido pela CAN para a medição do deslocamento do veículo não é satisfatória, visto que a resolução necessária para este trabalho é de centímetros.

Outra possibilidade para mensurar o deslocamento do veículo é através do velocímetro, realizando a integral do sinal, obtendo então a distância percorrida. A utilização deste método foi descartada pelo fato do movimento de estacionamento se desenvolver em velocidades baixas, agregando um erro de integração elevado, visto que a velocidade não é um sinal com resolução infinita.

Quanto ao ângulo de esterço desenvolvido pelo volante, não foi localizado em literatura qual registrador carrega essa informação.

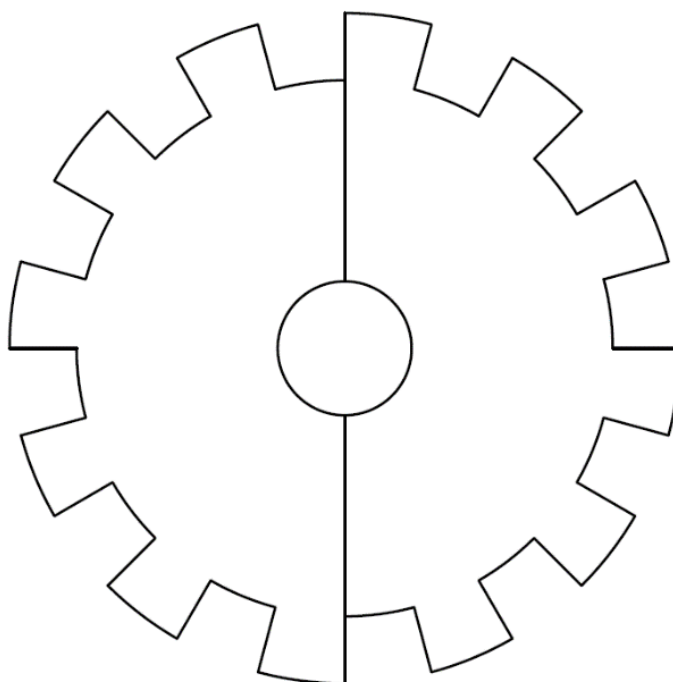
Levando em consideração os itens acima descritos, não será utilizada a rede CAN, pois se mostrou ineficaz para a realização deste trabalho.

### **3.4 Sensor de esterço**

Para mensurar o ângulo de esterço das rodas dianteiras, foi utilizado um sensor do tipo encoder ótico, baseado em barreira de sinal, conforme explicado na seção 2.4.2.

O disco foi confeccionado em duas partes, pois foi conectado na barra de direção do veículo sob o painel de instrumentos. O disco bipartido possui 12 dentes, de forma que possui 24 mudanças de estado em uma rotação do volante, conforme Figura 18.

Figura 18 – Projeto do encoder da barra de direção

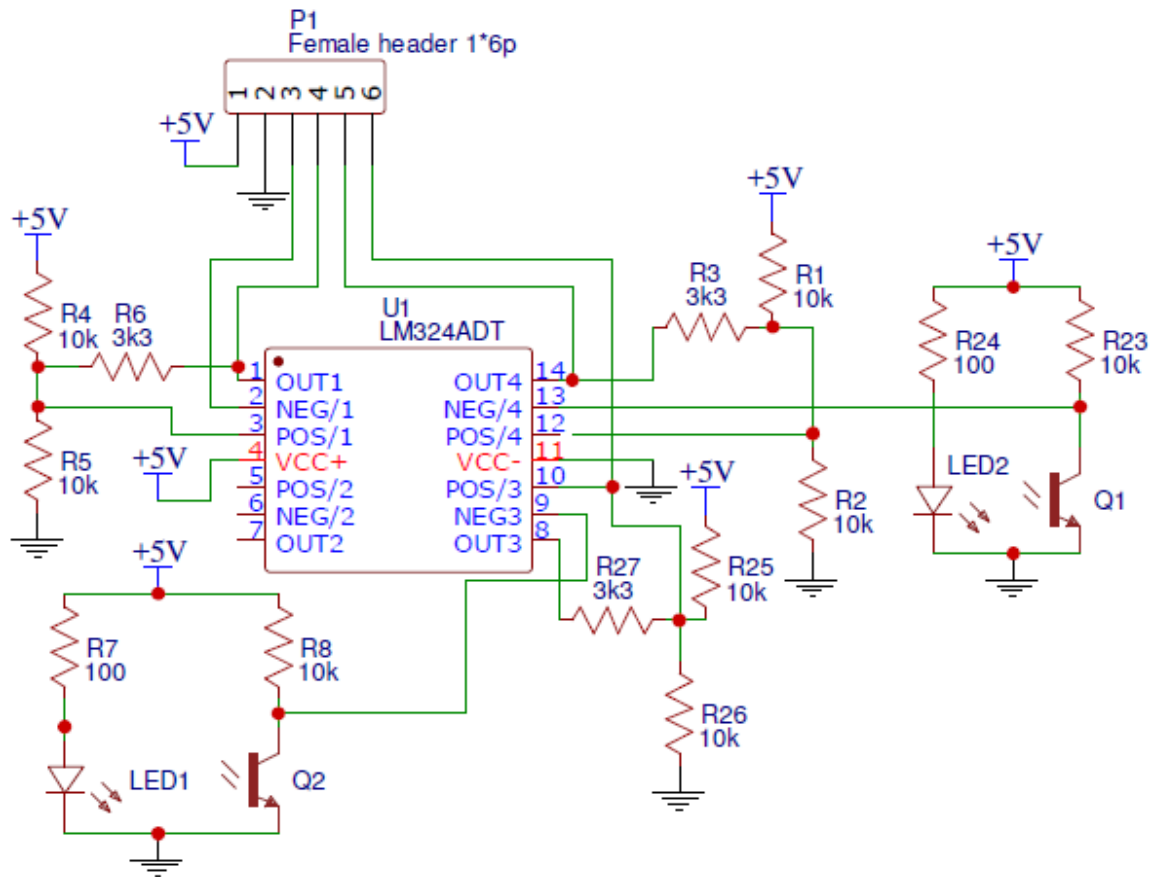


Fonte: O autor

Para que o disco possa ser lido, foi utilizado sensores infravermelhos associados a foto-transistores. Para aumentar a robustez dos sensores quanto a interferências e oscilações da indicação, foi confeccionado um circuito que gera uma histerese no sensor, requerendo uma maior variação para que a saída mude, conforme Figura 19. Para que a saída adquira nível lógico “0”, o sensor deve indicar mais que 3,0 V, e para que indique nível lógico “1”, o sensor deve indicar menos que 1,35 V, visto que o circuito é um comparador inversor.

No circuito da Figura 19, os pinos 1 e 2 do conector P1 foram conectados na alimentação da placa do microcontrolador, o pino 3 provém do sensor de deslocamento, cujo circuito de histerese foi implementado nesta placa, e os pinos 4, 5 e 6 são as saídas do sensor de deslocamento e saída 1 e 2 do sensor de esterço, que foram conectados nas entradas digitais, PA1, PA2 e PB0, respectivamente.

Figura 19 – Esquema elétrico do circuito do sensor de esterço



Fonte: O autor

Para o sistema ser capaz de identificar o sentido de giro do encoder, fazemos uso de dois sensores defasados entre si, de forma que tenhamos a leitura dos sensores de acordo com a Tabela 3, ocorrendo incremento ou decremento conforme a variação da posição da tabela. Portanto, temos em uma rotação completa do encoder 48 posições, visto que as possibilidades duplicaram devido ao número de sensores.

Tabela 3 – Resposta dos sensores do encoder da direção

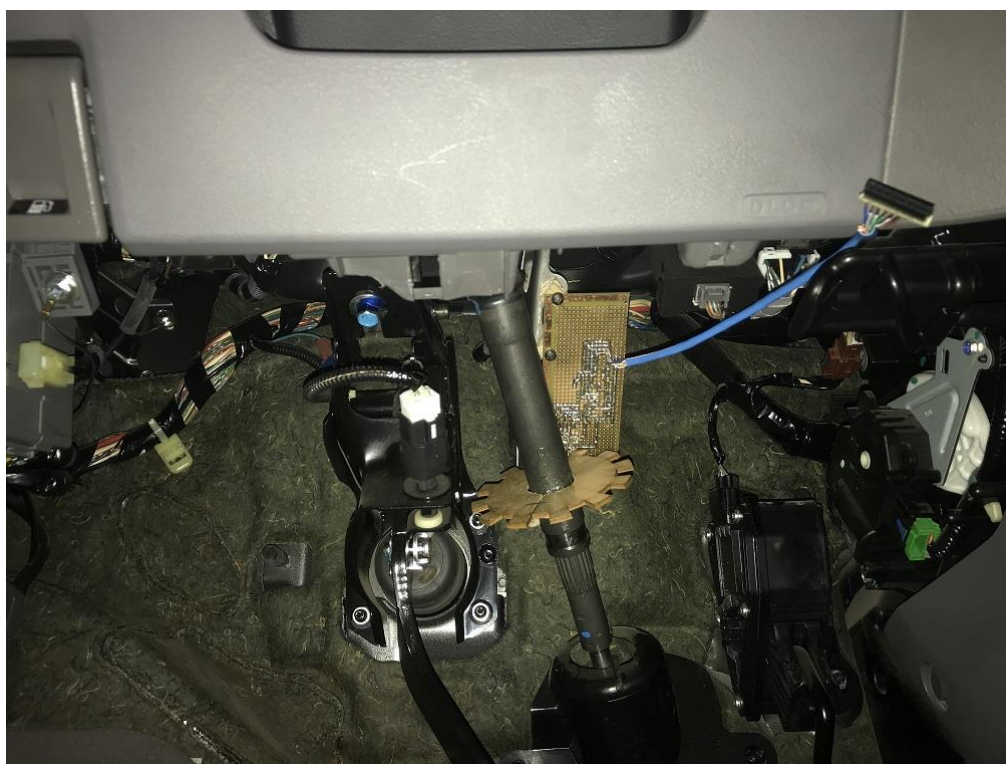
	Sensor 1	Sensor 2
Posição 1	0	0
Posição 2	0	1
Posição 3	1	1
Posição 4	1	0

Fonte: O autor

Considerando que o volante gira para um dos lados um total de  $440^\circ$ , e que em  $360^\circ$  no volante tem 48 pulsos, um giro completo do volante para um dos lados tem um total de 58,3 pulsos. Fazendo uma relação entre o total de pulsos para um lado do volante e do ângulo máximo de esterço do veículo, que é de  $39,05^\circ$ , temos que a resolução do sensor de esterço é de  $0,68^\circ$ .

As Figura 20 e Figura 21 ilustram o sensor de esterço instalado na barra de direção, sob o painel do veículo. A placa com os sensores infravermelhos foi fixada no suporte do painel.

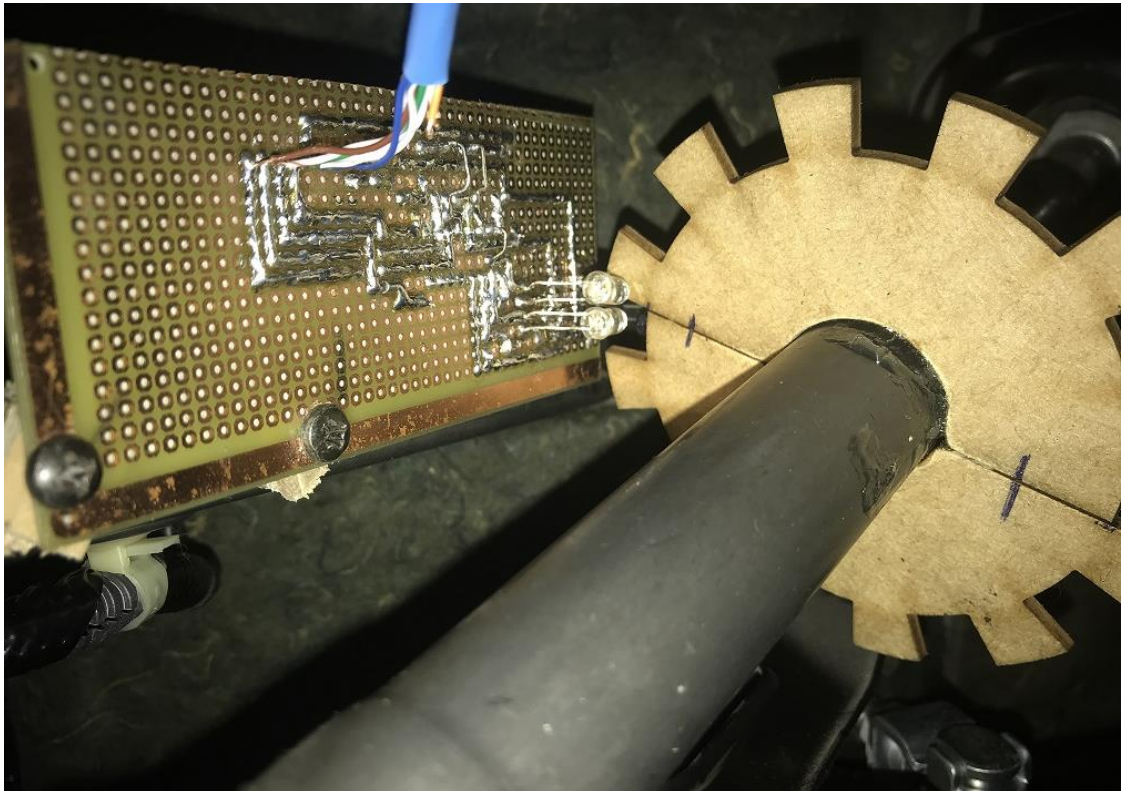
Figura 20 – Sensor de esterço instalado sob o painel do carro



Fonte: O autor

Para facilitar os testes, visto que a localização da placa com os sensores sob o painel é de difícil acesso, e que ela não será removida do carro, foi confeccionado um conector, que foi deixado para fora do painel, conforme a Figura 22.

Figura 21 - Sensor de esterço instalado sob o painel do carro



Fonte: O autor

Figura 22 – Conector do sensor de esterço



Fonte: O autor

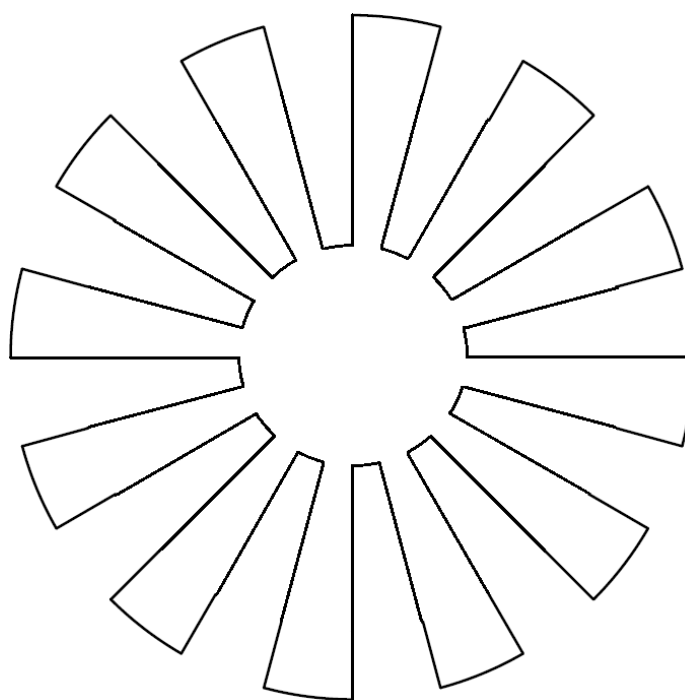
### 3.5 Sensor de deslocamento

Para mensurar o deslocamento do veículo, foi utilizado um sensor do tipo encoder, de forma análoga ao utilizado no sensor de esterço, o qual foi acoplado à roda traseira do veículo. O disco contém 12 dentes, totalizando 24 posições, que é a resolução do sensor por revolução da roda. Considerando então que a roda tem uma circunferência de 192 cm, a resolução do sensor de deslocamento é de 8 cm.

Este sensor de deslocamento necessita que o sensor ótico, que é fixo, seja capaz de ler o disco preso à roda. Entretanto, a roda não possui apenas o movimento de rotação, que se deseja mensurar. Ela possui um movimento vertical, oriundo do trabalho da suspensão, sempre que o veículo passa por uma irregularidade. Este movimento vertical é indesejado, visto que se apresenta como um ruído na leitura de rotação, porém é um movimento que não se pode isolar.

Portanto, o sensor foi construído de forma que este movimento não afete a medição. As linhas laterais dos dentes foram alinhadas ao centro do disco, conforme Figura 23, e o sensor ótico posicionado no eixo vertical do centro do encoder, de forma que, quando ocorrer um movimento da suspensão, não gere uma falsa indicação de rotação.

Figura 23 – Encoder da roda traseira

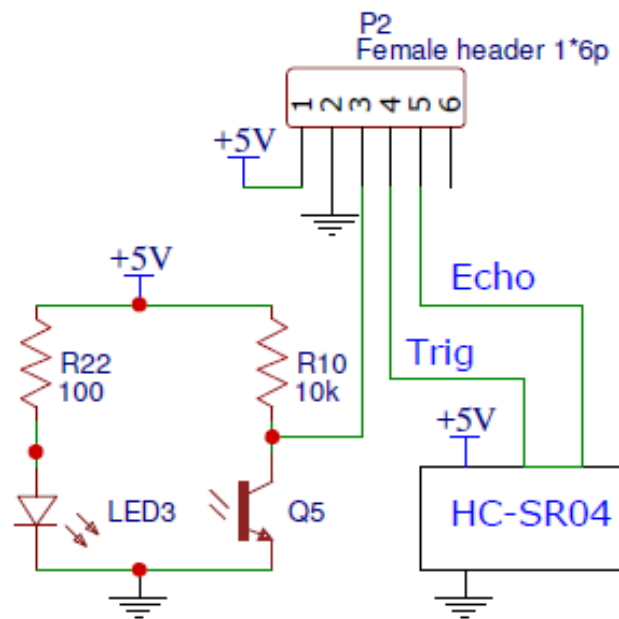


Fonte: O autor

De forma idêntica aos sensores de esterço, o sensor de deslocamento utiliza um circuito de histerese, que fica localizado na mesma placa dos sensores de esterço, conforme comentado na seção 3.4.

O sinal obtido pelo sensor infravermelho é enviado para o circuito através do pino 3 do conector P2, e a alimentação da placa é feita pelos pinos 1 e 2 do conector P2, que são ligados à alimentação do microcontrolador, conforme a Figura 24.

Figura 24 - Esquema elétrico do circuito do sensor de deslocamento



Fonte: O autor

O sensor de deslocamento foi confeccionado de forma que possa ser facilmente removido para o uso rotineiro do carro, e de fácil instalação para o uso durante os testes. O disco do encoder foi preso à roda do carro, enquanto o sensor infravermelho foi preso à carroceria do carro através de um suporte com ímãs, conforme a Figura 25 e Figura 26.

Figura 25 – Sensor de deslocamento e sensor de distância lateral



Fonte: O autor

O deslocamento do veículo considerado pelo modelo matemático prevê que a leitura seja feita no centro do eixo traseiro, no sentido axial. Entretanto, em um veículo real, não é possível instalar um sensor nessa posição, ou mesmo não existir um eixo no centro do veículo, como o caso do veículo utilizado, que utiliza suspensão independente nas rodas traseiras. Portanto, para solucionar esse problema, foi desenvolvido em *software* uma função matemática que corrige a indicação de deslocamento do veículo conforme a variação do ângulo de esterço das rodas dianteiras, entregando para o *software* de controle o deslocamento real do veículo no seu centro.



Figura 26 – Suporte do sensor de deslocamento e sensor de distância lateral



Fonte: O autor

### 3.6 Sensor de distância lateral

A distância lateral é utilizada para localizar os objetos ao lado do carro, a fim de detectar a vaga. Para esta função, foi escolhido um sensor ultrassônico, modelo HC-SR04, Figura 27. Esse sensor é capaz de medir distâncias de 2 cm a 4 m com precisão de 0,3 cm e baixo custo, próximo de R\$ 15,00. Sua construção facilita a implementação em projetos, pois contém um circuito integrado que faz o controle do emissor e receptor, tendo apenas 4 pinos: Vcc, GND, Trigger e Echo. Para medir basta dar um pulso de 10  $\mu$ s no Trigger, e o tempo em que o pino Echo fica em nível alto corresponde à distância medida, conforme o manual do sensor (ELECTFREAKS). Para melhor detalhamento, no ANEXO A – Parte do manual do sensor hc-sr04 temos o gráfico de tempo e sua resposta. A conexão com o controlador é feita diretamente ao microcontrolador, não sendo necessário um circuito intermediário.

Figura 27 – Sensor Ultrassônico HC-SR04



Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04/>

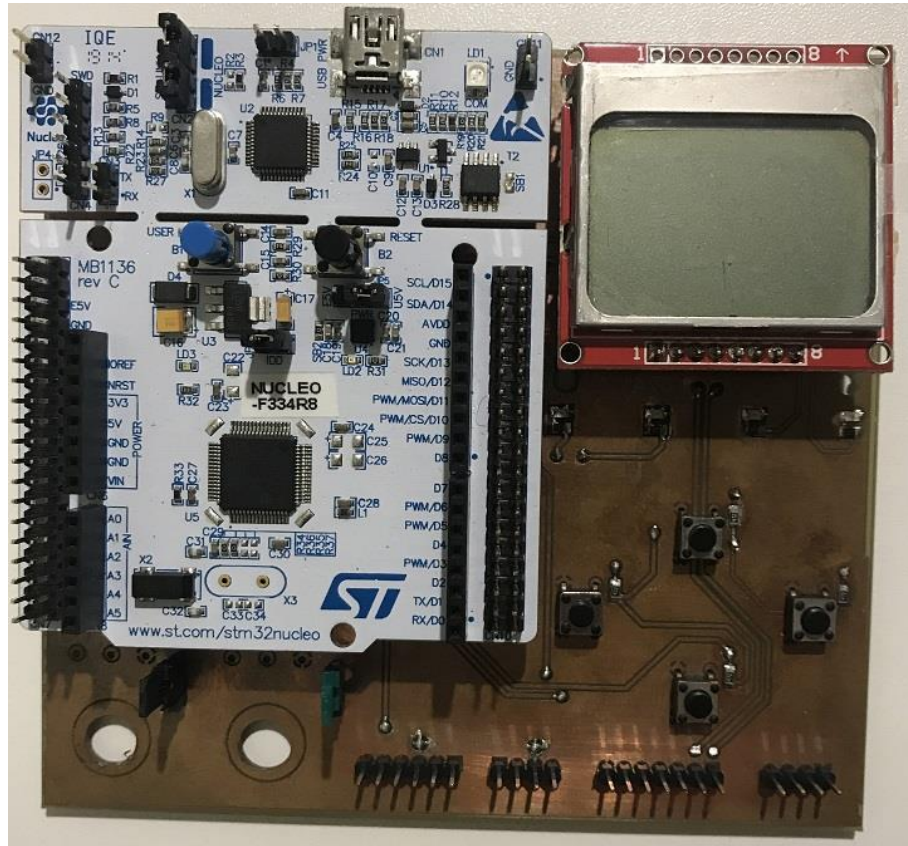
A ligação elétrica do sensor ao controlador pode ser observada na Figura 24, onde o sinal de Trig, ligado no pino 4 do conector P2, foi conectado na saída digital PB1. O sinal de Echo, ligado no pino 5 do conector P2, foi conectado na entrada digital PB2 do microcontrolador.

A montagem do sensor de distância lateral pode ser vista na Figura 26, na seção 3.5, o qual foi fixado no mesmo suporte que o sensor de deslocamento, porém mais próximo ao centro do suporte.

### 3.7 Microcontrolador e display

Para o controle do sistema, foi utilizado uma placa de desenvolvimento com um microcontrolador, modelo STM32F334R8. O *display* utilizado foi de um celular do modelo Nokia 5110. Para conectar o microcontrolador ao display, foi utilizado um *Shield* desenvolvido e fornecido pelo curso de Engenharia Elétrica da Unisinos, conforme Figura 28.

Figura 28 – Shield com microcontrolador e display



Fonte: O autor

### 3.8 Software de controle

O *software* configurado no microcontrolador guia o usuário para realizar a tarefa de estacionamento, bem como a interpretação dos sensores e cálculos necessários. Nesta seção é feita uma apresentação do *software* e de sua estrutura.

Inicialmente é feita uma breve apresentação, informando o objetivo do trabalho, o autor, e o veículo de teste utilizado. Após isso, o usuário recebe as instruções iniciais que devem ser seguidas durante a leitura do tamanho da vaga de estacionamento. Na Figura 29 podemos ver as informações fornecidas ao usuário no *display* do controlador.

Figura 29 – Informações preliminares do software



Fonte: O autor

Para o início da leitura da vaga, o software aguarda o comando do usuário, através do botão para baixo do teclado da placa *Shield*, chamado de “Down”. Após dado o comando, o *software* espera o sensor lateral achar uma distância superior a 60 cm para considerar uma possível vaga, começando então a leitura de distância. De forma análoga, a medição da vaga é finalizada quando a distância lateral for menor que 60 cm. É verificado então se o tamanho da vaga é suficiente para o estacionamento. Caso a vaga seja suficiente, o *software* orienta o usuário a posicionar o carro no ponto de início da manobra de estacionamento, e caso não seja aguarda o usuário dar novo comando para uma outra leitura. As etapas descritas neste parágrafo podem ser visualizadas nas Figura 30 e Figura 31.

Figura 30 – Leitura da vaga



Fonte: O autor

Figura 31 – Posicionamento do veículo



Fonte: O autor

Estando o veículo na posição de início da manobra, o *software* calcula os valores de ângulos e deslocamentos necessários. Então, o usuário é orientado a posicionar corretamente o volante e desenvolver um deslocamento até a metade da manobra de estacionamento. Em seguida é solicitado a posicionar o volante em nova posição e desenvolver um novo deslocamento até o final da vaga, de acordo com as Figura 32 e Figura 33.

Figura 32 – Primeira parte da manobra de entrada na vaga de estacionamento



Fonte: O autor

Figura 33 – Segunda parte da manobra de entrada na vaga de estacionamento



Fonte: O autor

Assim que o carro esteja na posição mais próxima do veículo de atrás, o usuário é orientado a posicionar o carro para frente de modo a centralizar o carro na vaga, conforme a Figura 34. Quando este último deslocamento for concluído, o carro deverá estar centralizado e alinhado com os demais carros, sendo então considerado o estacionamento concluído.

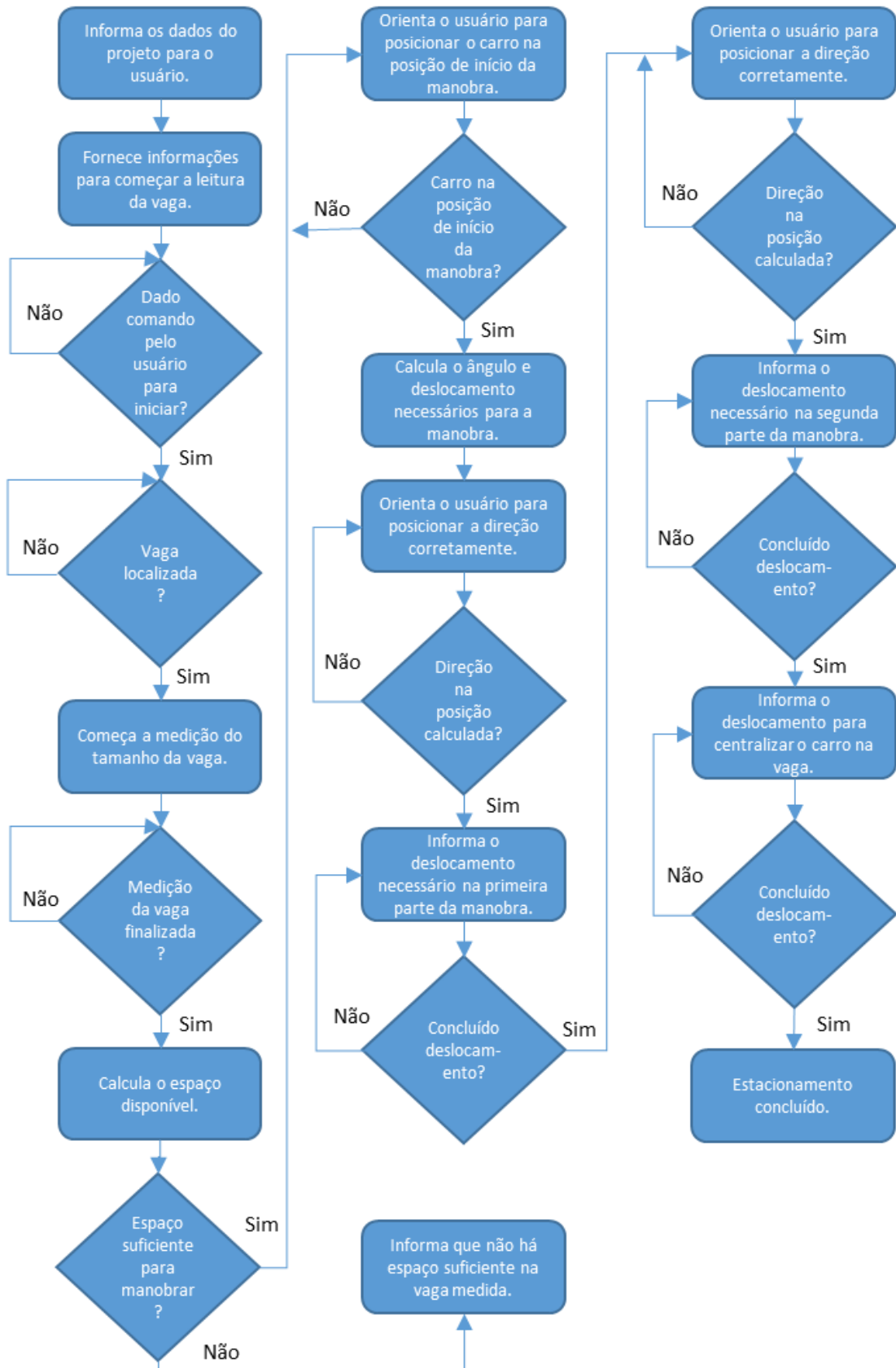
Figura 34 – Etapas finais do estacionamento



Fonte: O autor

A estrutura do *software* de controle, descrita nesta seção, se dá de acordo com o fluxograma da Figura 35, onde os processos macros estão sequenciados.

Figura 35 – Fluxograma do software de controle



Fonte: O autor

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Este capítulo apresenta os testes realizados para averiguar o funcionamento do sistema. Dentre as medidas feitas temos as distâncias percorridas e lateral ao veículo e os ângulos do carro durante o processo de estacionamento.

Nas medidas realizadas, visto que os objetos mensurados são os para-choques dos veículos e suas laterais, as quais possuem geometrias complexas, diferentes de superfícies planas, considera-se uma margem de  $\pm 3$  cm de tolerância. Quanto aos ângulos medidos, estes são calculados a partir das distâncias das rodas ao calçamento, e através de regras trigonométricas obtêm-se o ângulo do carro em relação ao calçamento. Para esta medida é utilizada uma tolerância de  $\pm 1^\circ$ .

### 4.1 Avaliação do sensor de distância lateral

O sensor de distância lateral fornece a distância entre o carro que está em manobra e os objetos que estão ao seu lado. Sua indicação é utilizada para o cálculo do ângulo de esterço na manobra de estacionamento, bem como a detecção do espaço disponível para a manobra.

Inicialmente, instalamos o sensor de acordo com o explicado na seção 3.6, e efetuamos as medidas contra um objeto posicionado em diversas distâncias, a partir de 10 cm até 200 cm, em intervalos de 10 cm. Os valores medidos são apresentados na Tabela 4.

Analisando os resultados obtidos, observa-se que o resultado medido pelo sensor apresentou um *offset* de 1 cm em toda a faixa de medição quando comparado à medida feita com trena. Esse erro fixo foi corrigido em *software*, somando 1 cm ao valor lido pelo sensor.

Outro erro apresentado na medição se deu de forma gradual, conforme Figura 36, sendo de 1% no fundo de escala. Considerando as dimensões do veículo de teste do projeto, sendo o erro apresentado de 0,2% em relação ao comprimento do carro, bem como as tolerâncias admitidas, este erro não será considerado. Adicionalmente, a distância lateral usual de estacionamento será menor que 60 cm, região onde a indicação se mostrou precisa.

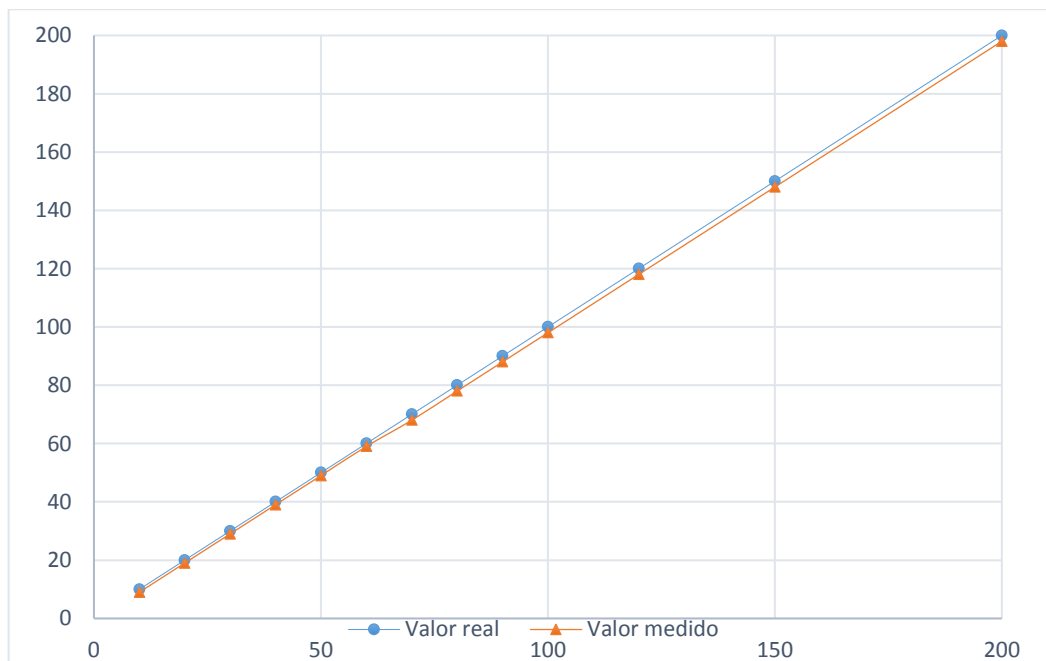


Tabela 4 – Resposta do sensor de distância lateral

Distância Real (cm)	Distância medida (cm)
10	9
20	19
30	29
40	39
50	49
60	59
70	68
80	78
90	88
100	98
120	118
150	148
200	198

Fonte: O autor

Figura 36 – Valor medido x Valor real



Fonte: O autor

## 4.2 Medição do tamanho da vaga

Para o correto funcionamento do sistema de estacionamento, primeiramente é necessário garantir a medição do tamanho da vaga, de forma a termos a confiabilidade nesta medida. A vaga é medida pelo sensor de deslocamento, entretanto, quem sinaliza o começo e o final da vaga é o sensor de distância lateral, sendo a variável de erro mais considerável o atraso na atualização da indicação de distância lateral, que será detalhado nesta seção.

O teste foi realizado posicionando dois carros com um espaço vago entre si com distâncias superiores a 5 m e inferiores a 8 m, com medidas em intervalos de 50 cm. A Tabela 5 mostra os valores indicados pelo *software* para cada medição. Os valores foram uma média dos resultados obtidos em 3 medições em cada tamanho de vaga.

Tabela 5 – Resultado da medição do tamanho da vaga

Distância Real (cm)	Distância medida (cm)
500	502
550	544
600	586
650	640
700	686
750	738
800	792

Fonte: O autor

Observando os valores da Tabela 5, é possível observar que ocorreu uma variação não uniforme na medição do tamanho da vaga de estacionamento. Esta variação se dá devido ao atraso na atualização da indicação do sensor de distância lateral, que não é constante. Isso ocorre sempre que a distância em frente ao sensor sofre uma grande variação, como quando começa ou termina de medir o espaço da vaga, pois vai de uma distância próxima a meio metro para o fim de escala do sensor, e vice-versa. Outro ponto que interfere é que, em função do atraso, o controlador lê a vaga com um determinado *offset*, ou seja, a vaga considerada pelo sistema na prática

é deslocada para frente em relação à real, sendo, portanto, esse *offset* ajustado em *software*.

### 4.3 Teste da manobra de estacionamento

A efetividade do funcionamento do *software* de controle para o estacionamento em vagas do tipo paralelo se dá em quão paralelo e que distância o veículo ficou em relação ao calçamento, bem como a distância frontal e traseira com que o carro ficou com os demais estacionados a frente e atrás, respectivamente.

Para isso, o *software* depende das corretas medições do tamanho da vaga, distância lateral, bem como da fidedignidade das indicações do ângulo de esterço das rodas, medido através do movimento do volante, e do deslocamento do carro, medido pelo sensor de deslocamento. Outro fator que influencia diretamente no funcionamento do sistema é a atuação correta do usuário, que deve seguir fielmente as orientações dadas pelo sistema. As influências acarretadas pelo usuário serão desconsideradas neste teste, sendo considerados os comandos do usuário perfeitos. Tais influências serão detalhadas na seção 4.4.

Para mensurar a efetividade do sistema, iremos realizar os testes em diferentes distâncias laterais aos demais veículos, bem como o tamanho da vaga disponível. Como variáveis finais, foram consideradas as variáveis mencionadas no começo desse capítulo, medindo, portanto: ângulo final do carro em relação ao calçamento (considera-se que o ângulo é negativo quando o carro fica inclinado para o calçamento e positivo quando fica inclinado para a rua), a distância do carro ao calçamento e a distância do centro do carro em relação ao centro da vaga. Os resultados obtidos nos testes são mostrados na Tabela 6.

Considerando as dimensões do veículo utilizado, de acordo com equação do tamanho mínimo da vaga (equação (9)), o tamanho mínimo da vaga é de 6,4 m, portanto, foram utilizadas distâncias a partir de 6,5 m para medir a vaga. O tamanho máximo testado foi limitado a 8 m.

Tabela 6 – Resultados da manobra de estacionamento

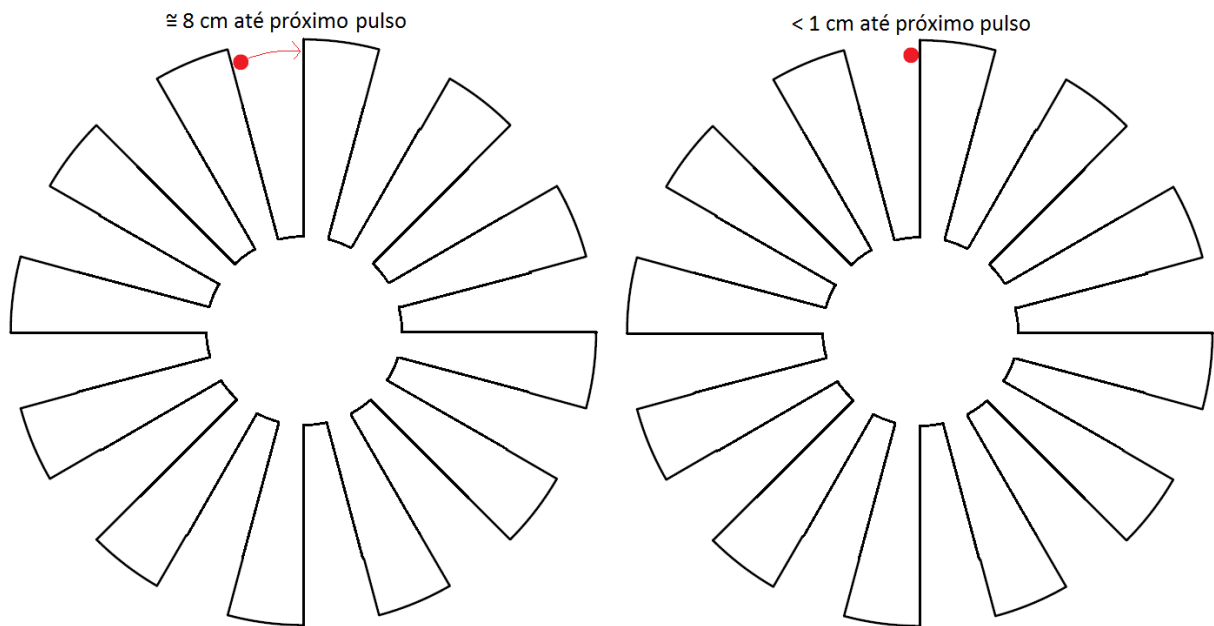
Tamanho da vaga (cm)	Distância lateral (cm)	Ângulo final do carro (°)	Distância ao centro da vaga (cm)	Distância do calçamento (cm)
650	30	2	20	19
650	50	2	18	27
700	30	1	9	15
700	50	1	15	21
750	30	1	8	12
750	50	1	10	17
800	30	0	0	10
800	50	0	4	14

Fonte: O autor

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o objetivo do sistema foi alcançado, tendo uma variação considerada pequena quando comparada as dimensões do carro. É possível observar que o veículo, no final da manobra, fica posicionado sempre para frente do centro da vaga, sendo acentuado quando a vaga é menor. Esse deslocamento se dá pelo ajuste feito em software para evitar que o carro não atinja o carro de trás durante a etapa de entrada na vaga. Esse ajuste se faz necessário devido à variação do atraso de indicação da distância lateral na etapa de medição do tamanho da vaga, explicado na seção 4.2, e o erro de leitura do encoder acoplado na roda traseira.

O erro do encoder do sensor de deslocamento se dá devido ao fato que, para o controlador, sempre que um pulso é recebido, considera-se que o veículo teve um deslocamento de 8 cm para frente ou para trás, dependendo a etapa que o sistema se encontra. Entretanto, na prática, ocorre uma variação do deslocamento real até gerar o primeiro pulso de cada etapa, ou seja, o carro tanto pode percorrer próximo a 8 cm até o encoder gerar um pulso, como pode ter se deslocado menos de 1 cm, conforme ilustrado na Figura 37. O somatório dessas variações acarreta em erros nas medições ao longo do processo de estacionamento.

Figura 37 – Erro de indicação do sensor de deslocamento



Fonte: O autor

A figura Figura 38 mostra o estacionamento concluído sem erros provocados pelo usuário.

Figura 38 – Estacionamento sem influência do usuário



Fonte: O autor

Quanto à variação da distância que o veículo ficou do calçamento, não foi localizado uma causa específica, não sendo, portanto, ajustado em *software*. A causa mais provável é no erro da indicação do sensor de deslocamento e na interferência do usuário ao posicionar o carro no momento de começar a entrar na vaga, que será detalhado na seção 4.4.1.

#### **4.4 Influência do usuário na manobra de estacionamento**

Neste capítulo são demonstradas como as ações do usuário alteram significativamente os resultados obtidos pelo sistema na tarefa de estacionar o veículo na vaga de estacionamento paralelo.

Para demonstrar as influências do usuário, foram realizados dois testes distintos. O primeiro teste consiste na variação do ângulo do carro quando o mesmo está na posição para iniciar a manobra de estacionamento propriamente dita (posição P1, explicada na seção 2.4.5), ou seja, o carro não estará paralelo ao calçamento quando começa a entrar na vaga. O segundo teste consiste em alterar o ângulo da direção durante a manobra de estacionamento quando o veículo está entre os pontos P1 e P2 e os pontos P2 e P3.

##### **4.4.1 Variação do ângulo do carro**

Neste teste, o carro foi posicionado de tal forma que, no início da etapa de entrar na vaga de estacionamento, o carro não estivesse paralelo ao calçamento, simulando um erro do usuário no momento de ler a vaga e/ou posicionar na posição inicial para entrar na vaga desejada. Este erro contraria a primeira orientação dada ao usuário, de andar paralelo aos demais carros estacionados, logo, também ao calçamento.

Foram simulados três ângulos diferentes, sempre nas mesmas condições de tamanho de vaga e distância lateral, sendo elas 700 cm e 50 cm, respectivamente. Os resultados são mostrados na Tabela 7. Os valores esperados são que o carro fique com o ângulo final igual ao inicial e que a distância ao centro da vaga não seja alterada. Também era esperado que a distância do carro ao calçamento seja o que

sofrerá maior alteração, visto que, se o ângulo que o carro se encontra no momento que começa a manobra de estacionamento for diferente de zero, todo o traçado da manobra sofrerá uma rotação.

Tabela 7 – Influência da variação do ângulo do carro

Tamanho da vaga (cm)	Distância lateral (cm)	Ângulo inicial do carro (°)	Ângulo final do carro (°)	Distância ao calçamento (cm)
700	50	- 10	- 9	123
700	50	- 5	-5	64
700	50	5	-	-

Fonte: O autor

Os resultados obtidos foram conforme o esperado, o ângulo final ficou próximo ao inicial. A distância ao centro da vaga, comparado ao teste sem os erros do usuário, não sofreu variações significativas, motivo pelo qual não os constam na Tabela 7. Entretanto, a distância ao calçamento ficou bastante alterada, sendo a variável mais relevante, pois o carro ficou afastado em mais de 1 metro, conforme o teste em que o ângulo inicial foi de - 10°. No teste em que o ângulo inicial foi de 5°, não foi possível coletar os dados, pois o veículo alcançou o calçamento no meio da manobra de estacionamento.

#### 4.4.2 Variação do ângulo da direção

O sistema de controle não possui sensoriamento suficiente para mapear a posição do carro em relação ao ambiente a sua volta, sendo necessário para isso um sensor de leitura em área, e também não possui uma precisão suficiente nos sensores existentes para que o *software* possa projetar a posição do carro. Portanto, para que a manobra de estacionamento seja eficiente, o usuário deve seguir rigorosamente as orientações fornecidas pelo sistema.

Neste teste foi verificada a variação da posição final do carro quando o ângulo de esterço sofre uma alteração indevida durante a manobra de entrada na vaga. Como parâmetros, foram utilizadas as mesmas medidas do teste anterior, tamanho da vaga de 700 cm e distância lateral em 50 cm.

Primeiramente foi alterado o ângulo de esterço em 5 ° para a esquerda e para a direita na primeira parte da entrada na vaga, que consiste no deslocamento entre os pontos P1 e P2, comentados na seção 2.4.5. Os resultados obtidos foram conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Alteração do ângulo de esterço

Tamanho da vaga (cm)	Distância lateral (cm)	Ângulo alterado (°)	Ângulo final (°)	Distância ao centro da vaga (cm)	Distância do calçamento (cm)
700	50	5 a dir	-	-	-
700	50	5 a esq	- 2	2	47

Fonte: O autor

No segundo teste, foi alterado o ângulo de esterço em 5 ° para a esquerda e para a direita na segunda parte da entrada na vaga, que consiste no deslocamento entre os pontos P2 e P3, comentados na seção 2.4.5. Os resultados obtidos foram conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Alteração do ângulo de esterço

Tamanho da vaga (cm)	Distância lateral (cm)	Ângulo alterado (°)	Ângulo final (°)	Distância ao centro da vaga (cm)	Distância do calçamento (cm)
700	50	5 a dir	-	-	-
700	50	5 a esq	- 3	12	20

Fonte: O autor

Observando os resultados obtidos, foi possível verificar que sempre que o volante é virado para a direita, o carro não consegue concluir a manobra de estacionamento, pois alcança o calçamento. Quando o volante é virado para a esquerda, em ambos casos, na primeira parte da manobra de estacionamento ou na segunda, o veículo fica com uma inclinação final para o calçamento. Foi observado também que o carro fica mais próximo do centro da rua quando comparado ao teste



em condições ideais, sendo agravado quando a mudança do ângulo da direção acontece na primeira parte da manobra de estacionamento.

O resultado obtido foi similar ao teste anterior em que o veículo começava a manobra de estacionamento com um ângulo errado, a trajetória sofre uma rotação, porém agora a partir do momento em que o volante é movimentado indevidamente. Conclui-se que quanto mais próximo do começo da manobra, maior será o erro, visto que o deslocamento fora da trajetória calculada será maior.

#### **4.5 Custos do sistema**

Os custos para o desenvolvimento deste projeto envolvem a aquisição dos componentes eletrônicos (incluem-se microcontrolador e *display*), bem como a confecção dos sensores e seus respectivos suportes. Somando os valores gastos e a compra dos itens que foram emprestados da instituição de ensino, o valor total deste sistema é de R\$ 140,00. Cabe ressaltar que o objetivo é poder instala-lo em veículos que originalmente não tem esta funcionalidade.

Quanto aos carros que trazem originais de fábrica sistemas de auxílio para estacionamento, as montadoras os vendem em versões, onde cada versão possui um pacote de funcionalidades. Dentre essas funcionalidades, incluem-se esse sistema. Entretanto, não se pode comprar apenas esse equipamento, portanto, não é possível obter seu valor isolado. O único veículo ofertado como opcional isolado o *Park Assist* foi o Tiguan® em 2010, seu valor era de R\$ 3.765,00 (valor não convertido para valores monetários atuais).

Portanto, para adquirir um sistema de estacionamento original de fábrica, será necessária a compra de um veículo com esse opcional, que parte de R\$109.490, valor do Ford Focus Titanium Plus 2.0, veículo de menor valor com esse tipo de sistema disponível.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema eletrônico que fosse capaz de auxiliar o usuário de um automóvel a estacionar corretamente o carro em uma vaga do tipo paralela, o qual foi plenamente alcançado. O sistema proposto foi capaz de identificar os veículos estacionados e a vaga desejada, bem como calcular e auxiliar o condutor na tomada de decisões, a fim de estacionar o carro a menos de meio metro de distância do calçamento e sem colidir com nenhum veículo.

A obtenção das variáveis do veículo através de encoders se mostraram efetivas, permitindo ao *software* reconhecer o ângulo de esterço das rodas dianteiras, bem como o deslocamento do veículo ao longo do processo de estacionamento. O sensor de deslocamento apresentou uma pequena incerteza de indicação, pois foi responsável por agregar um erro acumulativo durante a leitura da vaga, posicionamento e manobra de estacionamento, devido à resolução limitada do sensor, comentado na seção 4.3, bem como a correção via *software* na sua indicação, conforme a seção 3.5. Quanto ao sensor de esterço, não foram constatados erros de indicações significativos que comprometessem o funcionamento do sistema, sendo considerado, portanto, adequado ao seu objetivo.

A utilização do sensor de ultrassom, modelo HC-SR04, para realizar a leitura do ambiente, se mostrou um desafio, em função do seu atraso de indicação. Durante as etapas de testes individuais dos sensores, o sensor de distância escolhido apresentou bons resultados, informando resultados precisos e com bom tempo de resposta. Entretanto, não foi observado inicialmente que ao sofrer uma grande variação da distância de leitura, o sensor apresenta um tempo de atualização que não é constante, comentado na seção 4.2. O problema de atraso de indicação apareceu apenas quando todo o conjunto de sensores do sistema foi instalado e testado no veículo de teste.

Em relação ao *software* de controle desenvolvido, seu funcionamento se mostrou eficiente, auxiliando o condutor em todas as tomadas de decisões para estacionar o veículo na vaga paralela, desde que fossem seguidas rigorosamente as informações fornecidas e as orientações iniciais, as quais são o ponto mais frágil de todo o sistema. Para a comunicação entre usuário e controlador, foi utilizado um *display* de celular, o qual se mostrou suficiente para leitura das variáveis e informações. O modelo proposto retorna variáveis que, se seguidas corretamente,

realizam a manobra de estacionamento que atende aos requisitos de um bom estacionamento. Porém, ao agregar erros decorrentes do usuário, como alterar o ângulo no início da manobra ou mexer o volante inadvertidamente, conforme os testes das seções 4.4.1 Variação do ângulo do carro e 4.4.2 Variação do ângulo da direção, o *software* é incapaz de identificar os erros e se corrigir, levando ao carro à situações que, em alguns casos, sequer conseguiram concluir o processo de estacionamento. Para que fosse possível corrigir esses problemas, seria necessário um sensoriamento mais completo do entorno do veículo, bem como um modelo matemático que considere efetivamente a posição do carro a ser estacionado e dos demais carros já estacionados.

Sistemas que auxiliam o usuário a estacionar um veículo são ferramentas de valores agregados altos e de grande complexidade, envolvendo uma gama de sensores para realizar essa tarefa, ao contrário do sistema desenvolvido, um sistema de baixo custo e com poucos sensores. Entretanto, foi possível obter bons resultados em uma manobra de estacionamento com o sistema proposto, desde que sejam cumpridos os requisitos impostos ao usuário.

Para projetos futuros, a fim de obter respostas mais precisas sem mudar a topologia do sistema, seria necessário ter um sensor de deslocamento com melhor resolução, a fim de minimizar o impacto do erro acumulativo, bem como um sensor de distância lateral com um menor tempo de atualização, obtendo assim um melhor desempenho na leitura do tamanho da vaga. Quanto aos erros causados pelo usuário, para corrigi-los seria necessário um mapeamento em área do ambiente no entorno do veículo, utilizando mais sensores, bem como um *software* de posicionamento em tempo real, mudando, portanto, a filosofia de controle do sistema.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Kléber de Oliveira; Sistema Neural Reativo para o Estacionamento Paralelo com uma Única Manobra em Veículos de Passeio. São Paulo: USP, 2011.

AUTOMATIZE. Sensores Ultra-sônicos Siemens. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.automatizesensores.com.br/ultrasonicos.html>. Acesso em 16 nov 2017.

BRASIL. Código de Trânsito Brasileiro (CTB). Lei Nº 9.503, de 23 de Setembro de 1997. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília: 2007.

CURRIE, Roderick; Hacking the CAN Bus: Basic Manipulation of a Modern Automobile Through CAN Bus Reverse Engineering. U.S.A.: SANS Institute, 2017.

DETRAN - RS. Detran divulga índice de reprovação. Rio Grande do Sul, 2015. Disponível em: <http://www.detran.rs.gov.br/conteudo/36672/detran-divulga-indice-de-reprovacao>. Acesso em 03 set 2017.

DETRAN - RS. Erros nas provas práticas de direção já podem ser pesquisados no site do Detran/RS. Rio Grande do Sul, 2017. Disponível em: <http://www.detran.rs.gov.br/conteudo/45960/erros-nas-provas-praticas-de-direcao-ja-podem-ser-pesquisados-no-site-do-detran-rs>. Acesso em 03 set 2017.

ELECFREAKS. HC-SR04 User Guide. Disponível em: [https://elecfreaks.com/estore/download/EF03085-HC-SR04\\_Ultrasonic\\_Module\\_User\\_Guide.pdf](https://elecfreaks.com/estore/download/EF03085-HC-SR04_Ultrasonic_Module_User_Guide.pdf). Acesso em 11 mar 2018.

ENCODER PRODUCTS COMPANY. What is an encoder? Sagle U.S.A., 2016. Disponível em: <http://encoder.com/blog/company-news/what-is-an-encoder/>. Acesso em 16 nov 2017.

FORD. 2017 FUSION Owner's Manual. 1. Ed. U.S.A. 2016.

HERNANDES, A. C.; MENDONÇA, A. S. B.; ANDRADE, K. O.; BECKER, M. Redes neurais artificiais aplicadas à baliza paralela de veículo de passeio em ambiente simulado - CON10-0425. In: CONEM 2010 - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010, Campina Grande - PB. Anais do CONEM 2010, 2010. v. 1. p. 1-10.

HERRMANN, Norbert. Ein mathematisches Modell zum Parallelparken. Hannover Alemanha, 2003. Disponível em: <http://www.xalita.com/abi91/phpBB2/uploadfiles/PARKEN.pdf>. Acesso em 17 nov 2017.

ROTH, Jürgen. Einparken - Ein ideales Thema für experimentelle Geometrie und Projektarbeit. Hildesheim: Verlag Franzbecker, 2007. Disponível em: [http://www.dms.uni-landau.de/roth/veroeffentlichungen/einparken/roth\\_einparken\\_2007.pdf](http://www.dms.uni-landau.de/roth/veroeffentlichungen/einparken/roth_einparken_2007.pdf). Acesso em 17 nov 2017.

S. H. Jeong; C. G. Choi; J. N. Oh; P. J. Yoon; B. S. Kim; M. Kim; K. H. Lee. LOW COST DESIGN OF PARALLEL PARKING ASSIST SYSTEM BASED ON AN ULTRASONIC SENSOR. International Journal of Automotive Technology, Vol. 11, 2009.

SIEGWART, R.; NOURBAKHSI, I. R.; Introduction to Autonomous Mobile Robots. 1. Ed. London: The MIT Press, 2004.

TESLA. Model S Owner's manual. 8. Ed. U.S.A. 2017.

VOLKSWAGEN. Manual de instruções: Tiguan. 3. Ed. Alemanha. 2010.

VOLKSWAGEN. Manual de instruções: Tiguan. 5. Ed. Alemanha. 2016.

ZHU, C.; RAJAMANI, R. Global positioning system-based vehicle control for automated parking. Proceedings of the I MECH E PART D Journal of Automobile Engineering, Vol. 220, Ed. 1, 2006.

## ANEXO A – PARTE DO MANUAL DO SENSOR HC-SR04



Vcc Trig Echo GND

### Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10uS pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion. You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula:  $\mu\text{S} / 58 = \text{centimeters}$  or  $\mu\text{S} / 148 = \text{inch}$ ; or: the range = high level time \* velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.

