

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS EMBARCADOS PARA INDÚSTRIA
AUTOMOTIVA

RICARDO CAMARGO KNAF

**AVALIAÇÃO DE AUTOMATIZAÇÃO DE COMANDO DE PEDAL DE
EMBREAGEM EM DESACELERAÇÃO VEICULAR PARA SISTEMA
DE ACIONAMENTO MANUAL PARA PESSOAS COM MOBILIDADE
REDUZIDA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2018

RICARDO CAMARGO KNAF

**AVALIAÇÃO DE AUTOMATIZAÇÃO DE COMANDO DE PEDAL DE
EMBREAGEM EM DESACELERAÇÃO VEICULAR PARA SISTEMA
DE ACIONAMENTO MANUAL PARA PESSOAS COM MOBILIDADE
REDUZIDA**

Monografia de Especialização,
apresentada ao Curso de Especialização
em Sistemas Embarcados para Indústria
Automotiva, do Departamento Acadêmico
de Eletrônica – DAELN, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR,
como requisito parcial para obtenção do
título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Kendy
Horikawa Nabas

CURITIBA
2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria
Automotiva



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DE AUTOMATIZAÇÃO DE COMANDO DE PEDAL DE EMBREAGEM EM DESACELERAÇÃO VEICULAR PARA SISTEMA DE ACIONAMENTO MANUAL PARA PESSOAS COM MOBILIDADE REDUZIDA

por

RICARDO CAMARGO KNAF

Esta monografia foi apresentada em 06 de Dezembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Orientador

Prof. Dr. Edenilson José da Silva
Membro titular

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico a todas as pessoas com
deficiência ou mobilidade reduzida que
possam se beneficiar dos resultados
obtidos neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família que sempre se fez presente desde o começo dessa etapa de minha vida, agradeço à Clarissa Machado e a todos que me ajudaram a desenvolver e concluir este trabalho. Obrigado a todos aqueles que tiveram paciência e que fizeram parte de mais esta jornada.

“Não devemos deixar que as
incapacidades das pessoas nos
impossibilitem de reconhecer as suas
habilidades”

(Hallahan, D. & Kauffman, J., 1994)

RESUMO

KNAF, Ricardo Camargo. **Avaliação de automatização de comando de pedal de embreagem em desaceleração veicular para sistema de acionamento manual para pessoas com mobilidade reduzida**. 2018. 52 p. Monografia de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Adaptações veiculares de tecnologias assistivas visam fornecer autonomia às pessoas com dificuldades em acessar os comandos de dirigibilidade do veículo. Existem dispositivos no mercado que permitem a condução do veículo de maneira automatizada, mas de maneira geral têm um custo elevado ou são pouco eficientes. Este estudo visa avaliar o ganho de um modelo de automatização de um sistema existente de controle manual de pedal de embreagem que atualmente é feito através de um comando manual operado pelo condutor com mobilidade reduzida. O sistema a ser desenvolvido visa obter dados de acionamento do pedal de embreagem quando o veículo está reduzindo a velocidade até parar ou ao iniciar o movimento. O sistema em desenvolvimento deverá replicar estes comandos com base nos dados levantados previamente. Para que o desenvolvimento possa ser realizado, serão necessários o conhecimento sobre a Legislação veicular, Normas Técnicas, sistemas eletrônicos, aquisição de dados, protocolo de comunicação veicular CAN, análise de dados e modelização de sistemas.

Palavras-chave: Mobilidade reduzida. Embreagem. Tecnologia assistiva.

ABSTRACT

KNAF, Ricardo Camargo. **Clutch pedal automation avaliation in vehicle deceleration for manual control system for people with reduced mobility**. 2018. 52 p. Monografia de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Vehicular adaptation of assistive technologies aims to provide autonomy for people with difficulties in accessing the vehicle's drive controls. There are devices available in the market that allow the vehicle to be driven in an automated way, but they are generally expensive or inefficient. This study aims to evaluate the gain of an automation model of an existing manual clutch pedal control system that is currently done by a manual command by the driver with reduced mobility. The system to be developed is designed to obtain clutch pedal data when the vehicle is slowing to stop or starting a movement. The developing system should replicate these commands based on the data previously obtained. To keep the development ongoing, it will be necessary knowledge about vehicle legislation, technical standards, electronic systems, data acquisition, vehicular communication protocol, data analysis, and system modeling.

Keywords: Reduced Mobility. Clutch Pedal. Assistive technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comandos manuais disponíveis no mercado	13
Figura 2 - Protótipo de acionamento de pedal de embreagem	14
Figura 3 - Comando manual de acionamento de pedal de embreagem.....	14
Figura 4 - Primeiro motor elétrico	22
Figura 5 - Sistema de transmissão de veículos.....	23
Figura 6 - Caixa de câmbio mecânica	24
Figura 7 - <i>Shift Paddles</i> da Volkswagen.....	26
Figura 8 - Câmbio <i>Dualogic</i> da Fiat.....	26
Figura 9 - Câmbio com conversor de torque	27
Figura 10 - Visão dos dois lados de um Arduino Nano	30
Figura 11 - Web Server feito com <i>shields Ethernet</i> e <i>Storage</i>	31
Figura 12 - Diagrama de blocos de programação do chip AVR do Arduino	31
Figura 13 - Conversor A/D: Exemplo de funcionamento	32
Figura 14 - Diagrama de blocos de um sistema de controle de nível.....	34
Figura 15 - Acionamento do pedal por motor DC	35
Figura 16 - Vista superior de sistema de acionamento	36
Figura 17 - Hardware de sistema de controle.....	36
Figura 18 - Manopla de acionamento manual	37
Figura 19 - Proposta de interface de comunicação para aquisição de dados	37
Figura 20 - Terminal de comunicação serial PuTTY	38
Figura 21 - Modelo computacional do sistema	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição de sinais do modelo computacional	41
Tabela 2 - Descrição de parâmetros do modelo computacional.....	42
Tabela 3 - Parâmetros para o primeiro cenário	43
Tabela 4 - Parâmetros para o segundo cenário	44
Tabela 5 - Parâmetros para o terceiro cenário	45
Tabela 6 - Tabela de síntese de resultados	47
Tabela 7 - Parâmetros finais escolhidos para o modelo.....	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curvas de força de componentes de um pedal	29
Gráfico 2 - Exemplo de ciclo de desaceleração	40
Gráfico 3 - Simulink: SignalBuilder	42
Gráfico 4 - Sinais e comportamento do cenário 1	44
Gráfico 5 - Sinais e comportamento do cenário 2	45
Gráfico 6 - Sinais e comportamento do cenário 3	46
Gráfico 7 - Erro médio quadrático normalizado dos três cenários.....	47

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BIT	<i>Binary Digit</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CID	Classificação Estatística Internacional de Doenças
CMU	Comando Manual Universal
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DETRAN	Departamento de Trânsito
DTC	<i>Diagnostic Trouble Codes</i>
ECU	<i>Engine Control Unit</i> (ou Unidade de Controle do Motor)
ICD	<i>International Classification of Diseases</i>
ICSP	<i>In-Circuit Serial Programming</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
KGF	Quilograma-força
LCD	<i>Liquid Cristal Display</i>
NBR	Normas Brasileiras
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
OICA	<i>Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
PID	Proporcional Integral Derivativo
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2 PROBLEMA	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	17
1.4 JUSTIFICATIVA	17
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 ACESSIBILIDADE	19
2.2 MOBILIDADE REDUZIDA E DEFICIÊNCIA	20
2.2.1 Ajudas Técnicas	21
2.3 VEÍCULOS	22
2.3.1 Motores	22
2.3.2 Sistema de Transmissão	23
2.3.3 Caixa de Câmbio	24
2.3.3.1 Caixa de câmbio mecânica	24
2.3.3.2 Caixa de câmbio automatizada ou robotizada	25
2.3.3.3 Caixa de câmbio automática	27
2.3.4 Embreagem	28
2.4 ELETRÔNICA	29
2.4.1 Microcontrolador Arduino	29
2.4.2 Conversor Analógico-Digital	32
2.5 CONTROLLER AREA NETWORK	33
2.5.1 CAN Bus	33
2.5.2 SAE J1939	33
2.5.3 OBD Diagnostics	33
2.6 SISTEMAS DE CONTROLE	34
3 DESENVOLVIMENTO	35
3.1 PROJETO BASE	35
3.2 INTERFACE FÍSICA DE AQUISIÇÃO	37
3.3 AQUISIÇÃO DE DADOS DE DIREÇÃO	39
3.4 TRATAMENTO DE DADOS	40
3.5 MODELIZAÇÃO DE FUNÇÃO	41
3.6 SIMULAÇÃO COM DADOS REAIS DE ENTRADA	42
3.7 AJUSTES E CALIBRAÇÃO	42
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	43
4.1 PRIMEIRO CENÁRIO	43
4.2 SEGUNDO CENÁRIO	44
4.3 TERCEIRO CENÁRIO	45
4.4 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS	46
5 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Pessoas com deficiência física nos membros inferiores têm dificuldades de locomoção, ao caminhar, ao pegar transporte público e ao conduzir um veículo. Para efetuar estas atividades do cotidiano, os deficientes físicos necessitam de auxílio, como por exemplo, o auxílio de outras pessoas.

A tecnologia pode ser aplicada em algumas destas atividades com objetivo de facilitar a vida dos deficientes sob estes aspectos, um sistema robótico adaptado que auxilie os deficientes físicos a conduzir veículos sem a ajuda de outra pessoa, traria maior independência à estas pessoas.

Quanto maior o nível de especialização da robotização, menor o esforço e a atenção exigida ao condutor do veículo.

Atualmente é possível encontrar no mercado sistemas robóticos que auxiliam na condução de veículos de passeio dotados de câmbio automático, tornando o veículo possível de ser conduzido apenas por controles manuais, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Comandos manuais disponíveis no mercado



Fonte: Cavenagui (2013).

Para veículos com câmbio manual, onde o terceiro pedal está presente (pedal de embreagem), este sistema não é suficiente para garantir a condução apenas com as mãos.

Para que um veículo com câmbio manual possa ser conduzido apenas pelas mãos, um protótipo de robotização do pedal de embreagem foi proposto como Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Controle e Automação da PUCPR, em 2013, na qual sua proposta original consistia em um atuador linear acoplado ao pedal de embreagem, pilotado por um comando manual (Figura 2).

Figura 2 - Protótipo de acionamento de pedal de embreagem



Fonte: Autoria própria.

Um movimento de baixa intensidade no comando manual, apresentado na Figura 3, é convertido em um comando linear com força suficiente para movimentar o pedal de embreagem.

Figura 3 - Comando manual de acionamento de pedal de embreagem



Fonte: Autoria própria.

A adaptação destes dois sistemas em um veículo, permite que os pedais de freio, acelerador e embreagem sejam controlados com a mão esquerda, mantendo os demais controles na mão direita.

Para que o condutor deficiente tenha uma melhor experiência na condução destes veículos com controles adaptados, um certo nível de especialização dos mesmos é demandado. Quanto maior o nível de especialização destes sistemas, menos recursos ou atenção do condutor são necessários.

Este trabalho visa otimizar o protótipo robotizado de controle do pedal de embreagem, embarcando ações automatizadas em função de informações obtidas do veículo em tempo real.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Para veículos que não possuem câmbio automático, também existem opções de adaptações disponíveis no mercado que usam o mesmo sistema da adaptação mecânica de acionamento do pedal de aceleração e freio de veículos com câmbio automático, acrescidos de um mecanismo de acionamento automático do pedal de embreagem (CAVENAGUI, 2013). Porém, este sistema adicional atua independentemente da vontade do condutor, pois seu controle se baseia em situações ideais pré-definidas, desconsiderando o desejo momentâneo ou a dinâmica de condução do motorista, levando-o algumas vezes a situações indesejadas.

1.2 PROBLEMA

Como as adaptações disponíveis no mercado são preferencialmente voltadas aos veículos dotados de câmbio automático, as adaptações para câmbio manual exigem um controle maior, ou pelo condutor, ou pelo próprio sistema.

Para que o condutor possa interagir com este sistema, fazendo com que a atuação do pedal de embreagem seja proporcional à sua vontade, são necessárias a aquisição e transmissão de informações do condutor para um sistema de controle, para que seja identificado para qual posição o pedal deverá se movimentar naquele exato momento e possa efetuar o acionamento servo-assistido do pedal de embreagem por todo o seu curso.

1.3 OBJETIVOS

Em uma condição de condução convencional, onde os pedais de um veículo com câmbio manual precisam ser acionados com os pés, os pedais de freio e acelerador são acionados com o pé direito e a embreagem com o pé esquerdo. No caso do sistema robotizado em questão, os três pedais são acionados por apenas uma mão.

A atribuição de vários comandos de dirigibilidade à apenas uma mão pode causar o desvio da atenção do condutor, podendo trazer riscos de segurança.

O objetivo deste trabalho é agregar uma função de acionamento automático do pedal de embreagem nos momentos que o veículo reduz a velocidade até parar completamente. Esta função que é atualmente feita pelo condutor do veículo, pode ser feita pelo sistema robotizado de forma automática.

O comportamento do acionamento do pedal de embreagem em função da velocidade do veículo deve ser previamente estudado para que possa ser implementado e replicado como uma função automática

Para entender como é a dinâmica de condução convencional, sob o ponto de vista de acionamento do pedal de embreagem e a velocidade do veículo, é necessária que seja feita a coleta de dados de posicionamento do pedal de embreagem e velocidade do veículo, ambos em função do tempo.

Após compreendida esta dinâmica e obtida a relação entre as variáveis em questão, será implementada esta função em ambiente Matlab/Simulink, onde é possível comparar dados obtidos em um ciclo real, com dados simulados.

O resultado da função corresponde ao posicionamento do pedal de embreagem, que será informado ao controlador.

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de acionamento do pedal de embreagem que permita interação com o condutor portador de deficiência física ou mobilidade reduzida e que seja compatível com o exigido pelas Normas Brasileiras que descrevem sobre os assuntos envolvidos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estruturar e discorrer sobre as etapas necessárias para o desenvolvimento do projeto;
- Obter a função de relação do pedal de embreagem com a velocidade;
- Criar um sistema que controle o pedal conforme a função obtida nos casos de parada do veículo;
- Comparar os dados obtidos.

1.4 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento do sistema proposto possibilitará indivíduos com mobilidade reduzida ou com determinadas deficiências físicas conduzirem veículos dotados de câmbio manual, predominantes em carros populares, sendo que este sistema deve automaticamente controlar o acionamento do pedal quando o veículo estiver entrando em movimento ou parando, transformando-se em uma solução de baixo custo. Através de um pequeno movimento manual e pouca força, é possível fazer o acionamento gradual em todo o curso do pedal de embreagem de qualquer veículo com câmbio manual (BRASIL, 1998).

O planejamento das atividades, desde a pesquisa até a elaboração e desenvolvimento de um projeto, é de extrema importância, pois descreve a sequência cronológica de execução das atividades para o alcance de um objetivo (MATIAS-PEREIRA, 2010).

Para atingir o escopo pretendido neste trabalho, optou-se inicialmente pelo estudo da Legislação e das Normas Técnicas de regulamentação dos mecanismos envolvidos, assim como pelo estudo propriamente dito desses mecanismos.

Na sequência, serão levantadas informações a respeito da opinião dos possíveis usuários do mecanismo estudado, os deficientes físicos que não possuem movimento nos membros inferiores ou pessoas com mobilidade reduzida, através de pesquisa aplicada. Concomitantemente, serão adquiridos dados referentes ao pedal de embreagem e outros mecanismos envolvidos, além de um levantamento dos recursos, das tecnologias disponíveis para o desenvolvimento do dispositivo.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro contato estabelecido com o tema é feito a partir do capítulo 2. Por meio de uma revisão bibliográfica, procura-se contextualizar os conceitos do mecanismo que se pretende estudar. Este capítulo é dividido em seis partes, sendo que as duas primeiras discorrem sobre o conceito de acessibilidade, mobilidade reduzida e deficiências em geral. Nas quatro partes subsequentes são descritas considerações sobre sistemas integrantes dos automóveis, informações sobre alguns componentes de eletrônica, sobre sistemas de controle e sobre as tecnologias de comunicação veicular.

No capítulo 3, depois da base teórica, é exposta a metodologia de desenvolvimento do trabalho assim como as partes integrantes do projeto. Na sequência, no capítulo 4, são expostos as discussões e os resultados do trabalho. Por fim, no capítulo 5, é realizado o encerramento através da exposição da conclusão e considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos teóricos envolvidos na pesquisa. Inicialmente serão abordadas informações referentes à acessibilidade, mobilidade reduzida, deficiências e suas classificações, seguindo de informações técnicas sobre veículos, normatização do processo adaptativo segundo a legislação vigente e, em seguida, são apresentados os conceitos técnicos úteis para o desenvolvimento do sistema de adaptação, objeto deste estudo.

2.1 ACESSIBILIDADE

O artigo 5º da Constituição Federal de 1988 estabelece o que convencionalmente chamamos de direito de ir e vir de todos os cidadãos, onde qualquer pessoa livre, em tempos de paz, deve ter o direito de chegar facilmente em qualquer lugar, porém, algumas pessoas tem dificuldade, devido a condições físicas não favoráveis, temporárias ou permanentes (BRASIL, 1988).

Perante a lei, acessibilidade é:

Condição para utilização, com segurança e autonomia, total ou assistida, dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos serviços de transporte e dos dispositivos, sistemas e meios de comunicação e informação, por pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida (BRASIL, 2004).

Esta mesma lei que define os termos de acessibilidade, define o termo “barreira” como sendo qualquer empecilho ou obstáculo que limite ou impeça a liberdade de movimentação, o acesso e a circulação com segurança das pessoas (BRASIL, 2000).

Estas barreiras podem ter várias classificações tais como barreiras nas comunicações e edificações. A classificação de Barreiras Arquitetônicas nos Transportes, que delimita todas aquelas que ocorrem nos meios arquitetônicos de transporte, foi alterada pelo decreto nº 5296, para apenas Barreiras nos Transportes, que abrange todas as barreiras ocorridas nos meios de transportes (BRASIL, 2004), enquadrando-se desta forma, como item de interesse para este estudo.

2.2 MOBILIDADE REDUZIDA E DEFICIÊNCIA

Segundo a NBR 14021, mobilidade reduzida se caracteriza por uma condição que faz com que uma pessoa se movimente, permanente ou temporariamente, com dificuldade, com redução de sua mobilidade, coordenação motora, flexibilidade e percepção. Este termo pode ser aplicado a idosos, gestantes, lactantes, obesos e pessoas com crianças de colo, que por algum motivo venham a ter dificuldade em se movimentar. Exclui-se desta terminologia as pessoas que se enquadram no conceito de pessoas portadoras de deficiência (BRASIL, 2004).

Deficiência é “toda perda ou anormalidade de uma estrutura ou função psicológica, fisiológica ou anatômica que gere incapacidade para o desempenho de atividade dentro do padrão considerado normal para o ser humano”, definido por (AMIRALIAN et al., 2000).

Segundo a NBR 9050, deficiência é:

Redução, limitação ou inexistência das condições de percepção das características do ambiente ou de mobilidade e de utilização de edificações, espaço, mobiliário, equipamento urbano e elementos, em caráter temporário ou permanente (ABNT, 2004).

O Decreto-Lei nº 5.296 (BRASIL, 2004), classifica o tipo de deficiência como deficiência física, auditiva, visual e mental:

É considerada pessoa portadora de deficiência a que se enquadra nas seguintes categorias:

I - Deficiência física - alteração completa ou parcial de um ou mais segmentos do corpo humano, acarretando o comprometimento da função física, apresentando-se sob a forma de paraplegia, paraparesia, monoplegia, monoparesia, tetraplegia, tetraparesia, triplegia, triparesia, hemiplegia, hemiparesia, ostomia, amputação ou ausência de membro, paralisia cerebral, nanismo, membros com deformidade congênita ou adquirida, exceto as deformidades estéticas e as que não produzam dificuldades para o desempenho de funções;

II - Deficiência auditiva - perda bilateral, parcial ou total, de quarenta e um decibéis (dB) ou mais, aferida por audiograma nas frequências de 500HZ, 1.000HZ, 2.000Hz e 3.000Hz; (Redação dada pelo Decreto nº 5.296, de 2004).

III - Deficiência visual - cegueira, na qual a acuidade visual é igual ou menor que 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; a baixa visão, que significa acuidade visual entre 0,3 e 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; os casos nos quais a somatória da medida do campo visual

em ambos os olhos for igual ou menor que 60o; ou a ocorrência simultânea de quaisquer das condições anteriores;

IV - Deficiência mental – funcionamento intelectual significativamente inferior à média, com manifestação antes dos dezoito anos e limitações associadas a duas ou mais áreas de habilidades adaptativas, tais como:

- a) comunicação;
- b) cuidado pessoal;
- c) habilidades sociais;
- d) utilização da comunidade;
- d) utilização dos recursos da comunidade;
- e) saúde e segurança;
- f) habilidades acadêmicas;
- g) lazer; e
- h) trabalho.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) desenvolve e revisa periodicamente, desde 1992, uma ferramenta de auxílio de diagnóstico conhecida por Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados com a Saúde (CID), que fornece códigos relativos à classificação de doenças, queixas, sinais, sintomas, aspectos anormais, circunstâncias sociais e causas externas para ferimentos ou doenças. Este sistema foi desenvolvido para que se permita fazer consultas e comparações de padrões de epidemiologia, gestão de saúde e para fins clínicos. Atualmente, a CID já está na décima primeira revisão, que é conhecida internacionalmente por *International Classification of Diseases: ICD-11* (WHO, 2018).

2.2.1 Ajudas Técnicas

Conforme definição na Constituição de 1998, “Ajuda Técnica é qualquer elemento que facilite a autonomia pessoal ou possibilite o acesso e o uso do meio físico” (BRASIL, 1998).

Também chamado de tecnologia assistente, esta ajuda é a aplicação da tecnologia conhecida em favor de uma deficiência, podendo ser utilizada para melhorar a vida de deficientes e pessoas com mobilidade reduzida, resolver problemas funcionais, reduzir dependência e proporcionar maior integração com a família e a sociedade.

A adaptação veicular pode ser considerada uma ajuda técnica, pois pode garantir mobilidade pessoal, permitindo que pessoas que não tenham condições de conduzir um automóvel de maneira autônoma, tenham acesso de maneira assistida aos comandos de dirigibilidade veicular.

2.3 VEÍCULOS

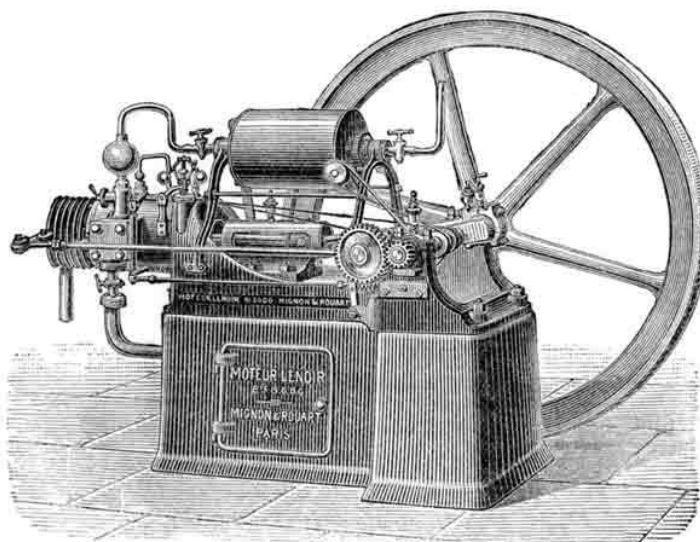
Com origem no latim, *vehiculum*, veículo significa todo e qualquer meio de transporte existente, motorizado ou não (MICHAELIS, 2018). Um automóvel, do grego *auto*, automático e do latim *mobilis*, móvel, é um veículo motorizado. Esta definição é utilizada a todos os veículos dotados de motores com finalidade de transporte de carga ou passageiros.

A definição de carro se refere a veículos com no mínimo quatro rodas e no máximo nove acentos, já incluso o acento reservado ao condutor, destinados ao transporte de passageiros. Segundo a *Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles* (OICA), a produção anual de carros corresponde a aproximadamente 74% do total de veículos produzidos mundialmente (OICA, 2012).

2.3.1 Motores

Motores são dispositivos que convertem algum tipo de energia em forma de energia mecânica, com intuito de propiciar movimento a outro dispositivo. Os primeiros motores foram os que utilizavam força humana como energia primária. Existem também motores que utilizam tração animal, correntes de água, ventos e vapores como fonte de energia, convertendo esta energia primária em energia mecânica em sua finalidade. O primeiro motor a vapor (Figura 4) construído foi em 1859 pelo francês Etienne Lenoir (NTU, 2018).

Figura 4 - Primeiro motor elétrico



Fonte: NTU (2018).

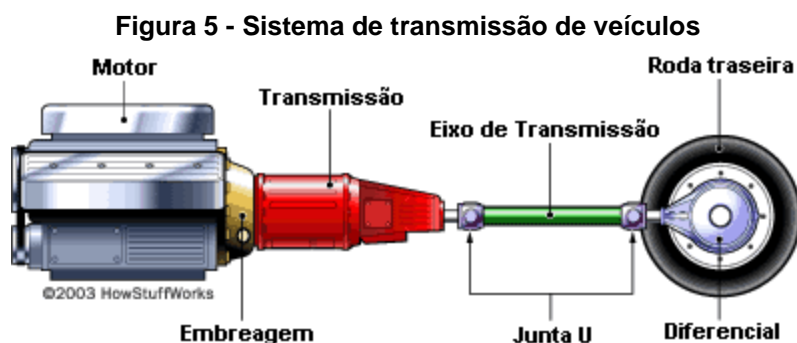
No automobilismo isto não é diferente, são utilizados vários tipos de motores, que operam com diferentes ciclos termodinâmicos e sobre diferentes mecanismos. Podem ser motores tanto elétricos quanto à combustão. Os combustíveis primários dos motores à combustão podem ser de diversas fontes, tais como líquidos ou gasosos.

2.3.2 Sistema de Transmissão

O torque e velocidade, gerados pelo motor, são transmitidos até as rodas por um sistema de transmissão dotado de vários componentes que trabalham em conjunto.

Existem vários tipos de transmissão, a hidráulica, onde a potência é entregue ao destino por meio de fluídos, a mecânica, na qual a potência é transmitida do motor ao destino por meio de engrenagens e embreagens e a hidromecânica que é a soma das prestações da transmissão mecânica e hidráulica (RIPOLI, 2005).

Apenas a transmissão mecânica é utilizada em automóveis, onde o sistema é dotado basicamente de uma caixa de câmbio, embreagem, eixo diferencial e volante do motor, como exemplificados na Figura 5.



Fonte: Nice (2003).

Primeiramente, o torque do motor é transmitido para o volante do motor, que por sua vez faz o contato com a embreagem ou conversor de torque, o qual está conectado à caixa de marchas que está acoplada ao diferencial, que por sua vez está conectado às rodas.

A sincronia deste sistema faz com que o motor entregue a potência gerada através da combustão em seus cilindros para as rodas.

Para se encontrar a melhor condição de trabalho em mecanismos motorizados, a relação entre velocidade, força, torque e potência deve ser analisada, pois uma está diretamente relacionada à outra (RIPOLI, 2005).

2.3.3 Caixa de Câmbio

A relação de engrenagens faz com que quanto maior a rotação do motor em relação à rotação do eixo, maior seja o torque entregue nas rodas, enquanto quanto menor for a rotação do motor em relação à rotação do eixo, maior seja a sua velocidade.

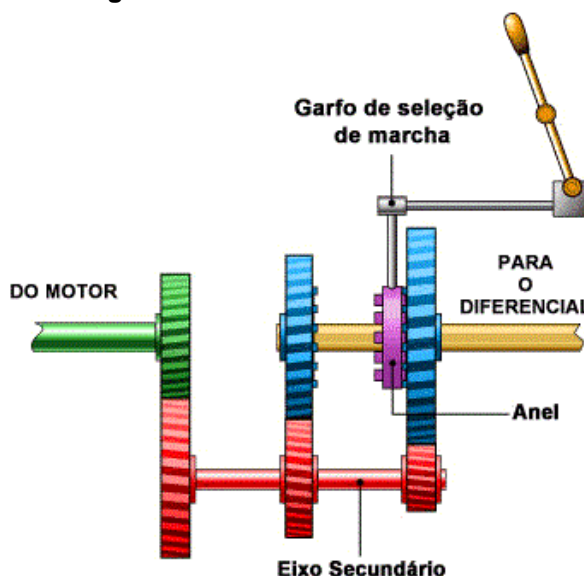
2.3.3.1 Caixa de câmbio mecânica

Mais conhecido popularmente por câmbio manual, o câmbio mecânico permite ao condutor trocar as marchas do veículo manualmente, através de uma alavanca posicionada dentro do veículo, a qual está acoplada a um sistema de engrenagens.

Este sistema de trocas manuais está disponível em quase todos os veículos populares, por ser o sistema de troca de marchas com o menor custo de produção, manutenção e reparabilidade do mercado.

A seleção da marcha é feita através do posicionamento de um dispositivo de alavanca, através de um mecanismo de seleção e engate da marcha apropriada que permite a transmissão de maior torque ou velocidade do motor para as rodas, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Caixa de câmbio mecânica



Fonte: Nice (2003).

A marcha selecionada pelo condutor deve ser compatível com as condições de carga, terreno e velocidade de deslocamento, para que a eficiência na transmissão de potência e consumo de combustível sejam otimizados (BOSCH, 2011).

A troca de marcha deve ser precedida do acionamento completo do pedal de embreagem para que o torque proveniente do motor seja momentaneamente desconectado do sistema de transmissão do veículo, permitindo assim a troca das marchas, pois desta maneira o engate necessita apenas vencer a inércia oriunda do disco de embreagem (SHAVER, 1997).

Quanto maior o torque fornecido pelo motor, menor é o número de marchas necessárias na caixa de câmbio para realizar o trabalho. A complexidade nos termos de dirigibilidade aumenta quando há um alto número de marchas na caixa de câmbio, como em veículos de carga, caminhões e tratores. Estes veículos dispõem de um maior número de marchas para uma melhor distribuição de transmissão do torque do motor para as rodas (MOMISSO, 2004).

2.3.3.2 Caixa de câmbio automatizada ou robotizada

O câmbio automatizado, também conhecido como câmbio semiautomático, robotizado ou sequencial, é um sistema que atua sobre o câmbio mecânico, diferenciando-se quanto ao acionamento do pedal de embreagem e transmissão de comandos do condutor para a caixa de câmbio.

O acionamento neste tipo de câmbio é controlado por um sistema eletrônico que reconhece o comando do condutor e com auxílio de informações de sensores e avaliação de informações tais como rotação, temperatura e velocidade, faz os cálculos e prevenções necessários para a troca de marchas e então movimenta um atuador hidráulico que faz a troca de marchas. Esta troca de marchas é feita sequencialmente de uma marcha para a próxima de maneira ascendente ou descendente (BOSCH, 2015).

Este comando de câmbio pode estar posicionado no mesmo local de trocas de marchas do câmbio mecânico ou disposto atrás do volante de direção do veículo, conhecidos como borboletas ou *shifts paddles*, como o da Volkswagen, representado na Figura 7.

Figura 7 - Shift Paddles da Volkswagen



Fonte: Autoria própria.

Este sistema tem um custo mais elevado que o sistema de caixa de câmbio mecânico, porém inferior ao câmbio automático.

Apesar de este sistema ser basicamente um padrão de acionamento automatizado de um câmbio mecânico, várias montadoras de veículos desenvolveram e patentearam seus diferentes sistemas eletrônicos de controle, tais como o *Dualogic* da FIAT (Figura 8), *I-Motion* da Volkswagen, *Easytronic* da Chevrolet, *Powershift* da Ford, *Quickshift* da Renault, SMT da Toyota, *I-Shift* da Honda e o *2-Tronic* da Peugeot.

Figura 8 - Câmbio *Dualogic* da Fiat



Fonte: Autoria própria.

Este sistema está em constante aprimoramento pelas desenvolvedoras de produtos para a indústria automotiva com intuito de fornecer trocas mais suaves ou conjunto de trocas esportivas, quando desejado pelo condutor (HIROSHI, 2011).

2.3.3.3 Caixa de câmbio automática

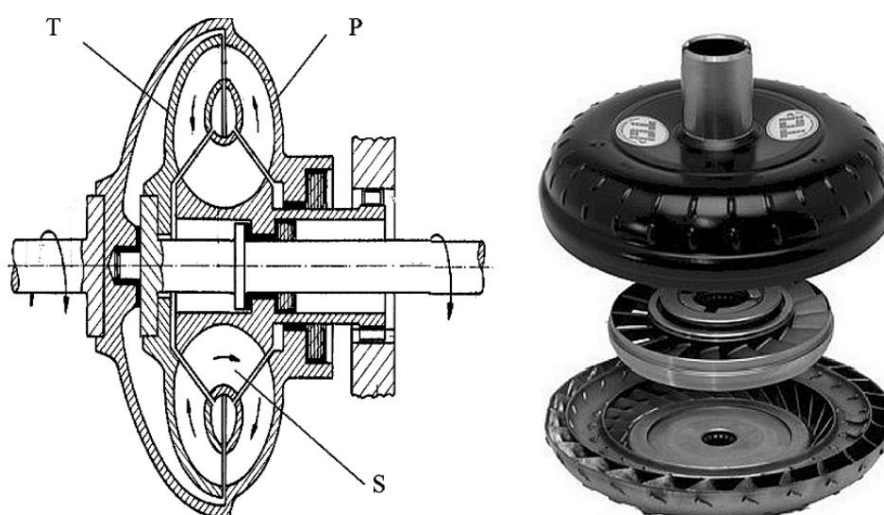
O câmbio automático foi patenteado em 1934, por dois engenheiros brasileiros chamados Fernando Lehly de Lemos e José Braz Araripe, sendo desenvolvido a partir de um protótipo criado em 1904 pelos irmãos Sturtevant, nos Estados Unidos, mas não foi comercializado, pois só funcionava com o motor em altas rotações e possuía apenas duas velocidades. Apenas em 1938 este sistema entrou em produção, quando a General Motors comprou os direitos de produção (MORAES, 2008, p. 75).

A caixa de câmbio automática tem exatamente a mesma função de fazer a troca da ordem de marchas do sistema de transmissão da caixa de câmbio mecânica, porém, a troca é feita de uma maneira totalmente diferente.

Este sistema atualmente contém engrenagens planetárias semelhantes às do câmbio mecânico, porém presentes em apenas uma única peça, onde todas estas engrenagens estão sempre engatadas entre si. A velocidade e torque transmitidos são relacionados à ordem que estas engrenagens estão conectadas.

Sistemas automáticos de câmbio não possuem sistema de embreagem, como nos câmbios mecânicos e para esta finalidade é utilizado um mecanismo chamado conversor de torque, situado entre o motor e a caixa de transmissão, como pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Câmbio com conversor de torque



Fonte: Genta e Morello (2009).

O conversor de torque é um acoplamento hidráulico entre o motor e a caixa de transmissão, que tem por sua finalidade detectar e nivelar o torque aplicado entre estas duas partes, com base em informações obtidas da central do veículo, tais como

velocidade, rotações por minuto do motor, carga etc. O conversor de torque cria uma espécie de relação de rotação entre a caixa de transmissão e o motor (NICE, 2003).

Quando a diferença de rotação entre estas duas partes é muito grande, como por exemplo, nos casos em que o veículo está parado, há desperdício de energia, fazendo com que este sistema seja menos eficiente energeticamente, gastando mais combustível que o sistema de transmissão manual.

A relação de rotação entre o motor e a transmissão é quase nula quando o veículo está em altas velocidades. Algumas fabricantes adotaram um sistema de bloqueio, para que esta relação de rotação seja nula, aumentando a eficiência energética deste sistema, como é o exemplo do 7G-Tronic Plus da Mercedes-Benz, que economiza até 7% com o sistema de bloqueio (DORFSCHMID, 2010).

2.3.4 Embreagem

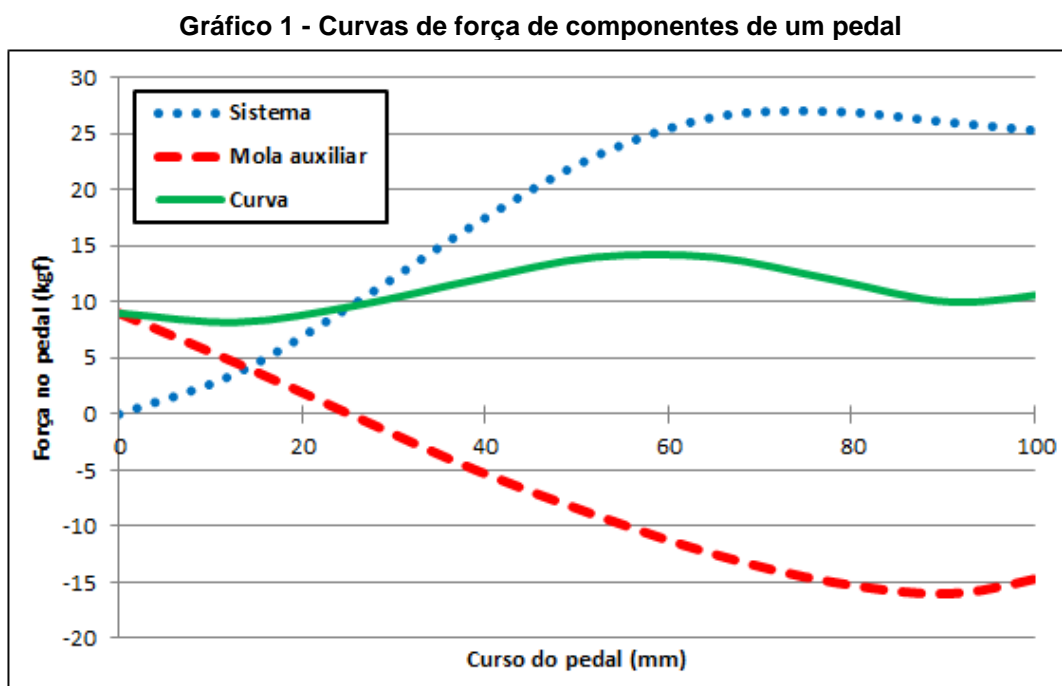
Embreagem é o dispositivo responsável por fazer o acoplamento do volante do motor com a caixa de câmbio. Com a embreagem, é possível interromper o fluxo de força entre o motor e a caixa para permitir a troca de marchas ou para evitar que o motor interrompa seu funcionamento abruptamente quando o carro está parado (CARVILL, 2003). Este sistema possibilita arranque mais suave, amortecendo vibrações indesejadas quando as partes se acoplam.

O funcionamento da embreagem se dá pela fricção entre o volante do motor e o platô de embreagem. Quando o pedal de embreagem é pisado, um cabo ou um sistema hidráulico desloca a membrana do platô, separando-o do câmbio, permitindo que girem em velocidades diferentes, independentes um do outro. Quando o pedal é liberado, molas empurram a placa de pressão contra o volante do motor, fazendo com que ambas as partes se movimentem na mesma velocidade (SHAYER, 1997).

A força necessária para o acionamento do pedal de embreagem é considerada leve se for menor que 10kgf ou 98N e pesada se for maior que 13kgf ou 127N para veículos de passeio (SHAYER, 1997).

O pedal de embreagem possui uma mola auxiliar cuja função é aumentar o esforço de acionamento no início do curso do pedal e diminuí-lo a partir de cerca de um quarto do curso. A mola pode atuar de diferentes maneiras de modo a gerar uma curva de acionamento o mais plana possível, não causando desconforto ao condutor (SANTOS, 2006).

No Gráfico 1, podem-se ver as forças atuantes, tanto quanto do sistema do pedal de embreagem, quanto da mola que atua neste pedal. Também é possível visualizar a resultante da junção das duas forças.



Fonte: Adaptado de Santos (2006).

A transmissão da força aplicada no pedal é feita por um mecanismo hidráulico ou mecanicamente por um cabo de aço flexível revestido por uma guia. Este sistema tem sua eficiência reduzida pelo atrito mecânico das partes envolvidas. Segundo Momisso (2004), a perda no eixo do garfo da embreagem é entre 15% e 20% da força total aplicada e a perda no eixo do pedal é entre 10% e 15%.

2.4 ELETRÔNICA

Neste capítulo serão abordados os conceitos de eletrônica utilizados nesta pesquisa, desde o funcionamento até a sua aplicação.

2.4.1 Microcontrolador Arduino

Arduino é uma plataforma aberta de prototipagem eletrônica baseada em hardware e software flexíveis e de fácil uso. É voltado para artistas, designers, hobistas ou qualquer pessoa interessada em criar objetos interativos ou ambientes. (ARDUINO, 2013).

Segundo seu desenvolvedor, a placa Arduino pode interagir com uma grande variedade de sensores e pode, por exemplo, controlar luzes, motores e outros atuadores. Os microcontroladores existentes nas placas Arduino são da fabricante Atmel, 8 *bits*, com diferentes configurações e recursos, dependendo da placa em questão e podem ser programados usando a linguagem de programação própria que é baseada na linguagem de programação C, em seu ambiente de desenvolvimento próprio, disponível no website do desenvolvedor.

As placas Arduino podem ser adquiridas em versão final ou em kits pré-montados. Vários modelos estão disponíveis no mercado, com destaque para o Nano, apresentado na Figura 10, Uno, Mega, Duemilanove e Leonardo (ARDUINO, 2018).

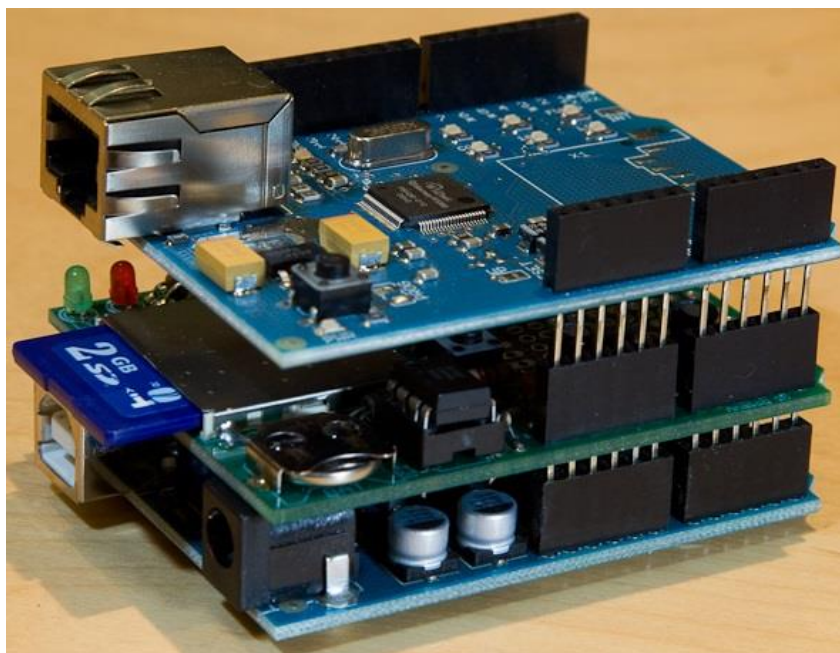
Figura 10 - Visão dos dois lados de um Arduino Nano



Fonte: Arduino (2018).

Para expandir as capacidades do Arduino, existem placas, conhecidas por *Arduino Shields*, que obedecem a um padrão e que podem ser acopladas facilmente no topo das placas Arduino. Estas placas podem ser drivers de corrente para motores, controladores sem fio, telas LCD com *touch-screen*, acelerômetros etc. Podem ser dispositivos de comunicação, sensores e até dispositivos de armazenamento, como exemplificados pela Figura 11 (BOXALL, 2016). Os *shields* geralmente possuem bibliotecas para facilitar a implementação do software, sem a necessidade de conhecer a baixo nível o funcionamento do hardware presente no *shield*.

Figura 11 - Web Server feito com *shields Ethernet e Storage*



Fonte: Predescu (2013).

O ambiente de desenvolvimento do Arduino, ou *Integrated Development Environment* (IDE), é um software multiplataforma desenvolvido em JAVA, com código fonte aberto, distribuído gratuitamente, que permite que a programação do Arduino seja facilmente desenvolvida. Esta interface de desenvolvimento auxilia o desenvolvedor, informando possíveis erros de sintaxe que possam ter ocorrido nesta etapa. Este ambiente é responsável por compilar o código fonte em um formato que o microcontrolador presente no Arduino possa executar.

Com o código compilado, o Arduino IDE faz o upload destas informações para o hardware do Arduino, através da interface USB ou ICSP (*In-Circuit Serial Programming*), que são as mais comuns, pois a maioria dos computadores da atualidade possuem portas USB, e podem ser selecionadas na página de configurações de hardware do Arduino IDE (TREVENNOR, 2012). É possível exemplificar uma forma clássica de programação das placas Arduino através do diagrama da Figura 12.

Figura 12 - Diagrama de blocos de programação do chip AVR do Arduino



Fonte: Adaptado de Trevennor (2012).

Várias bibliotecas são disponibilizadas junto à instalação da IDE para auxiliar o desenvolvedor em tarefas específicas. Estas bibliotecas provêm funcionalidades estendidas que podem programar desde funções simples até funções mais complexas que controlem *shields* específicos. Estas bibliotecas podem ser acessadas diretamente na IDE como também podem ser adquiridas gratuitamente no website do desenvolvedor.

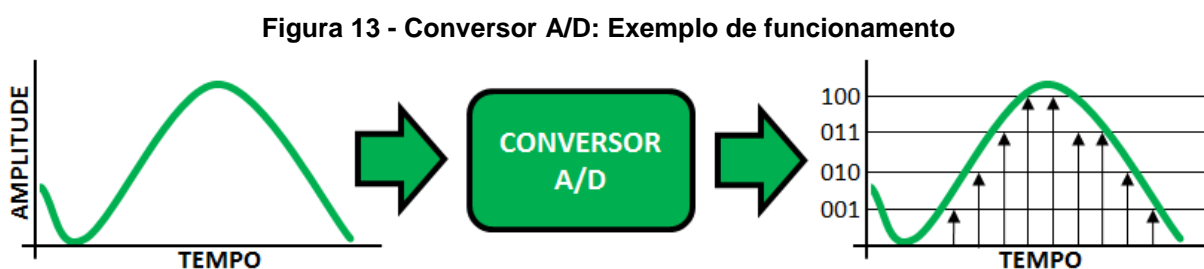
É possível que você utilize a placa Arduino apenas para fazer um protótipo ou testes e a partir disto adquira o chip e faça uma placa de circuito impresso dedicada à sua aplicação, bastando apenas fazer a transmissão do software desenvolvido para a nova placa (MR, 2013).

Um recurso bastante importante em alguns microcontroladores, assim como no Arduino, é o conversor analógico-digital, que será explanado a seguir.

2.4.2 Conversor Analógico-Digital

Um conversor analógico-digital, conhecido também como conversor A/D, é basicamente um dispositivo que converte valores contínuos de tensão em símbolos constituídos de dígitos binários (*Binary Digit - BIT*). Esta conversão é feita sendo conhecidos os limites de tensão de entrada e o limite de dígitos binários na saída, fazendo com que estas leituras sejam proporcionais.

Este conversor é muito útil para que microcontroladores possam interpretar os dados captados de transdutores, tais como transdutores de pressão, posição, humidade, temperatura, entre outros. A conversão de sinal analógico para a digital é feita em duas etapas, etapa de amostragem e etapa de quantificação. Na etapa de amostragem o sinal é amostrado por períodos pré-determinados seguido de uma conversão para um valor numérico. Na segunda etapa, a etapa de quantificação, este valor numérico é convertido em um valor digital, como pode ser visto na Figura 13 (PELGROM, 2013).



Fonte: Adaptado de Pelgrom (2013).

2.5 CONTROLLER AREA NETWORK

2.5.1 CAN Bus

A rede CAN é um padrão de comunicação serial definido pela *International Standardization Organization* (ISO).

Foi originalmente desenvolvida pela BOSCH para a indústria automotiva para reduzir a complexidade de fios nos veículos modernos. Foi especificada para ter alta imunidade a interferências eletromagnéticas.

A rede CAN também tem a possibilidade de se auto diagnosticar e corrigir erros de dados, garantindo sua integridade.

Estes recursos fizeram com que a rede CAN se popularizasse a cada vez mais na indústria automotiva (CORRIGAN, 2012).

O protocolo CAN é um método de comunicação entre vários dispositivos eletrônicos, que é feito por dois fios.

Nos veículos, sistemas de controle como a Unidade de Controle do Motor (ou *Engine Control Unit* - ECU), controlador do airbag, controle de freios etc. se comunicam através dos dois fios da rede CAN.

2.5.2 SAE J1939

O SAE J1939 é um padrão de comunicação criado pela sociedade de engenheiros automotivos SAE, onde era para ser aplicado originalmente em veículos pesados, porém hoje é utilizado em várias outras áreas.

O protocolo utiliza a rede CAN definida sobre a ISO11998 como camada física.

2.5.3 OBD Diagnostics

A legislação da maioria dos países obriga que todos os componentes de um veículo que podem emitir poluentes no meio ambiente devem ser capazes de se diagnosticarem. Isto acontece principalmente aos componentes do *power train*, mas estão sendo estendidos para outros sistemas.

Os diagnósticos devem estar disponíveis na rede de comunicação do veículo quando solicitados.

O standard SAE normatiza vários parâmetros de diagnóstico, que são códigos solicitados ao veículo por uma ferramenta de diagnóstico conectada a porta OBDII

São 10 tipos de serviço estão disponíveis na rede, chamados “modos”, como por exemplo o modo 01, que foi criado para solicitar um dado específico e o modo 03 que foi criado para retornar os códigos de falha registrados (DTC).

Para o modo 01, vários códigos estão disponíveis para serem requisitados, tais como: 0C: Rotação do motor; 0D: Velocidade do veículo; 2F: Nível do combustível; 46: Temperatura do ar ambiente; e 66: Tensão da bateria.

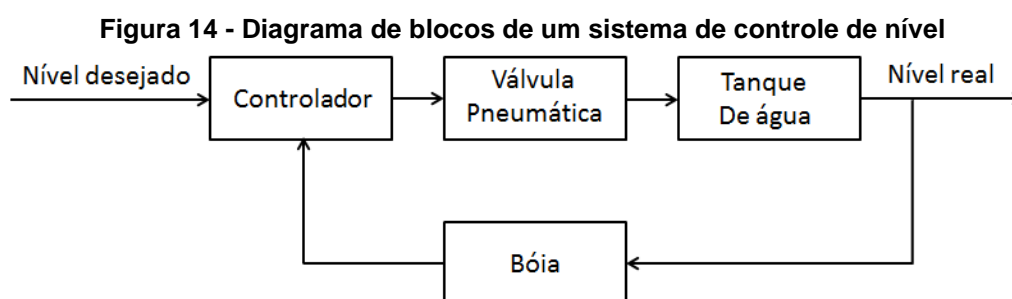
Para alguns dos PID's disponíveis é necessário efetuar uma conversão que está descrita pelo standard J1939.

Por exemplo, para o PID 0F que representa a temperatura de entrada de ar, está especificada a conversão (A -40), sendo “A” o valor obtido. Se valor retornado pela porta OBD ao solicitar o PID 0F for 53, primeiramente é necessário converter o valor hexadecimal 53 em decimal, obtendo-se 83 em decimal. Em seguida é necessário utilizar a conversão (83 - 40), obtendo-se o valor final de 43 graus célsius.

2.6 SISTEMAS DE CONTROLE

Um sistema de controle é a interconexão de componentes (subsistemas e processos) formando uma configuração de sistema que produzirá uma resposta desejada ao sistema.

No controle realimentado ou controle em malha fechada, a saída do sistema é constantemente monitorada para determinar qual ação de controle deverá ser tomada em um instante específico, ou seja, o sinal de saída é comparado com um sinal de referência chamado *setpoint* e esta diferença deve ser corrigida através da ação do controlador, também conhecido por compensador (OGATA, 2010). A Figura 14, apresenta uma representação de um sistema realimentado de um controle de nível.



Fonte: Adaptado de Ogata (2010).

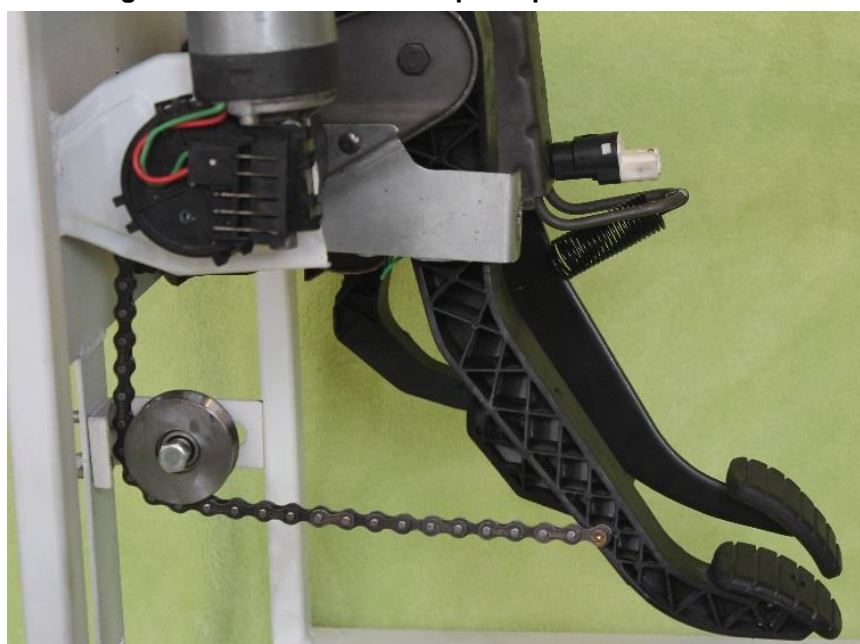
3 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento deste projeto tem como base um protótipo de um projeto que foi tema de trabalho de conclusão de curso de Engenharia de Controle e Automação na PUCPR que consiste em um sistema automatizado de acionamento manual do pedal de embreagem.

3.1 PROJETO BASE

O projeto base consiste no acionamento do pedal de embreagem por um motor de corrente contínua através de uma correia, como pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - Acionamento do pedal por motor DC



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 16, é possível ver o posicionamento do motor e o posicionamento do potenciômetro responsável pela aquisição da posição do pedal de embreagem.

Figura 16 - Vista superior de sistema de acionamento



Fonte: Autoria própria.

O sistema de controle PID foi implementado em um microcontrolador Arduino UNO e a interface que fornece energia para movimentação do motor é um circuito integrado L298N da STMicroelectronics, que é uma ponte H completa de alta corrente como pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 - Hardware de sistema de controle



Fonte: Autoria própria.

O comando manual é obtido por uma manopla acoplada na alavanca de direção, dotada de potenciômetro duplo para obter redundância no sinal, para aumentar o nível de confiança e segurança no sistema. Este comando pode ser observado na Figura 18.

Figura 18 - Manopla de acionamento manual



Fonte: Autoria própria.

3.2 INTERFACE FÍSICA DE AQUISIÇÃO

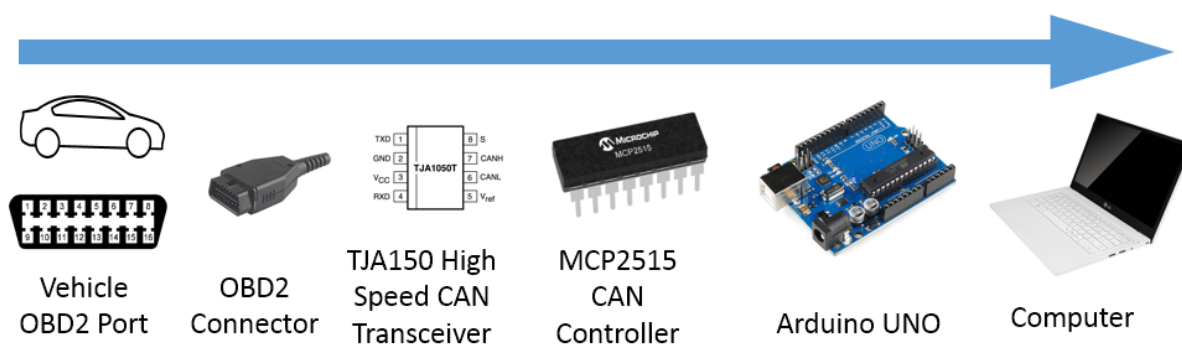
Nesta primeira etapa, será criada uma interface física para aquisição de dados reais de um veículo em um ciclo padrão de direção.

Esta interface deverá obter os dados de posicionamento do pedal de embreagem e a velocidade do veículo.

Os dados poderão ser obtidos pela rede de comunicação do veículo ou se caso não haja a disponibilidade da informação neste meio de informação, a aquisição poderá ser feita por outros métodos, como a instalação de um potenciômetro linear no eixo do pedal de embreagem para a coleta da posição em função do tempo.

A proposta inicial para aquisição dos dados em veículo é exemplificada na Figura 19.

Figura 19 - Proposta de interface de comunicação para aquisição de dados



Fonte: Autoria própria.

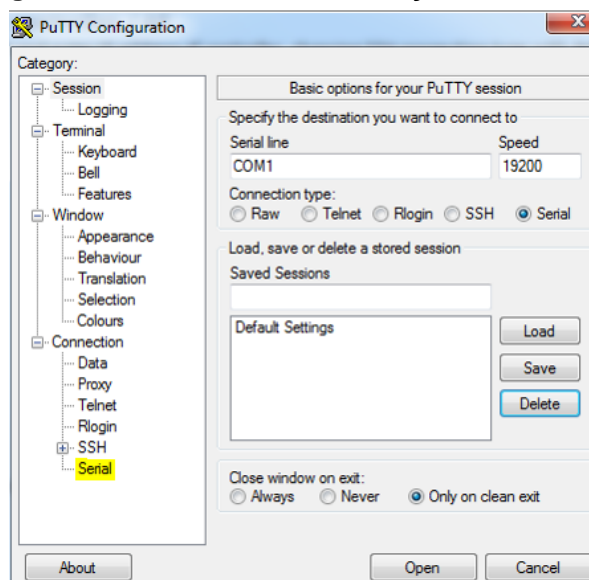
Neste sistema, o transceiver TJA150 faz a interface elétrica com a rede CAN do veículo e envia os sinais para o controlador MCP2515, que é responsável pelo controle de dados da rede CAN. Este controlador faz a interface entre os sinais elétricos da rede CAN e um microcontrolador.

O microcontrolador Arduino Uno converte os dados recebidos para um sinal serial RS232 para que possa se comunicar com um computador. Desta maneira, o computador pode enviar e receber dados para a rede CAN do veículo.

Com o sistema de interface devidamente estabelecido e funcional é necessário que algumas rotinas sejam executadas para que a comunicação ponta a ponta seja estabelecida.

Primeiramente, é necessário acessar um programa de terminal serial no computador. Neste caso, como o sistema operacional utilizado é o Microsoft Windows, o aplicativo gratuito utilizado como interface de comunicação foi o PuTTY, como apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Terminal de comunicação serial PuTTY



Fonte: Autoria própria.

A velocidade utilizada de comunicação entre o computador e o microcontrolador foi 9600bps. Com o sistema conectado na porta OBD2 do veículo é necessário executar uma rotina de inicialização para configurar a sessão de comunicação.

Para que a comunicação possa acontecer, primeiramente o protocolo de comunicação deve ser selecionado. Neste caso, a configuração do protocolo foi

configurada como “auto”, que significa que é desejado que o protocolo seja determinado automaticamente pela interface quando a primeira requisição na porta OBD for efetuada:

- O seguinte comando foi utilizado: `>AT SP 0`
- A sistema retorna a seguinte resposta: `OK`

Com o sistema completo devidamente configurado e inicializado, é necessário solicitar para a interface de diagnóstico a velocidade atual do veículo. Para isso, é enviado pela comunicação serial o comando de requisição “01” acrescido do PID relacionado à velocidade “0D”. Logo, o comando de requisição da velocidade do veículo é “010D”.

O sistema retorna o valor “41 0D 64”, por exemplo. Este valor hexadecimal deve ser decomposto e convertido para se saber qual é a velocidade do veículo.

Quando uma requisição “01 0D” é solicitada, o controlador retorna a mesma requisição, porém acrescentando o valor “4” no início da cadeia de caracteres. Ou seja, “010D” retorna “410D”.

A terceira parte do valor retornado “64” é o valor obtido da velocidade em número hexadecimal. Convertendo para este número para a escala decimal, temos o valor 100, ou seja, o controlador informou que a velocidade do veículo no momento da solicitação era de 100km/h.

Como na maioria dos veículos comercializados no brasil não possuem a informação da posição do pedal de embreagem disponível na porta OBD2, a aquisição deste sinal foi feita por um potenciômetro acoplado no eixo do pedal de embreagem. Este potenciômetro foi ligado em uma porta analógica de um microcontrolador Arduino Uno, onde estava configurado um conversor analógico digital.

Os dados foram tratados pelo microcontrolador, convertendo um sinal analógico limitado entre os valores 0 e 5 volts para um valor de porcentagem do curso total do pedal de embreagem, ou seja: 0 volts representa o pedal em posição de descanso e 5 volts representa o pedal totalmente pressionado.

3.3 AQUISIÇÃO DE DADOS DE DIREÇÃO

Nesta fase do projeto, foram coletadas as informações de acionamento do pedal de embreagem, tal como a velocidade do veículo. Uma rotina foi criada para

que o sistema obtivesse os valores com a recorrência de aproximadamente 10hz ou a cada 100 milissegundos.

Foram necessários vários ciclos de direção para que se pudesse obter uma função característica que represente um padrão normal de condução do condutor, tais como desacelerações iniciadas de diferentes velocidades.

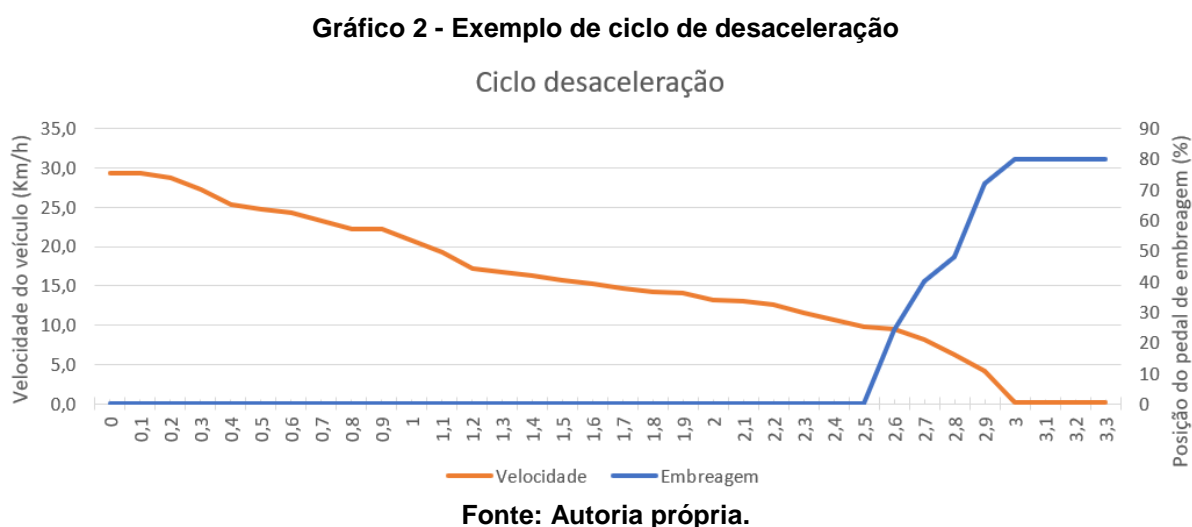
Diferentes ciclos foram feitos, tais como direção em rodovia, trânsito leve e trânsito intenso.

3.4 TRATAMENTO DE DADOS

Os dados obtidos na etapa anterior devem ser tratados e sincronizados para que possam ser analisados e através deles, obtido a função característica entre os componentes desejados.

Os dados brutos foram recebidos pelo terminal de comunicação PuTTY e exportados para um arquivo de texto. Com o arquivo de texto de cada ciclo, foram criadas uma tabela Excel para cada rodagem, para a padronização dos arquivos e posterior exportação para o Matlab/Simulink, para análise, simulação e comparação

Um exemplo de um ciclo de desaceleração do veículo tratado em uma tabela do Excel e representado pelo gráfico pode ser observado no Gráfico 2.



Os arquivos Excel foram formatados de tal maneira que pudessem ser exportados para um componente do Matlab/Simulink chamado SignalBuilder, onde é possível usar as informações dos arquivos em simulações.

3.5 MODELIZAÇÃO DE FUNÇÃO

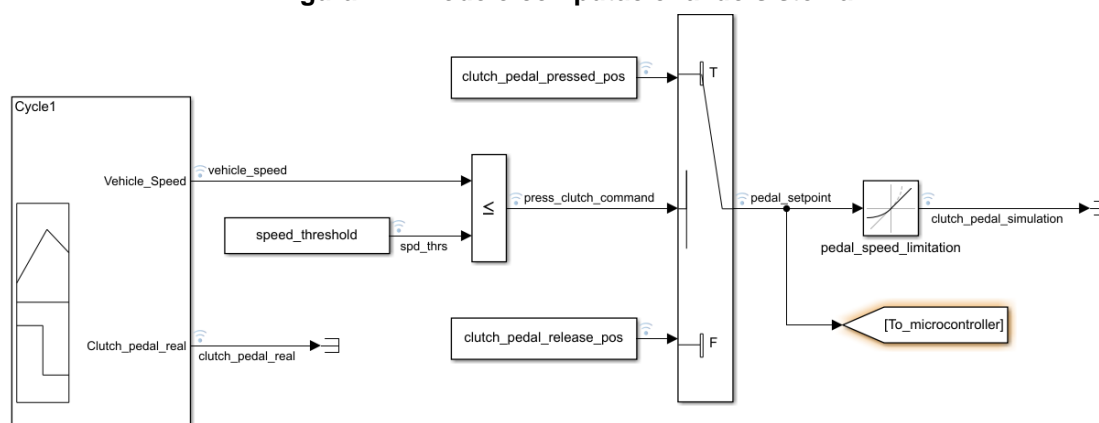
Com os dados já tratados e importados no Simulink, nesta etapa foi obtida a função entre a posição do pedal de embreagem e a velocidade do veículo, nos casos onde o veículo desacelera até parar o movimento.

Esta função foi obtida experimentalmente, por se tratar de uma função simples entre duas variáveis.

Foi notado pelo comportamento dos sinais, que o pedal de embreagem começa a ser acionado quando um determinado limiar de velocidade do veículo é ultrapassado.

O modelo proposto pode ser observado na Figura 21.

Figura 21 - Modelo computacional do sistema



Fonte: Autoria própria.

Os sinais citados no modelo (Figura 21) estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição de sinais do modelo computacional

Sinal	Descrição
vehicle_speed	Velocidade real do veículo
clutch_pedal_real	Posição real do pedal de embreagem
press_clutch_command	Sinal de acionamento do pedal de embreagem
pedal_setpoint	Posição para qual o pedal deve se movimentar
clutch_pedal_simulation	Posição simulada do pedal

Fonte: Autoria própria.

Os parâmetros descritos no modelo proposto que devem ser calibrados podem ser observados na Tabela 2.

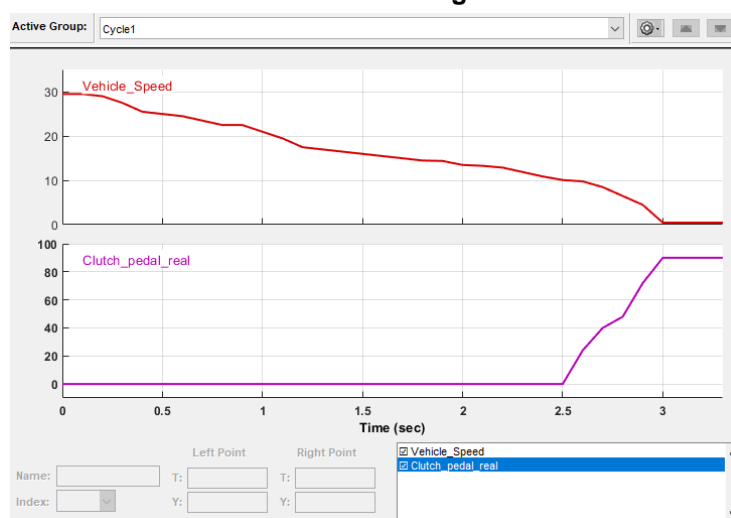
Tabela 2 - Descrição de parâmetros do modelo computacional

Parâmetro	Descrição
speed_threshold	Limiar de velocidade onde o pedal deve ser acionado
clutch_pedal_pressed_pos	Posição final do pedal pressionado
clutch_pedal_release_pos	Posição do pedal em repouso
pedal_speed_rate	Velocidade máxima do pedal

Fonte: Autoria própria.

3.6 SIMULAÇÃO COM DADOS REAIS DE ENTRADA

Os sinais de entrada foram importados através dos arquivos Excel de cada ciclo e reproduzidos pelo SignalBuilder do Simulink, como podem ser observados na Gráfico 3.

Gráfico 3 - Simulink: SignalBuilder

Fonte: Autoria própria.

3.7 AJUSTES E CALIBRAÇÃO

Com o resultado da comparação obtido na etapa anterior foi possível avaliar a proximidade do resultado obtido na simulação da função obtida e decidir se é necessário que sejam feitos ajustes no modelo da função. Quando o modelo foi recalibrado, foi possível efetuar novas simulações e avaliar os novos resultados obtidos. Esta etapa foi repetida várias vezes até que o resultado obtido foi satisfatório.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dados de três cenários foram usados para alimentar os sinais de entrada dos modelos. Os dados reais foram comparados com os dados simulados.

Os valores de alguns parâmetros foram obtidos através de uma simples análise nos gráficos. Foi notado que o acionamento do pedal de embreagem começa a ser efetuado quando o veículo reduz para uma velocidade igual ou inferior à 10km. Este foi o valor utilizado inicialmente para o parâmetro *speed_threshold*.

A posição inicial e final do pedal é a mesma para todos os cenários, pois o meio em que foram medidos são os mesmos, logo o parâmetro que representa a posição do pedal em repouso (*clutch_pedal_release_pos*) foi parametrizada como 0 e o parâmetro que representa a posição limite para o pedal (*clutch_pedal_pressed_pos*) como 90.

Para cada caso, foi calculado o menor erro médio quadrado para encontrar o melhor valor para o parâmetro *pedal_speed_rate*.

4.1 PRIMEIRO CENÁRIO

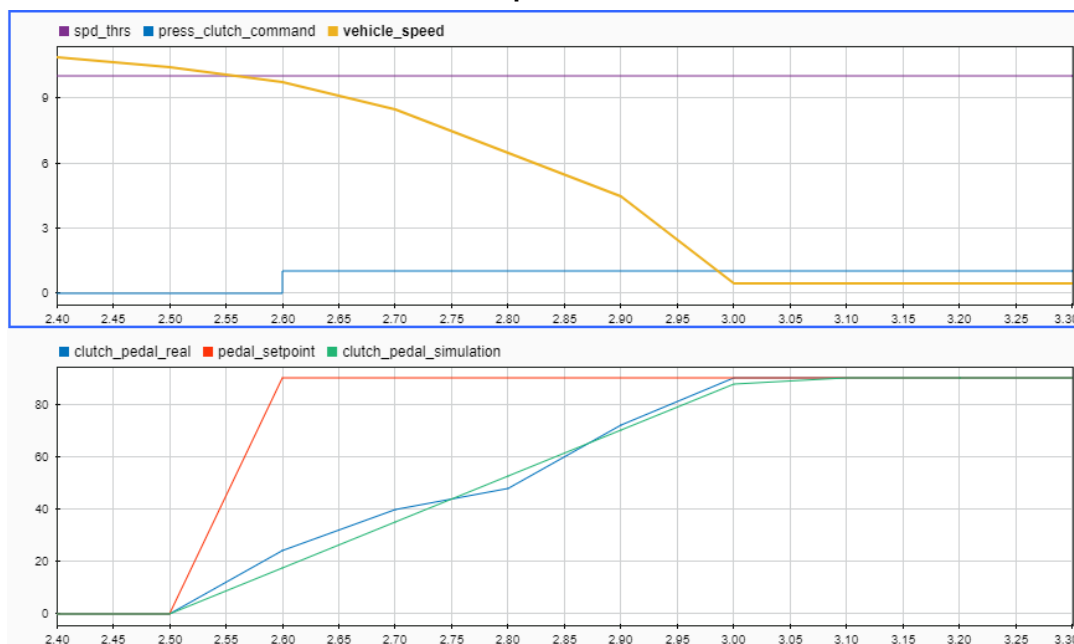
Os melhores parâmetros encontrados para simulação deste primeiro cenário foram os descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros para o primeiro cenário

Parâmetro	Valor
speed_threshold	10
clutch_pedal_pressed_pos	90
clutch_pedal_release_pos	0
pedal_speed_rate	180

Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 4, pode-se notar que quando a velocidade (*vehicle_speed*) é igual ou menor que o limiar de velocidade (*spd_thrs*) o comando de embreagem (*press_clutch_command*) é acionado, o *setpoint* de posição do pedal (*pedal_setpoint*) é alterado e o sinal do pedal simulado (*clutch_pedal_simulation*) começa a acompanhar o sinal do pedal real (*clutch_pedal_real*).

Gráfico 4 - Sinais e comportamento do cenário 1

Fonte: Autoria própria.

O menor erro médio quadrático encontrado entre a posição do pedal simulado e a do pedal real foi de 2,58.

4.2 SEGUNDO CENÁRIO

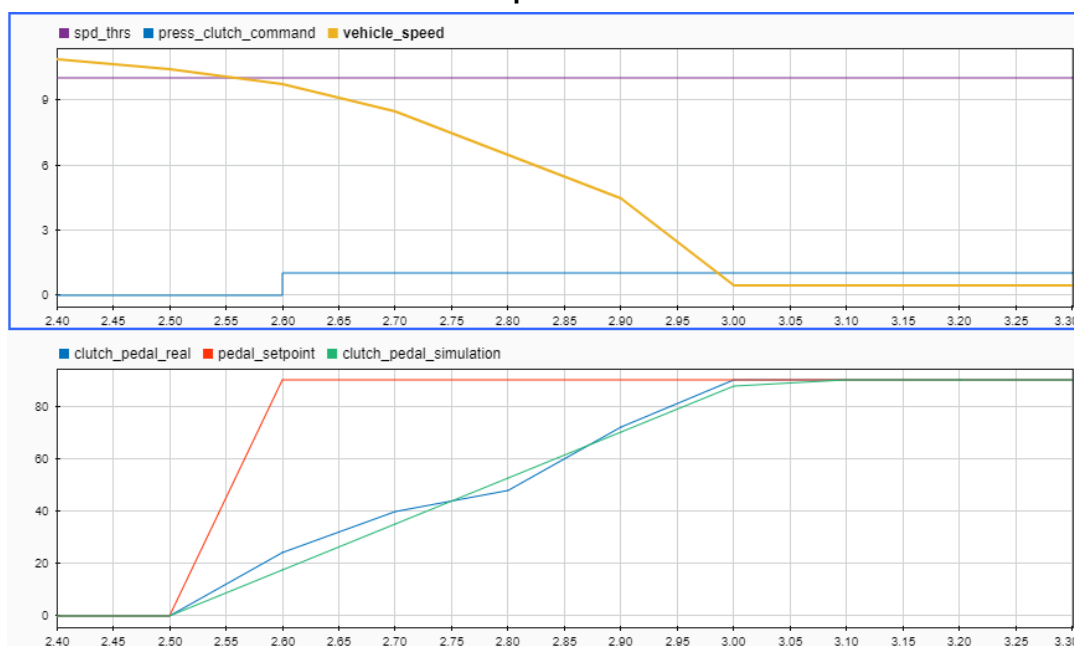
Na Tabela 4, é possível observar os parâmetros obtidos para o segundo cenário.

Tabela 4 - Parâmetros para o segundo cenário

Parâmetro	Valor
speed_threshold	10
clutch_pedal_pressed_pos	90
clutch_pedal_release_pos	0
pedal_speed_rate	183

Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 5, também se nota que o comando de embreagem é acionado quando a velocidade é menor que o limiar de velocidade. A partir deste ponto o sinal simulado do pedal começa buscar o sinal do pedal real.

Gráfico 5 - Sinais e comportamento do cenário 2

Fonte: Autoria própria.

Para este cenário, o menor erro médio quadrático foi de 7,23 para a relação entre pedal simulado e real.

4.3 TERCEIRO CENÁRIO

Para o terceiro cenário, o menor erro médio quadrático obtido foi 10,71, utilizando os parâmetros descritos na Tabela 5.

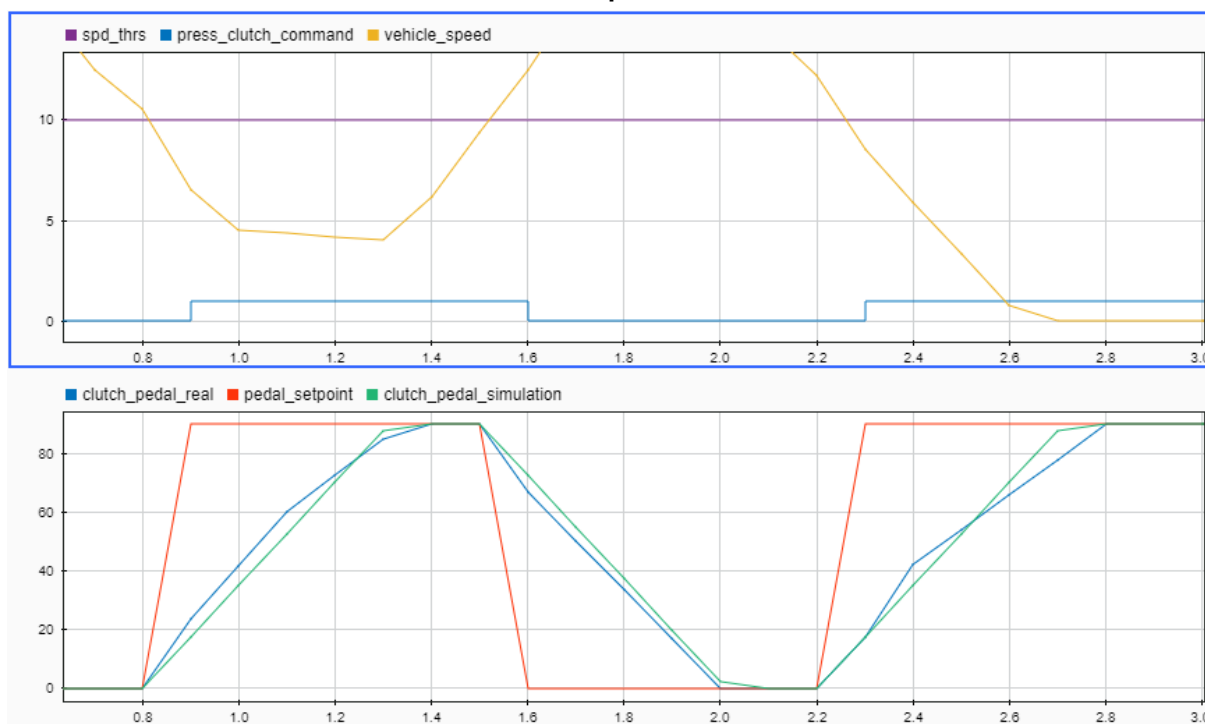
Tabela 5 - Parâmetros para o terceiro cenário

Parâmetro	Valor
speed_threshold	10
clutch_pedal_pressed_pos	90
clutch_pedal_release_pos	0
pedal_speed_rate	186

Fonte: Autoria própria.

Este cenário contém duas desacelerações consecutivas, onde é possível analisar o comportamento nestes casos. No Gráfico 6, é possível visualizar como o sistema reage nesta situação: o comando do pedal é liberado quando a velocidade volta a ser maior ou diferente de zero.

Gráfico 6 - Sinais e comportamento do cenário 3



Fonte: Autoria própria.

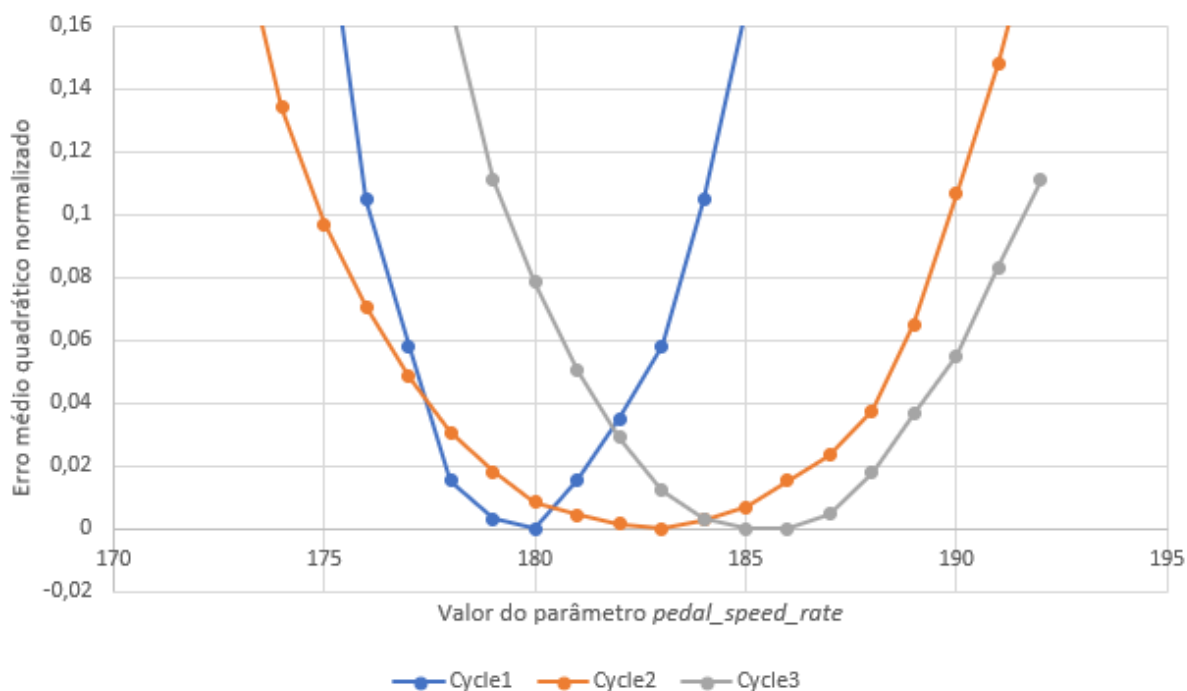
4.4 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Os parâmetros escolhidos para um cenário para que a resposta da simulação tenha a maior precisão possível podem não ser os melhores parâmetros para outro cenário. Neste caso foi necessário achar um ponto em comum entre os parâmetros obtidos.

O parâmetro decisivo para os cenários foi o *pedal_speed_rate*, pois os outros foram os mesmos para todos os casos.

Os erros médios quadráticos de cada cenário, foram normalizados e apresentados no Gráfico 7, para ter uma informação visual de quais parâmetros escolher.

Gráfico 7 - Erro médio quadrático normalizado dos três cenários
 Comparação de erros médios quadráticos entre cenários



Fonte: Autoria própria.

É necessário escolher apenas um conjunto de parâmetros para configurar o controlador, por isso que foi utilizado o método do menor erro médio quadrático.

Foram utilizados os melhores parâmetros encontrados para um cenário nas simulações de outros cenários para avaliar o impacto e escolher os melhores parâmetros unificados, por exemplo, o cenário 1 e 3 foram simulados com os melhores parâmetros encontrados para o cenário 2.

Na Tabela 6, pode-se observar que quando o parâmetro utilizado é o 182, obteve-se a menor média de erros médios quadráticos de todos os cenários.

Tabela 6 - Tabela de síntese de resultados

parâmetro <i>pedal_speed_rate</i>	EMQ cenário 1	EMQ cenário 2	EMQ cenário 3	Somatório EMQ	Média EMQ
180	0,000	0,008	0,078	0,0867	0,0289
181	0,016	0,004	0,050	0,0701	0,0234
182	0,035	0,001	0,029	0,0652	0,0217
183	0,058	0,000	0,008	0,0665	0,0222
184	0,105	0,003	0,005	0,1121	0,0374
185	0,167	0,007	0,000	0,1736	0,0589

Fonte: Autoria própria.

Os melhores valores obtidos na modelização do sistema para os três cenários estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros finais escolhidos para o modelo

Parâmetro	Valor
speed_threshold	10
clutch_pedal_pressed_pos	90
clutch_pedal_release_pos	0
pedal_speed_rate	183

Fonte: Autoria própria.

5 CONCLUSÃO

A partir de dados obtidos em situações reais, foi possível obter um modelo computacional onde seu desempenho pôde ser analisado através de simulações e comparações.

Os dados de parametrização do modelo foram testados em simulações e avaliados pelo método de erros médios quadráticos, onde foi possível obter o melhor conjunto de parâmetros para cada cenário como um conjunto que melhor atenda os três cenários ao mesmo tempo.

Através da comparação do resultado das simulações com os parâmetros obtidos, foi comprovado a eficiência do sistema obtido e ao mesmo tempo obtido o erro obtido em cada caso.

REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, RJ: 2004.

AMIRALIAN, Maria L. T. et al. **Conceituando deficiência (The concept of disability)**. Rev. Saúde Pública [online], v. 34, n. 1, 2000. p. 97-103. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsp/v34n1/1388.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2018.

ARDUINO. **Arduino**: Página oficial. Copyright© 2018 Arduino. Disponível em <<http://www.Arduino.cc>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

BOSCH. **Alternadores, motores de partida e principais componentes**. Catálogo. Robert Bosch GmbH, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://br.bosch-automotive.com/media/parts/download_2/motores_eletricos/Cat_Linha_Eletrica_RM_2015-2016_LowRes.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2018.

BOSCH. **Bosch automotive handbook**. Robert Bosch GmbH, 8. ed. Cambridge: Bentley Publishers, 2011.

BOXALL, John. **Arduino Workshop**: A hands-on introduction with 65 projects. Publicado pela No Starch Press, 2016.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, DF: 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 15 out. 2018.

BRASIL. **Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004**. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, DF, 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm>. Acesso em: 15 out. 2018.

BRASIL. **Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000**. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, DF, 2004. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l10098.htm>. Acesso em: 20 out. 2018.

CARVILL, J. **Caderneta de Mecânica**: Para estudantes – Principiantes - Técnicos - Engenheiros. 2. ed. Hemus, 2003.

CAVENAGUI. **Indústria que oferece produtos e serviços focados na mobilidade da pessoa com deficiência**. Cavenaghi Indústria e Comércio de Equipamentos Especiais Ltda, São Paulo, SP: 2018.

CORRIGAN, Steve. **Introduction to the Controller Area Network (CAN)**. Copyright© 2002-2016, Texas Instruments Incorporated. Application report, ago. 2012. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

DORFSCHMID, Jens; et al. **Evolution to the seven-speed automatic transmission 7G-Tronic Plus**. ATZ worldwide, v. 112, n. 12, dez. 2010. p 20-25. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2F03225262>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

GENTA, Giancarlo; MORELLO, Lorenzo. **The automotive chassis: Volume 1 - Components design**. Heidelberg, Springer Netherlands, 2009.

HIROSHI, Eduardo. **Câmbio automatizado**. Rev. Quatro Rodas, 163. ed., São Paulo, SP: 2011.

MATIAS-PEREIRA, José. **Manual de metodologia da pesquisa científica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MICHAELIS. **Dicionário de português online**. Copyright© Editora Melhoramentos Ltda, 2018. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

MOMISSO, Paulo Cesar; et al. **Development of clutch systems for commercial vehicles**. Society of Automotive Engineers (SAE), SAE Brasil Congress and Exhibit, São Paulo: 2004. Disponível em: <<https://saemobilus.sae.org/content/2004-01-3252/>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

MORAES, Fernando. **O mago: A bibliografia de Paulo Coelho**. 1. ed. Editora Planeta, Minas Gerais, MG: 2008. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/40013077/o-Mago-Biografia-Paulo-Coelho-Fernando-Morais>>. Acesso em: 22 set. 2018.

MR. **Modelix Robotics**: Página oficial. Copyright© Modelix Robotics (MR), 2013. Disponível em: <<http://www.modelix.com.br>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

NICE, Karim. **Como funcionam os conversores de torque**. In: how stuff works: como tudo funciona, 2003.

NTU. **Museu virtual do transporte urbano**. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU), 2018. Disponível em: <<http://www.museudantu.org.br/>>. Acesso em: 10 set. 2018.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2010.

OICA. **World motor vehicle production by country and type**. Copyright© International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA), 2012. Disponível em: <<http://oica.net/wp-content/uploads/cars-2012.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2018.

PELGROM, Marcel J. M. **Analog-to-Digital Conversion**. Heidelberg, Springer Netherlands, 2013.

PREDESCU, Ovidiu. **Arduino Tiny Web Server**. BlinkLED project, Ovidiu Predescu, 2010.

RIPOLI, Tomaz Caetano Cannavam. **Mecânica e máquinas motoras**: Capítulo 6. Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Engenharia Rural, 2005.

SANTOS, Wagner Matos. **Acionamento de embreagem hidráulico para caminhões leves**. Orientador: Prof. Doutor Álvaro Costa Neto, Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia Automotiva da Universidade de São Paulo, São Bernardo do Campo, SP: 2006.

SHAVER, Ray. **Manual transmission clutch systems**. Society of Automotive Engineers, Warrendale-USA, 1997.

TREVENNOR, Alan. **Practical AVR Microcontrollers**: Games, gadgets, and home automation with the microcontroller used in the Arduino. Copyright© Alan Trevennor, 2012.

WHO. **ICD-11**: International Classification of Diseases for mortality and morbidity statistics. World Health Organization (WHO), 2018. Disponível em <<https://www.who.int/classifications/icd/en/>>. Acesso em: 28 nov. 2018.