

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA

Escola de Engenharia Mauá

Engenharia de Controle e Automação

NIKOLAS RIBEIRO GERVASIO

RAFAEL TABOSA DE CASTRO ALVES

VICTOR OLIVEIRA TOMANIK

Realidade virtual aplicada ao ensino de direção

São Caetano do Sul

2021

NIKOLAS RIBEIRO GERVASIO

RAFAEL TABOSA DE CASTRO ALVES

VICTOR OLIVEIRA TOMANIK

Realidade virtual aplicada ao ensino de direção

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia Mauá do Centro
Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia
como requisito parcial para a obtenção do
título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: MSc. Andressa Corrente Martins

Área de concentração: Engenharia de Controle
e Automação

São Caetano do Sul

2021

Realidade virtual aplicada ao ensino de direção. / Nikolas Ribeiro Gervasio, Rafael Tabosa de Castro Alves, Victor Oliveira Tomanik. — São Caetano do Sul : CEUN-IMT, 2021.

58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2021.

Orientadora: MSc. Andressa Corrente Martins

1. Simulador. 2. *Cockpit*. 3. Virtual. 4. Direção. 5. Ensino. I. Tabosa de Castro Alves, Rafael. II. Oliveira Tomanik, Victor. III. Instituto Mauá de Tecnologia. Escola de Engenharia.

NIKOLAS RIBEIRO GERVASIO
RAFAEL TABOSA DE CASTRO ALVES
VICTOR OLIVEIRA TOMANIK

Realidade virtual aplicada ao ensino de direção

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela
Escola de Engenharia Mauá do Centro
Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia
como requisito parcial para a obtenção do
título de Engenheiro de Controle e Automação.

Banca avaliadora:

MSc. Andressa Corrente Martins
Orientadora

Dr. Anderson Harayashiki Moreira
Avaliador

MSc. Rodrigo Mangoli Nicola
Avaliador

São Caetano do Sul, 30 de novembro de 2021.

DEDICATÓRIA

*“A ciência pode divertir e fascinar a todos nós, mas é a engenharia que muda o mundo.” -
Isaac Asimov, escritor americano, professor de bioquímica*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaríamos de prestar uma homenagem à nossa orientadora, a Professora Andressa Corrente Martins, por acreditar no potencial de nosso projeto durante toda sua fase de execução, sem jamais desconfiar da capacidade da nossa equipe e nos auxiliando com dicas e sugestões que nos guiaram até o resultado final.

Também gostaríamos de agradecer aos professores, que nos orientaram em diferentes fases de nosso projeto. Os professores Eduardo Lobo Lustosa Cabral, Hugo da Silva Bernardes Gonçalves e Alexandre Harayashiki Moreira, que nos auxiliaram no desenvolvimento do controle do projeto, e o professor Tiago Sanches da Silva que auxiliou na criação do ambiente virtual.

Por fim, os técnicos da oficina de usinagem do bloco A, que ajudaram com o desenvolvimento do projeto mecânico.

RESUMO

Devido ao surgimento da pandemia causada pela COVID-19, muitos setores econômicos foram impactados, tal como foi para as autoescolas, que foram impedidas de proceder com aulas presenciais, por conta das medidas adotadas para o distanciamento social, já que havia um alto risco de contágio. Desta forma, seus alunos se tornaram incapazes de serem licenciados a dirigir, já que foram impossibilitados de desenvolver suas habilidades de condução, tendo de respeitar o isolamento social. Tendo em vista este problema, a equipe se propôs a criar um simulador de direção, capaz de preparar novos motoristas em um ambiente seguro e controlado, utilizando um *cockpit* com resposta ao usuário dos eventos ocorridos no ambiente virtual, para assim adquirir e aprimorar os conhecimentos sobre as leis de trânsito e a experiência prática necessária para serem licenciados. Os objetivos iniciais do projeto foram cumpridos, o controle On-Off apresentou um erro da posição angular muito baixa, a estrutura cumpriu todas as especificações e os elementos básicos das leis de trânsito foram implementados, contudo, não foi possível implementar um ambiente com realidade virtual.

Palavra-chave: Simulador. *Cockpit*. Virtual. Direção. Ensino.

ABSTRACT

Due to the COVID-19 pandemic, many economic sectors were impacted, such as driving schools, that were prevented to proceed with their courses, as a result of the measures adopted to help the social distancing, since there was a high risk of contamination. Thus, the students were incapable of getting their driving license, whereas they were unable to develop their driving skills. Bearing this problem in mind, the group put forward a driving simulator capable of training new drivers in a safe and monitored environment, making use of a cockpit that can give the user a feedback of events occurred in the virtual environment, this way they can develop and hone their traffic regulation knowledge and driving skills necessary to get a driving license. The initial objectives of the project were all met, the On-Off control presented a low angular position error, the structure met all specifications and the basic elements of the traffic regulations were implemented, however, it was not possible to implement an environment with virtual reality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Série histórica da frota de veículos	17
Figura 2. Simulador de veículo Cruden.....	22
Figura 3. Simulador militar.	22
Figura 4. Simulador civil.....	22
Figura 5. Simulador civil.....	22
Figura 6. Pesquisa que foi feita sobre o foco de motoristas e a performance de pessoas idosas.	23
Figura 7. Testes de sensores embutidos pelo simulador.	23
Figura 8. Fuscas em Forza Horizon 4.	24
Figura 9. Novo Fusca na oficina em Forza Horizon 4.....	24
Figura 10: Exemplo de simulador recreativo.....	24
Figura 11. Testes de simulador.....	25
Figura 12. Componentes do projeto.....	26
Figura 13a. Mapa do simulador	26
Figura 13b. Cockpit do simulador.....	26
Figura 14. <i>Cockpit</i> de baixo custo	27
Figura 15. Simulador na neve.	27
Figura 16. Simulador na neblina.	27
Figura 17. Componentes do projeto.....	28
Figura 18. Componentes do projeto.....	28
Figura 19. <i>Cockpit</i> de madeira	31
Figura 20. Virtual Experience 3.0.....	32
Figura 21. Racing Simulator Motion Platform	32
Figura 22. Sigma Cockpit.....	32

Figura 23. Modelo do <i>cockpit</i> desenvolvido com <i>SolidWorks</i>	33
Figura 24. Corpo do protótipo concluído.	33
Figura 25. Quadro superior em <i>SolidWorks</i>	33
Figura 26. Periféricos utilizados no projeto.....	34
Figura 27. Modelo do suporte de madeira em <i>SolidWorks</i>	35
Figura 28. Suporte de madeira concluído	35
Figura 29. Suporte de madeira na posição mais alta	35
Figura 30. Suporte de madeira na posição mais baixa	35
Figura 31. Dimensões do suporte de madeira.	36
Figura 32. Banco do motorista.	37
Figura 33. Quadro inferior em <i>SolidWorks</i>	38
Figura 34. Modelo dos motores em <i>SolidWorks</i>	38
Figura 35. Motores incorporados no projeto	38
Figura 36. Molas e suportes modelados no <i>SolidWorks</i>	39
Figura 37. Elementos responsáveis pela dinâmica de movimento.	40
Figura 38. Estudo de movimento da estrutura.	40
Figura 39. Imagem dentro do simulador.	41
Figura 40. Cenário desenvolvido para o ambiente virtual.	42
Figura 41. Centro urbano.....	43
Figura 42. Região Suburbana.....	43
Figura 43. Área Rural.	44
Figura 44. Semáforo incorporado ao ambiente virtual.	44
Figura 45. <i>Mesh</i> do Semáforo.....	45
Figura 46. Sistema Lógico interno.	45
Figura 47. Sensores do carro.	46

Figura 48. Lógica interna do carro.	47
Figura 50. Vista interna do veículo.	48
Figura 51. Lógica de funcionamento.	49
Figura 52. Posições.	50
Figura 53. Lógica de leitura do <i>encoder</i>	51
Figura 54. Lógica de Posicionamento.	52
Figura 55. Diagrama com Arduinos.	53
Figura 56. Testes de resistência mecânica.	54
Figura 57. Gráfico da distribuição normal.	56

LISTA DE SÍMBOLOS

V_{cc} – Tensão em corrente continua em Volts

RPM – Rotações por minuto

W – Potencia em Watts

α – ângulo da posição do motor

β – ângulo da posição da barra conectada ao motor

θ – ângulo que há entre o quadro superior e ponto de contato

$\dot{\alpha}$ – Velocidade angular do motor em RPM

$\dot{\beta}$ - Velocidade angular da barra conectada ao motor

$\dot{\theta}$ – Velocidade angular que há entre o quadro superior e ponto de contato

D – Distância entre ponto de contato das molas e ponto de contato da barra ligada ao motor

L – Comprimento da barra ligada ao motor

H_1 – Distância entre motor e ponto de contato com o quadro superior da barra ligada ao motor

H_2 - Distância entre o motor e o quadro superior

h – Distância vertical do ponto de contato da barra ligada ao motor e o quadro superior

r – Raio do centro de rotação do motor com a barra

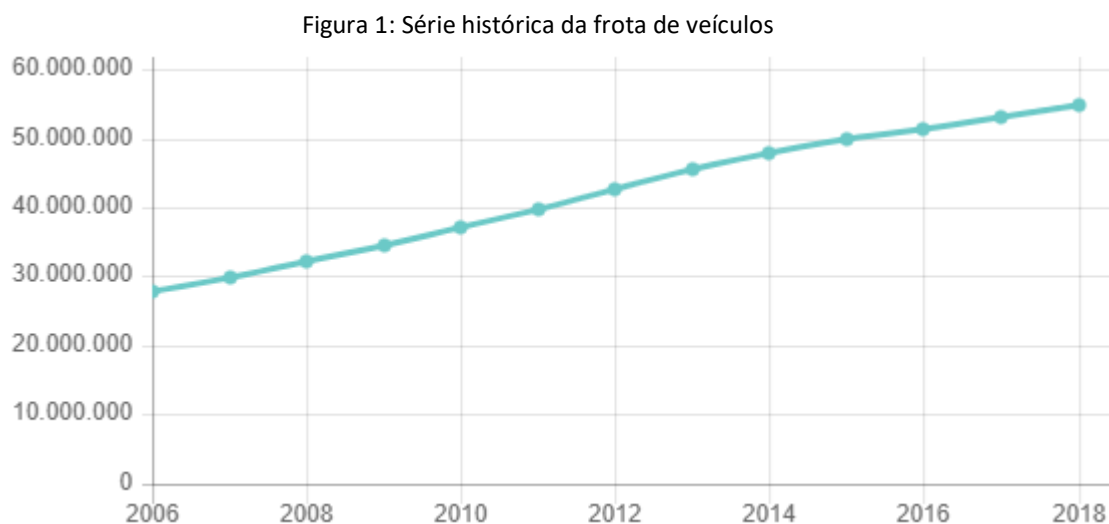
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	JUSTIFICATIVA	19
1.2	OBJETIVOS	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	ATUAL CENÁRIO DOS SIMULADORES AUTOMOBILÍSTICOS	21
2.2	APRESENTAÇÃO DE PROJETOS SIMILARES	25
2.3	PARALELO ENTRE PROJETOS APRESENTADOS E PROJETO DESENVOLVIDO	29
3	DESENVOLVIMENTO	30
3.1	PROJETO MECÂNICO	30
3.1.1	MODELAGEM DO PROJETO	31
3.1.2	QUADRO SUPERIOR	33
3.1.3	QUADRO INFERIOR	37
3.1.4	EQUACIONAMENTO DE POSIÇÃO E VELOCIDADE	39
3.2	PROJETO COMPUTACIONAL	41
3.2.1	DEFINIÇÃO DO SISTEMA	41
3.2.2	ENTRADA E SAÍDAS	42
3.2.3	MAPA E ELEMENTOS DE CENÁRIO	42
3.2.4	CARROS AUTÔNOMOS	45
3.2.5	CARRO DO USUÁRIO	48
3.3	LÓGICA DE MOVIMENTAÇÃO DO SIMULADOR	49
3.3.1	POSIÇÕES	49
3.3.2	LÓGICA DE LEITURA DO ENCODER	50
3.3.3	LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO PARA CONTROLE DA POSIÇÃO	51
3.4	PROJETO ELETRÔNICO	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1	RESISTENCIA MECÂNICA	54
4.2	AMBIENTE VIRTUAL	54
4.3	SISTEMA DE <i>FEEDBACK</i>	55
5	CONCLUSÕES	57

5.1	PROJETOS FUTUROS	57
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da utilização de veículos automotivos pela sociedade, que vem crescendo desde a criação de carros populares com custos mais acessíveis, seu uso se tornou indispensável para o dia a dia das pessoas. De tal forma, a indústria automotiva é um dos setores com maiores investimentos em novas tecnologias, para atender a frequente demanda por mais produtos que tende a aumentar sucessivamente a cada ano, como visto na Figura 1, que chegando em dezembro de 2020, a frota brasileira de veículos chega a alcançar a margem de mais de 58 milhões. (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2020).



Fonte: IBGE, 2021

Conforme há o aumento no consumo de veículos também há um aumento no número de condutores, que precisam ser habilitados para que possam conduzir seus veículos com segurança pelas ruas e estradas. Porém, desde o surgimento do novo corona vírus da síndrome aguda respiratória 2, a COVID-19, e todos os inconvenientes que a pandemia trouxe consigo, muitos dos novos condutores se tornaram incapazes de buscarem sua habilitação, já que para tal há a necessidade do aprendizado prático, no qual precisam treinar suas habilidades na direção acompanhados de um instrutor. Desta forma, expondo-se para diferentes riscos, tais como (AUTO ESPORTE, 2020):

- O aluno, ou o instrutor, ser infectado devido ao contato entre eles;

- A contração da doença por contato com o veículo que seria usado diversas vezes por dia, por diferentes condutores.

Sob tais circunstâncias, é muito difícil que a pessoa adquira os conhecimentos e a prática necessária para que se torne um condutor capaz de evitar riscos a si mesmo e as pessoas ao seu redor, já haverá vezes em que o motorista estará em situações perigosas, que poderão causar fatalidades. Em 2019, por exemplo, o Brasil alcançou a marca de 42 mil mortes no trânsito, se colocando em 4ª posição no ranking mundial, como pode ser visto na Tabela 1. (JUSBRASIL, 2014).

Tabela 1 - Ranking países com maiores números de mortes no trânsito.

Países com maiores números absolutos de morte no trânsito - 2010							
Ranking	País	Posição no IDH	População estimada ¹	Nº de mortes ²	Taxa de Mortes por 100 mil hab.	Número de veículos registrados	Taxa de mortes por 1 mil veículos
1ª	China	101ª	1.348.932.032	275.983	20,5	207.061.286	1,33
2ª	Índia	136ª	1.224.614.272	231.027	18,9	114.952.000	2,01
3ª	Nigéria	153ª	158.423.184	53.339	33,7	12.545.177	4,25
4ª	Brasil ³	85ª	194.946.488	42.844	22	64.817.974	0,66
5ª	Indonésia	121ª	239.870.944	42.734	17,8	72.692.951	0,59
6ª	Estados Unidos	3ª	310.383.968	35.490	11,4	258.957.503	0,14
7ª	Paquistão	146ª	173.593.384	30.131	17,4	7.853.022	3,84
8ª	Rússia	55ª	142.958.156	26.567	18,6	43.325.312	0,61
9ª	Tailândia	103ª	69.122.232	26.312	38,1	28.484.829	0,92
10ª	Irã	76ª	73.973.628	25.224	34,1	20.657.627	1,22

Instituto Avante Brasil, PNUD, OMS, Datasus

¹ Os dados populacionais foram extraídos do banco de dados da Divisão de População das Nações Unidas

² As taxas de mortalidade no trânsito foram extraídas dos registros de morte reportados pelos Estados à Organização Mundial da Saúde, dos registros oficiais divulgados por cada país e através de um modelo regressivo para estimar se o número de mortes no trânsito do modificado na publicação Global Status Report on Road Safety 2013.

³ Número de mortes no trânsito no Brasil de acordo com os dados oficiais do Datasus, em 2010.

Fonte: JUSBRASIL, 2014.

Com os avanços da tecnologia, novos métodos de ensino vêm sendo revistos e elaborados. Entre os temas mais explorados, o uso de simuladores que por meio de realidade virtual cria ambientes controlados com uma experiência imersiva, instrutiva e que busca ser similar à real, para a obtenção de prática e conhecimento, tem sido considerado um dos mais viáveis. Com a tecnologia atual, por meio dessa nova frente educativa, já é possível simular cenários mais complexos, que seriam impossíveis no ensino convencional, além de fornecer ferramentas que facilitem o feedback do instrutor e agilizem o processo de qualificação do condutor (THEVERGE, 2014).

Diante do que se passou em 2020, se provou necessário a aplicação de sistemas virtuais nas áreas de ensino, não apenas prevendo o risco de novos contágios, como por ser uma

ferramenta de possibilidades infinitas, que vem se fortalecendo cada vez mais com o surgimento de novas tecnologias e novas tendências (SULKOWSKI,2020).

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente, no Brasil, já existem sistemas de ensino que utilizam de sistemas virtuais empregados em autoescolas e na indústria em geral, porém a maioria destes programas não contribuem com o aprendizado do aluno inexperiente, pelo fato do recurso passar instruções considerando que o mesmo já possui algum conhecimento básico sobre as mecânicas dos veículos, sobre as leis de transito e devido a sua alta imprecisão ao avaliar seu desempenho, além de expor o aluno a situações que não condizem com a realidade vista nas ruas que um simulador de ensino pode providenciar, ficando abaixo das expectativas daqueles que fazem uso (GAZETA DO POVO, 2019).

Para que o simulador se torne mais eficiente, a integração de uma inteligência artificial ao projeto se torna de suma importância, pois ela contribuirá para a avaliação do condutor, podendo controlar certos aspectos chaves da direção, ao mesmo tempo colabora com o realismo do ambiente virtual, já que pode ser empregado também para simular elementos externos ao motorista, que na vida real, as pessoas são incapazes de prever, como carros transitando, faróis e pedestres (GAZETA DO POVO, 2019).

Com isso em mente, este projeto acredita que com a junção dos elementos que constituem a realidade aumentada com os que constituem a inteligência artificial, seja possível a criação de uma ferramenta mais eficiente para o ensino de direção, que venha solucionar os problemas que o ensino convencional tem enfrentado.

1.2 OBJETIVOS

O projeto visa a criação de um simulador automotivo que possibilitará uma imersão em um ambiente virtual controlado, onde o motorista será capaz de adquirir o aprendizado desejado enquanto, que os mecanismos empregados pelo protótipo garantam que vivencie uma experiência autêntica a que teria conduzindo um veículo real.

Assim, foram definidos os seguintes objetivos:

- Desenvolvimento de um ambiente virtual que simule os eventos básicos que ocorrem na realidade, como mudança de marchas, condução de veículo, administração de pedais, etc.
- Sistema controlado que simule os eventos ocorridos no ambiente virtual, como curvas e acelerações;
- Desenvolver de um *cockpit* capaz de sustentar o peso médio de uma pessoa adulta;
- Inserir veículos autônomos ao mapa, capazes de interagir com as ações do motorista e os elementos de trânsito;
- Ter elementos básicos e leis de trânsito (farol, placas de pare, faixas de pedestres etc.)

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são abordados projetos similares, que serviram de inspiração e referência para a modelagem do projeto, comparando seus aspectos principais e mostrando similaridades e diferenças que há entre eles.

2.1 ATUAL CENÁRIO DOS SIMULADORES AUTOMOBILÍSTICOS

Principalmente nos últimos anos, o uso de simuladores só vem crescendo, consolidando sua presença no mercado para diversas áreas de aplicação. De acordo com o site, *Market and Markets*, o crescimento acumulado esperado para o período de 2020 a 2025 é de até 7,2% (*MARKET AND MARKETS*, 2021).

Divididos por tipo de aplicação, os simuladores podem ser classificados em três categorias:

- Recreativa;
- Educacional;
- Pesquisa e desenvolvimento.

O último sendo o maior e de maior crescimento na indústria, seguido pelo segmento educacional (*GRAND VIEW RESEARCH*, 2021).

Os simuladores educacionais, que possuem aplicações tanto no segmento militar (Figuras 2 e 3) como civil (Figuras 4 e 5), visam que seus usuários aprimorem suas habilidades práticas dentro de ambientes controlados, experimentando cenários que ajudem a melhorar cada vez mais. Exemplos de simuladores civis, seriam simuladores de direção, nos quais novos condutores aprendem sobre leis de trânsito e são capazes de pôr em prática seus conhecimentos, sem os riscos de causarem ou sofrerem danos dirigindo veículos pelas ruas reais. Já simuladores militares, ajudam novos soldados a praticarem o manuseio de equipamentos e veículos militares, que são produtos de altíssimo custo e complexidade (*MARKET AND MARKETS*, 2021).

Figura 2. Simulador de veículo Cruden.



Fonte: Cruden, 2021.

Figura 3. Simulador militar.



Fonte: ECA Group, 2021.

Figura 4. Simulador civil.



Fonte: Pinterest, acesso em 2021.

Figura 5. Simulador civil.



Fonte: Jornal Ubaense Online, 2019.

Simuladores aplicados à pesquisa e desenvolvimento, vem se tornando cada vez mais ferramentas indispensáveis para a criação e aprimoramento de novos produtos. Já que com eles, é possível que sejam feitos testes de todos os tipos de testes inimagináveis (*DRIVING*

SIMULATOR MARKET SIZE, SHARE & TRENDS ANALYSIS REPORT - GRAND VIEW RESEARCH, 2021):

- Além de veículos modelados por *software*, os simuladores são capazes de avaliar seus usuários, como uma pesquisa que foi feita sobre o foco de motoristas e a performance de pessoas idosas em determinadas situações (Figura 6) (*SIMULATED AUGMENTED REALITY WINDSHIELD DISPLAY AS A COGNITIVE MAPPING AID FOR ELDER DRIVER NAVIGATION*);

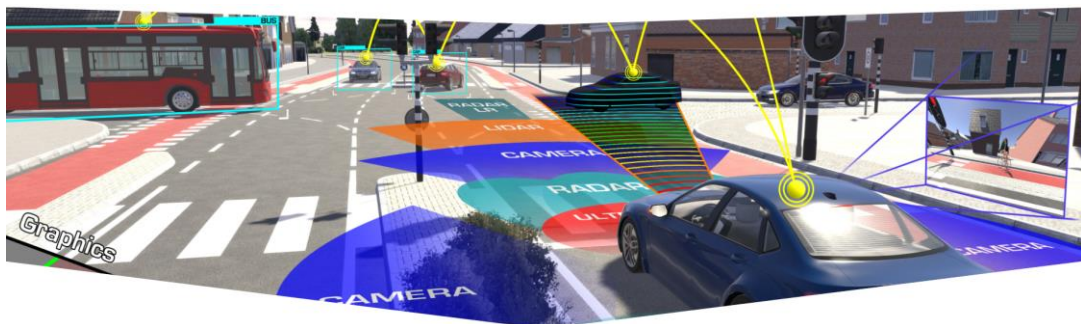
Figura 6. Pesquisa que foi feita sobre o foco de motoristas e a performance de pessoas idosas.



Fonte: *Simulated Augmented Reality Windshield Display as a Cognitive Mapping Aid for Elder Driver Navigation*.

- Com a criação de novos veículos autônomos, os simuladores auxiliam nos testes de seus sensores embutidos, avaliam o quanto a resposta dos veículos é eficiente e permite detectar falhas que devem ser corrigidas antes que comecem a produção dos mesmos (Figura 7) (*MARKET AND MARKETS, 2020*);

Figura 7. Testes de sensores embutidos pelo simulador.



Fonte: Cruden, 2021.

Os simuladores recreativos (Figura 10) são aqueles usados no cotidiano para entretenimento, como são os jogos de corrida que não focam tanto em aprimorar habilidades reais ou desenvolver novas tecnologias, mas sim criar um ambiente altamente imersivo que permite ao jogador desfrutar ao máximo da experiência. Um exemplo desses jogos é o *Forza Horizon* (Figuras 8 e 9), que é conhecido por possuir um mundo aberto rico em detalhes e veículos que podem ser explorados e customizados de todas as formas, desde a aparência até a performance e desempenho da mecânica dos mesmos (TECMUNDO, 2018).

Figura 8. Fuscas em Forza Horizon 4.



Fonte: Canal *Gateway Driver*, 2018.

Figura 9. Novo Fusca na oficina em Forza Horizon 4.



Fonte: Autores, 2021.

Figura 10: Exemplo de simulador recreativo



Fonte: Motor1, 2021.

2.2 APRESENTAÇÃO DE PROJETOS SIMILARES

Nesta seção são apresentados os projetos similares que foram utilizados como base para o desenvolvido do projeto.

2.2.1. *Development and Evaluation of a Virtual Reality Driving Simulator*

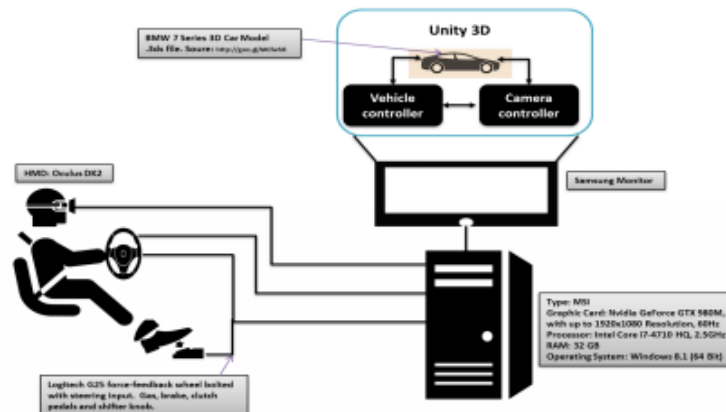
Este projeto utiliza de *Oculus Rift* e do *Unity* (Figura 12) para criar uma simulação semi-realista em VR (*Virtual Reality*), expondo o usuário a algumas situações e demandando reações do mesmo, ver Figura 11. (*Development and Evaluation of a Virtual Reality Driving Simulator*, 2015).

Figura 11. Testes de simulador.



Fonte: *Development and Evaluation of a Virtual Reality Driving Simulator*, 2015.

Figura 12. Componentes do projeto.



Fonte: *Development and Evaluation of a Virtual Reality Driving Simulator*, 2015.

2.2.2. Adaptive Tutoring on a Virtual Reality Driving Simulator

Este simulador consistiu na criação de um ambiente virtual, que se assemelha à uma cidade, com carros autônomos independentes e leis de trânsito com o objetivo de avaliar a performance do motorista (Figura 13a), implementando ainda *feedback* através de um *cockpit* com servos para aumentar a realidade, (Figura 13b). Diferente dos demais entretendo, este não emprega VR e se utilizava de três monitores para a visualização da simulação (ADAPTATIVE TUTORING ON A VIRTUAL REALITY DRIVING SIMULATOR, 2018).

Figura 13a. Mapa do simulador



Figura 13b. Cockpit do simulador.



Fonte: *Adaptive Tutoring on a Virtual Reality Driving Simulator*, 2018.

2.2.3. *The trainer project: Driver training simulators for improving novice driver safety on roads*

Este projeto se propôs a medir a influência de simuladores no treinamento de novos motoristas. Implementando um *cockpit* de baixo custo (Figura 14) e de custo intermediário além de um simulador capaz de reproduzir diversas situações presentes no dia a dia dos motoristas (Figuras 15 e 16). (*The trainer project: Driver training simulators for improving novice driver safety on roads*, 2002).

Figura 14. *Cockpit* de baixo custo



Figura 15. Simulador na neve.



Figura 16. Simulador na neblina.

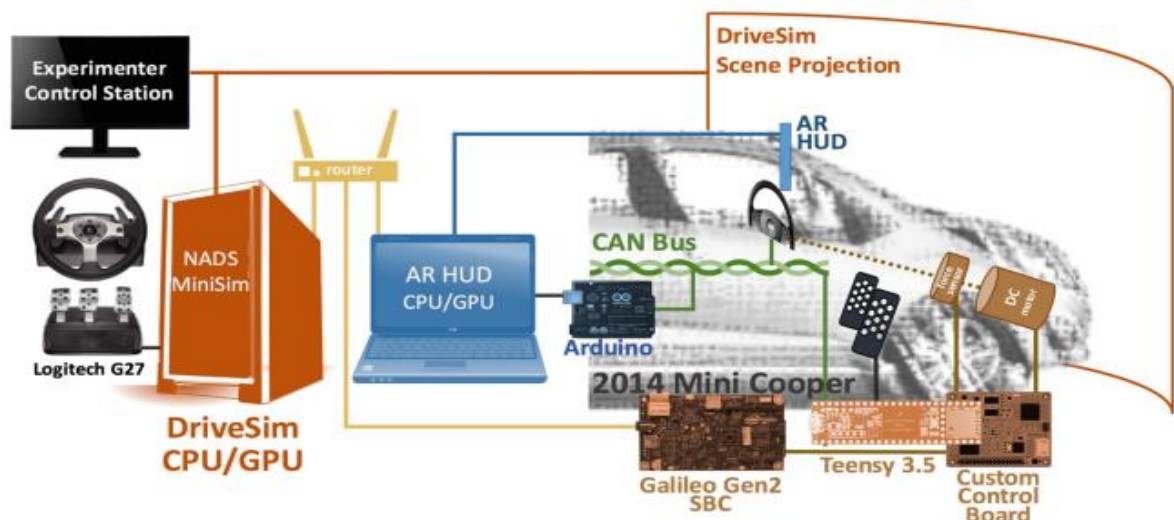


Fonte: *The Trainer Project: Driver Training Simulators for Improving Novice Driver Safety on Roads*, 2002.

3.2.4. AR DriveSim: An Immersive Driving Simulator for Augmented Reality Head-up Display Research

Este projeto se especializou na criação de uma simulação para testar o uso de *Head-Up Displays*. Por meio do estudo, os integrantes desenvolveram tanto um *hardware* (Figura 17) quanto uma simulação realista (Figura 18). Elaborando diferentes cenários virtuais para o percurso dos motoristas foi possível medir diferentes parâmetros nos participantes e controlar o impacto que o *display* possui na direção (AR DriveSim: An Immersive Driving Simulator for Augmented Reality Head-up Display Research, 2019)

Figura 17. Componentes do projeto.



Fonte: AR DriveSim: An Immersive Driving Simulator for Augmented Reality Head-up Display Research, 2019.

Figura 18. Componentes do projeto.



Fonte: AR DriveSim: An Immersive Driving Simulator for Augmented Reality Head-up Display Research, 2019

2.3 PARALELO ENTRE PROJETOS APRESENTADOS E PROJETO DESENVOLVIDO

Tabela 2. Paralelo entre trabalhos

Projeto	VR	Maquete	Treinamento
<i>Development and Evaluation of a Virtual Reality Driving Simulator</i>	Sim	Não	Não
<i>Adaptive Tutoring on a Virtual Reality Driving Simulator</i>	Não	Sim	Sim
<i>The trainer project: Driver training simulators for improving novice driver safety on roads</i>	Não	Sim	Sim
<i>AR DriveSim: An Immersive Driving Simulator for Augmented Reality Head-up Display Research</i>	Não	Sim	Não

Fonte: Autores, 2021.

Com base nos projetos estudados, foram decididos quais elementos seriam viáveis a serem implementados no protótipo:

A partir do projeto “*Development and Evaluation of a Virtual Reality Driving Simulator*” foi decidido que o protótipo incluiria um óculos VR para que houvesse uma maior imersão no ambiente virtual.

A partir do projeto “*Adaptive Tutoring on a Virtual Reality Driving Simulator*” foi decidido que o uso de um *cockpit* com resposta seria o mais interessante para aumentar a realidade experimentada pelo usuário.

Analisando os outros projetos, não havia como implementar nenhum elemento, devido à falta de recursos.

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são abordados o projeto mecânico, o projeto computacional e o projeto eletrônico que compõe o trabalho em questão. Aprofundando as especificações, definições e conceitos utilizados no desenvolvimento do sistema e sua integração.

3.1 PROJETO MECÂNICO

Nesta seção é feita uma análise estrutural da montagem mecânica, a qual o protótipo é composto, estudando cada uma de suas partes, materiais utilizados, processos de fabricação e a importante função que cada componente exerce. Para tal, o projeto será decomposto da seguinte maneira:

- Modelagem do projeto;
- Quadro Superior;
 - Estrutura de Madeira;
 - Banco do Motorista;
- Quadro Inferior;
 - Motores;
- Molas e Suportes;

- Equacionamento de Posição e Velocidade.

Desta forma, é possível fazer um estudo minucioso do protótipo analisando suas partes separadamente, e no fim, ver como a combinação de todas elas contribui para a eficácia do projeto.

3.1.1 MODELAGEM DO PROJETO

Primeiramente, para que fosse criado o projeto do *cockpit*, foi preciso buscar por modelos existentes que serviram como base para o esboço do protótipo. Os modelos pesquisados, (Figuras 19 e 20), variaram tanto em formas, materiais e complexidade de construção.

Figura 19. *Cockpit* de madeira

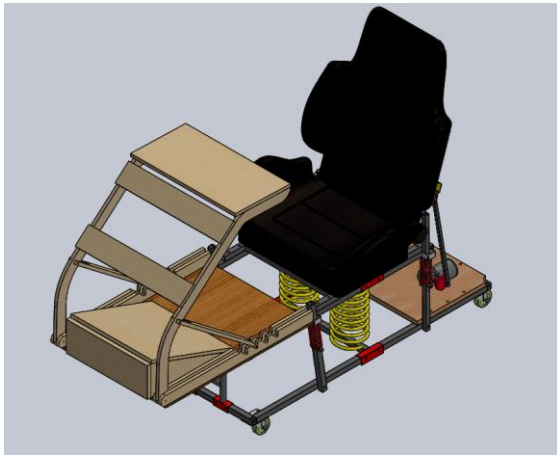


Fonte: Pinterest, 2021

A partir dos resultados coletados, foi feito um esboço que unia partes de alguns projetos, como o design utilizado no modelo da Figura 21 para criação do corpo do protótipo e o design da Figura 22 para a criação do suporte dos periféricos, e destes foram substituídos alguns componentes, como no projeto da Figura 21 que utiliza uma junta universal ligando a parte de cima do *cockpit* com a de baixo permitindo o movimento do equipamento, foi trocada por um par de molas e o suporte dos periféricos, que era inicialmente feito com tubos de aço e fixo ao corpo da estrutura, foi remodelada utilizando madeira para reduzir a carga imposta sobre a estrutura. Essas mudanças foram feitas com a intenção reduzir custos, simplificar a fabricação e manter a eficiência dos projetos originais.

A partir do esboço, cada uma das peças foi modelada separadamente utilizando o programa *SolidWorks* e conforme eram finalizadas, as mesmas foram postas juntas em uma montagem que seria a imagem final do projeto, como pode ser observado nas Figuras 23 e 24.

Figura 23. Modelo do *cockpit* desenvolvido com *SolidWorks*.



Fonte: Autores, 2021

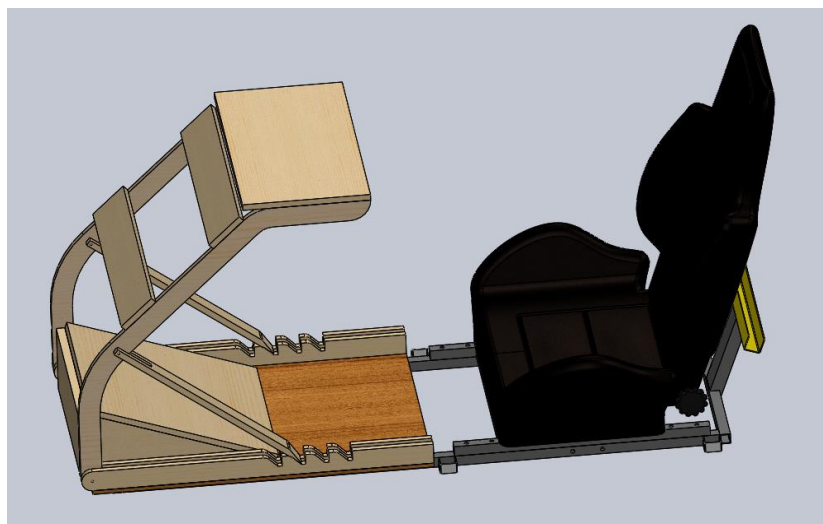
Figura 24. Corpo do protótipo concluído.



3.1.2 QUADRO SUPERIOR

O quadro superior (Figura 25) serve de base para duas outras estruturas, um suporte de madeira e o banco do motorista.

Figura 25. Quadro superior em *SolidWorks*.



Fonte: Autores, 2021.

- Suporte de Madeira:

A primeira parte do protótipo a ser modelada foi o suporte no qual o volante, os pedais e o câmbio (Figura 26) irão ser posicionados. Estes periféricos são utilizados pelo usuário para controlar o veículo no ambiente virtual.

Figura 26. Periféricos utilizados no projeto.



Fonte: *Logitech Store*, 2021

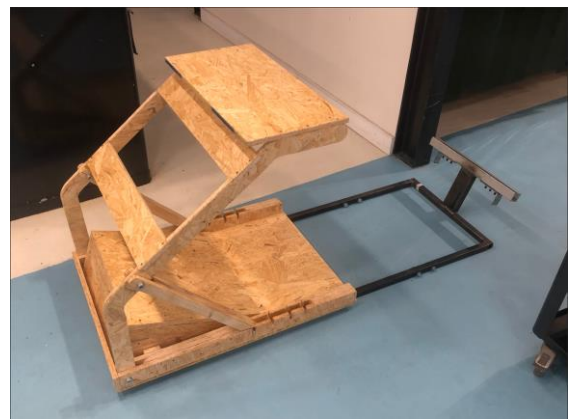
O projeto original no qual foi baseado, era feito de tubos de aço. Porém, visando reduzir o peso que seria aplicado sobre as bases e também diminuir o tanto de aço que seria utilizado, foi decidido que o uso de madeira serviria como substituto (Figuras 27 e 28).

Figura 27. Modelo do suporte de madeira em *SolidWorks*.



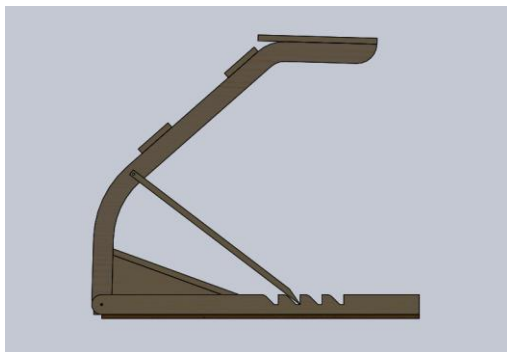
Fonte: Autores, 2021.

Figura 28. Suporte de madeira concluído



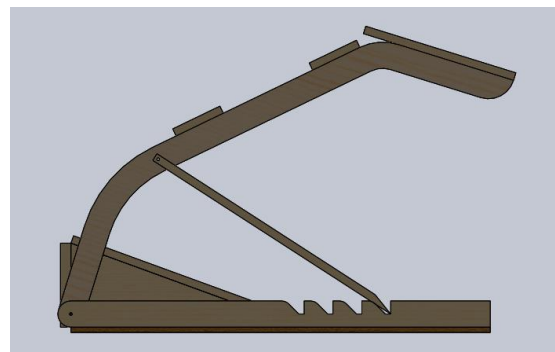
Na parte superior do suporte, foram encaixados o volante e o câmbio e há uma caixa com uma certa inclinação para os pedais serem posicionados. O *design* do suporte permite um ajuste de posição (Figuras 29 e 30) para que pessoas de diferentes estaturas sejam capazes de alcançar o volante tendo assim mais conforto.

Figura 29. Suporte de madeira na posição mais alta



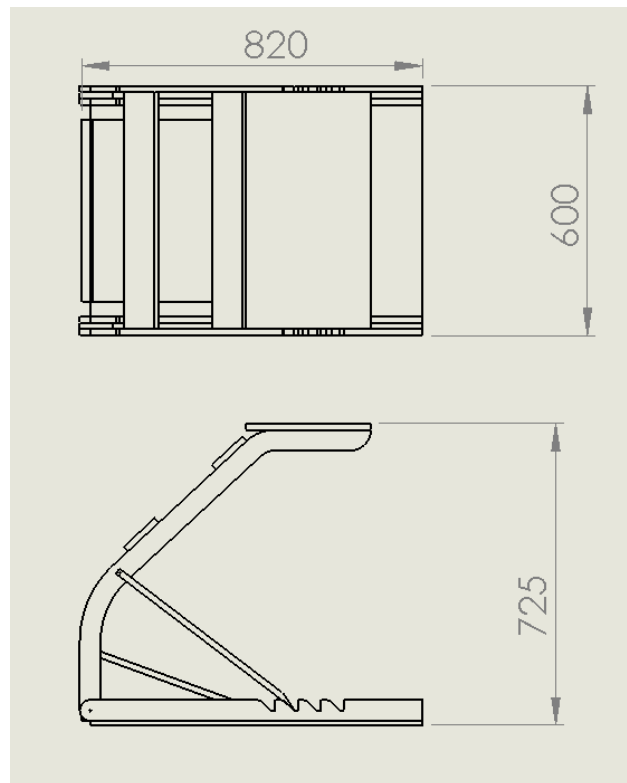
Fonte: Autores, 2021.

Figura 30. Suporte de madeira na posição mais baixa



A base do suporte possui 820mm x 600mm (Figura 31). A altura máxima que alcança é 725mm. Possui um peso médio de 6,5kg.

Figura 31. Dimensões do suporte de madeira.



Fonte: Autores, 2021.

- Banco do Motorista

O projeto visa um protótipo que pudesse ser desmontável, acomodado e transportado com facilidade. Logo, soldar o banco diretamente no quadro superior impossibilitaria essa praticidade (Figura 32). A solução obtida foi a fabricação de um quadro menor, o qual utilizou tubos de aço que foram cortados e soldados. As barras mais compridas medem 600mm e as mais curtas medem 460mm.

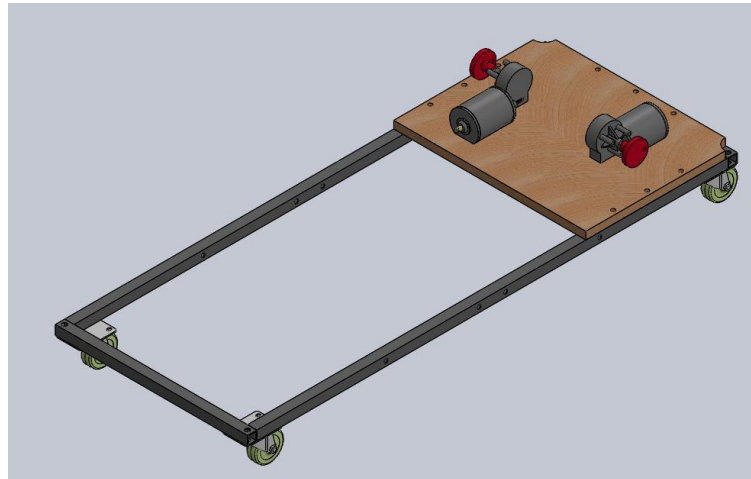
Figura 32. Banco do motorista.



Fonte: Autores, 2021.

3.1.3 QUADRO INFERIOR

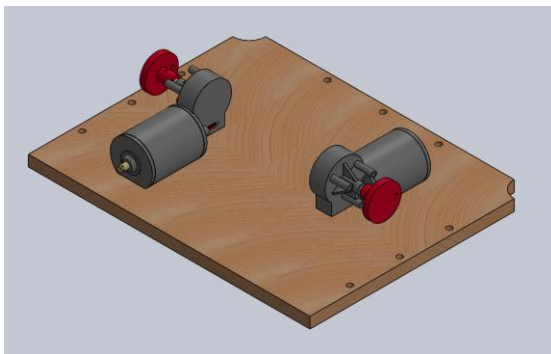
Possuindo uma montagem simples, o quadro inferior (Figura 33) exerce a importante tarefa de servir de base para todos os componentes que serão adicionados ao projeto. Fabricado utilizando tubos de aço e medindo 1250mm x 510mm, possui 4 rodízios instalados sob sua base que auxiliam no deslocamento do protótipo. No quadro inferior iremos encontrar alguns dos componentes mais importantes do projeto, isto é, os motores.

Figura 33. Quadro inferior em *SolidWorks*.

Fonte: Autores, 2021.

- Motores:

Os dois motores utilizados (Figuras 34 e 35) no projeto são modelos MR 210-VE-120-C da marca Motron:

Figura 34. Modelo dos motores em *SolidWorks*

Fonte: Autores, 2021.

Figura 35. Motores incorporados no projeto

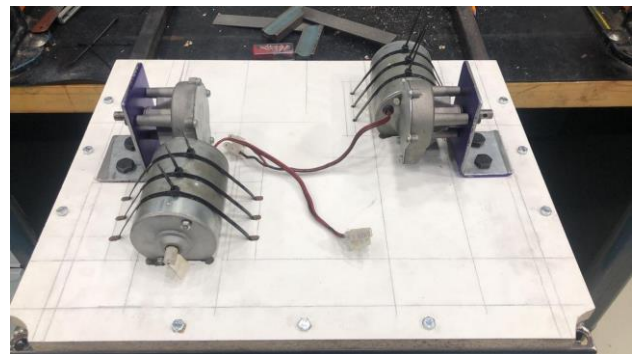


Tabela 3. Dados dos motores.

V (tensão):	P (potência):	RPM:
24 Vcc	134 W	120

Fonte: Autores, 2021.

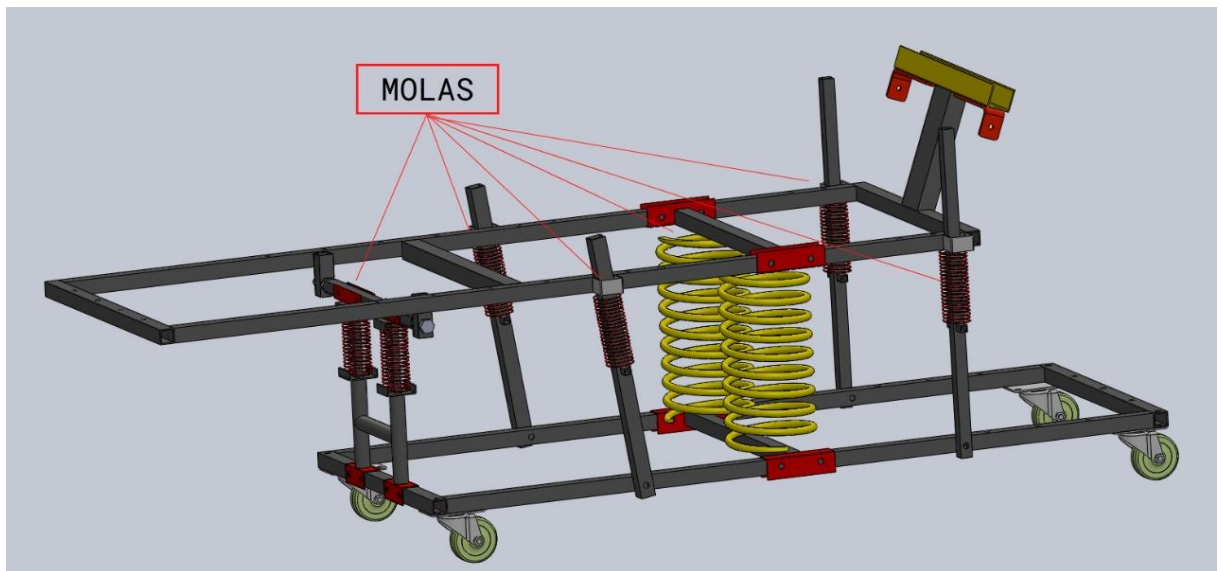
Devido ao fato de os motores serem idênticos, houve a necessidade de inverter o posicionamento dos mesmos. Para isso, foi traçada uma linha de centro sobre a placa de madeira, na qual os eixos de rotação dos motores seriam alinhados. Em seguida, foram

medidas as dimensões dos motores e com os dados obtidos, foi possível calcular as exatas seções que seriam cortadas da madeira para encaixar os motores.

- Molas e Suportes

Para a sustentação e movimentação do simulador, fez-se necessário o uso de sistemas de molas, como poder ser observado na Figura 36. Este sistema foi desenvolvido com o intuito de manter a plataforma estável e garantir o menor esforço por parte do motor.

Figura 36. Molas e suportes modelados no *SolidWorks*.



Fonte: Autores, 2021.

3.1.4 EQUACIONAMENTO DE POSIÇÃO E VELOCIDADE

Com base nas dimensões dos componentes presentes no corpo da estrutura (Figura 37), foi feito um estudo de movimento 4 barras capaz de determinar o posicionamento e a velocidade da estrutura (Figura 38), de acordo com a dinâmica dos motores.

3.2 PROJETO COMPUTACIONAL

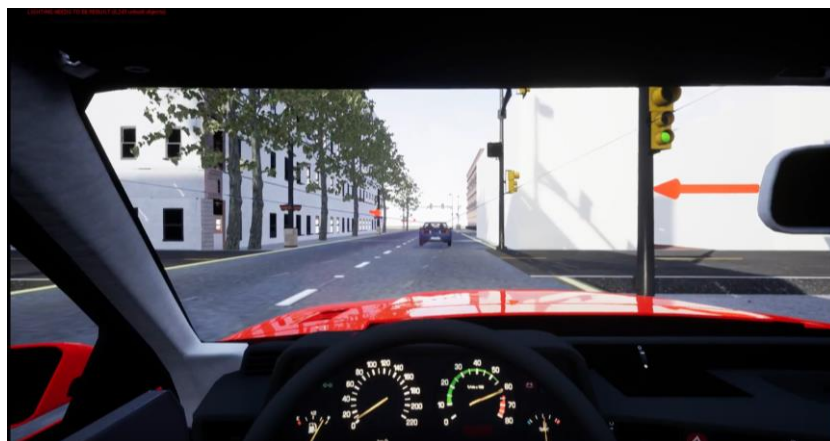
Nesta seção será feito um aprofundamento de toda a parte computacional envolvida no projeto, analisando e justificando as lógicas implementadas e os elementos presentes no simulador. Os temas abordados são decompostos da seguinte maneira:

- Definição do sistema;
- Entradas e Saídas;
- Mapa e elementos de cenário;
- Carros Autônomos;
- Carro do Usuário.

3.2.1 DEFINIÇÃO DO SISTEMA

Para a criação do simulador foi utilizado o *Unreal Engine*, motor de jogo desenvolvido pela *Epic Games*. O simulador consiste em um ambiente semi-realista, como pode ser observado na Figura 39, com áreas urbanas e suburbanas, carros autônomos e diversos elementos de tráfego, tais como, placas de pare, de velocidade e semáforos. O usuário é capaz de interagir com o simulador por meio de controles típicos de um carro convencional.

Figura 39. Imagem dentro do simulador.



Fonte: Autores, 2021.

3.2.2 ENTRADA E SAÍDAS

- Entradas:

Para o controle do veículo, são utilizados um volante, câmbio e pedais mencionados no projeto mecânico. Os acessórios empregados no projeto são da marca *Logitech*, empresa suíça conhecida por seus produtos inovadores de alta qualidade.

- Saídas:

Para permitir o controle mecânico do veículo, serão disponibilizados via saída serial para o sistema eletrônico as posições absolutas dos motores de acordo com os valores de aceleração angular e linear do carro. Utilizando o módulo dos vetores e mapeando-os para valores de -1 a 1, conseguimos determinar a magnitude e sentido da aceleração. Devido à lógica das posições ser um sistema discreto, criamos um *threshold* de 0.3 diferenciar a presença ou não de uma aceleração própria para o acionamento do motor.

3.2.3 MAPA E ELEMENTOS DE CENÁRIO

Com o propósito de expandir a experiência vivida pelo usuário, o mapa criado conta com uma diversidade de ambientações (Figura 40), para que o motorista seja capaz de se habituar a diferentes cenários e situações que poderá passar quando for dirigir na prática.

Figura 40. Cenário desenvolvido para o ambiente virtual.



Fonte: Autores, 2021.

Dentro do simulador, o usuário é apresentado aos seguintes cenários:

- Centro urbano, com tráfego intenso de veículos, um menor limite de velocidade e cenário rodeado por prédios, conforme a Figura 41;

Figura 41. Centro urbano.



Fonte: Autores, 2021

- Região Suburbana, com tráfego mediano e ruas mais estreitas, conforme ilustrado na Figura 42;

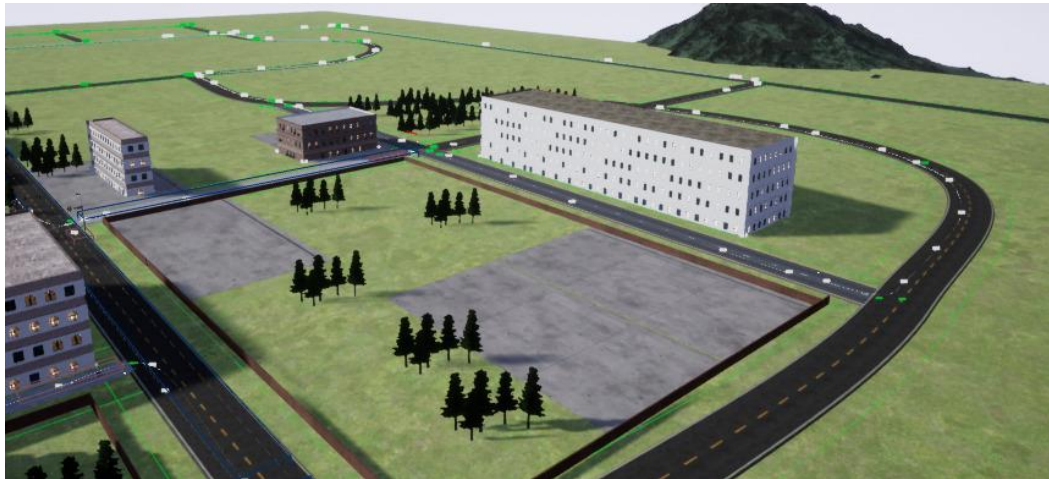
Figura 42. Região Suburbana.



Fonte: Autores, 2021

- Área Rural, ambiente aberto com estradas, tráfego leve e áreas mais abertas, como pode ser observado na Figura 43;

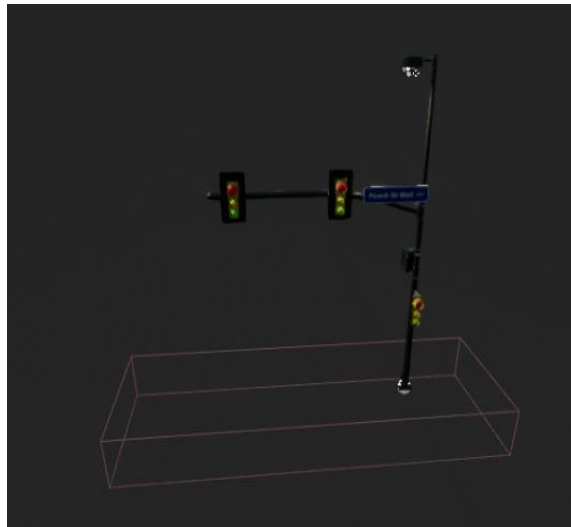
Figura 43. Área Rural.



Fonte: Autores, 2021

Além disso, por meio da implementação de alguns elementos de trânsito ao ambiente (Figura 44), o simulador se torna capaz apresentar ao motorista situações de trânsito próximas à realidade.

Figura 44. Semáforo incorporado ao ambiente virtual.

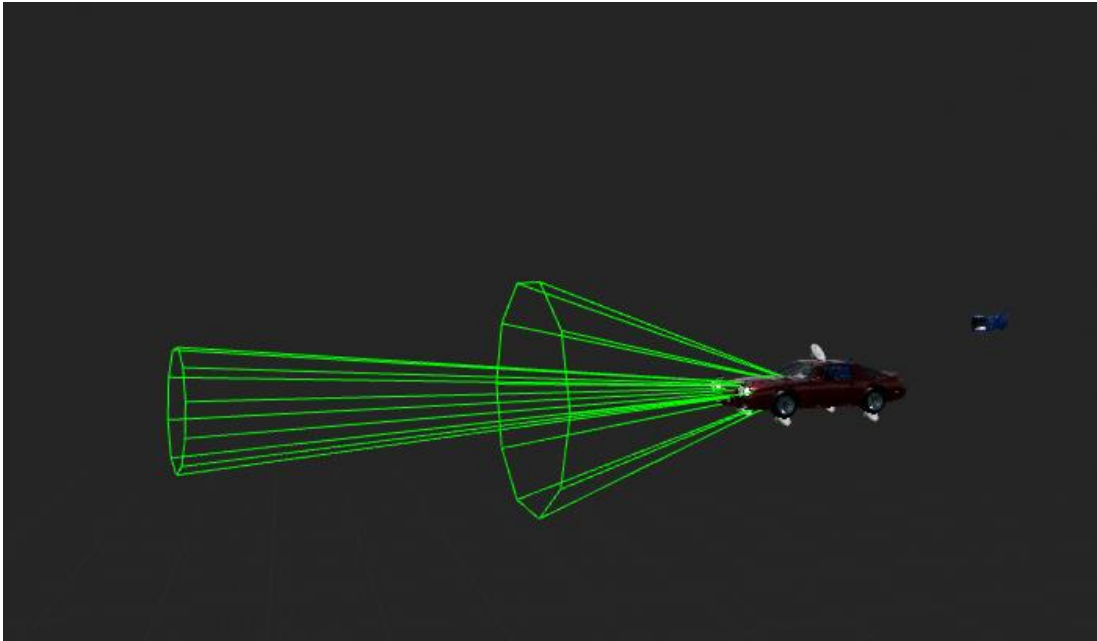


Fonte: Autores, 2021.

Tais elementos permitem além de sinais visuais para o usuário, o controle dos veículos autônomos, como é visto na Figuras 45, ampliada da Figura 46. Dentre os elementos, implementamos semáforos, placas de velocidade, de direção e de pare.

determinado e a outra que se utiliza de sensores (Figura 47) para evitar sua colisão com os demais carros.

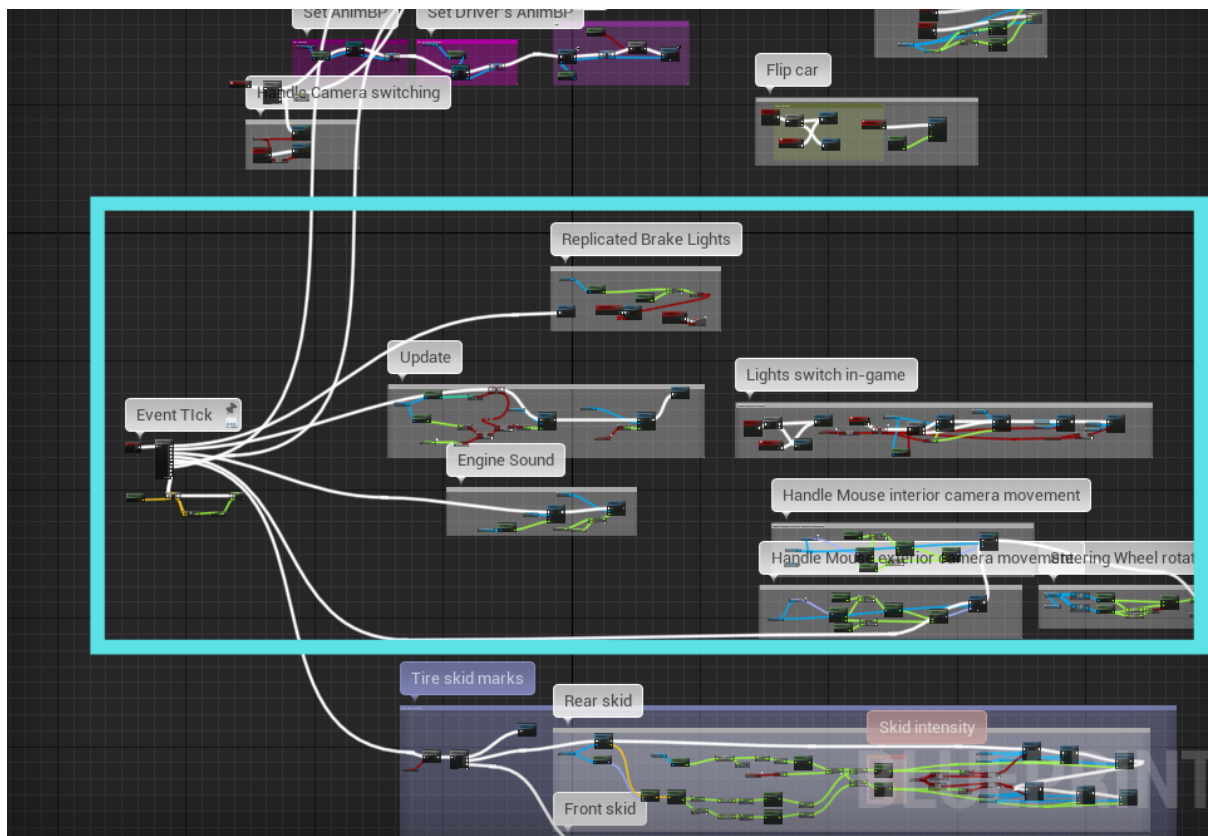
Figura 47. Sensores do carro.



Fonte: Autores, 2021.

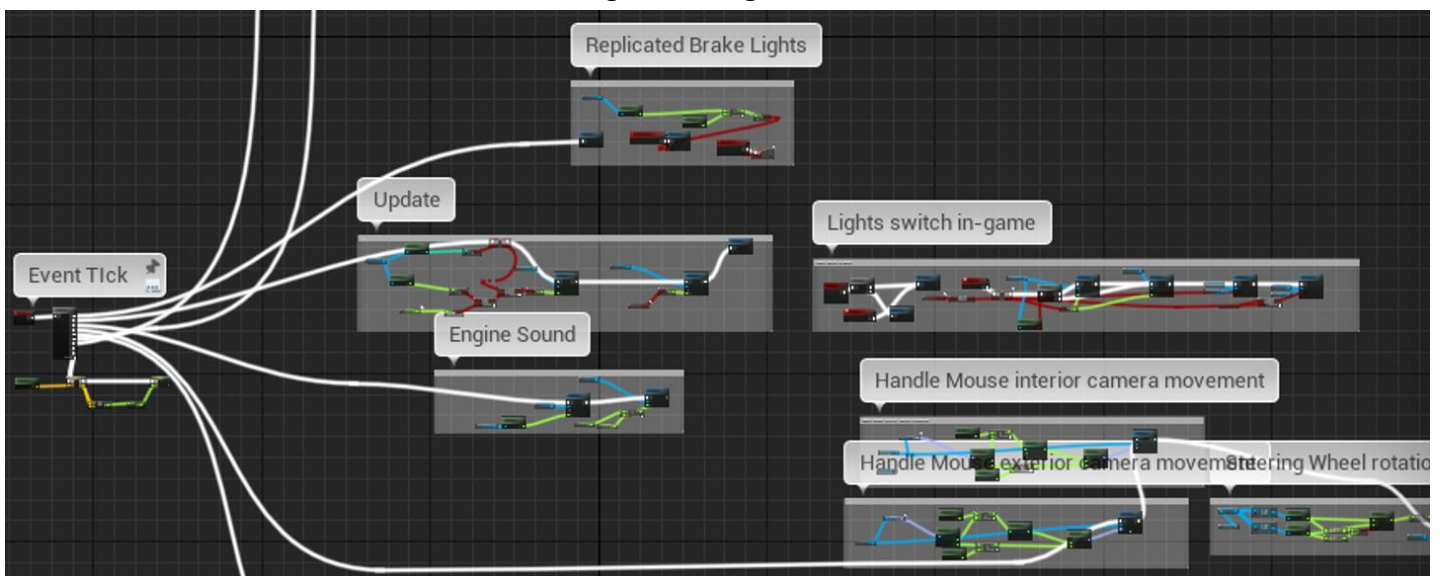
O modelo do veículo foi adquirido e junto com ele um esquema básico de controle de seus elementos também foi obtido, permitindo o controle da angulação das rodas dianteiras, da aceleração, do freio e outros elementos como luz e abertura de portas. Com base nele, foram desenvolvidos os sistemas previamente mencionados e vistos na Figura 48, ampliada na Figura 49.

Figura 48. Lógica interna do carro.



Fonte: Autores, 2021.

Figura 49. Lógica interna do carro



Fonte: Autores, 2021.

No total foram posicionados 21 carros autônomos ao longo de 9 rotas, distribuídos obedecendo as características de cada região.

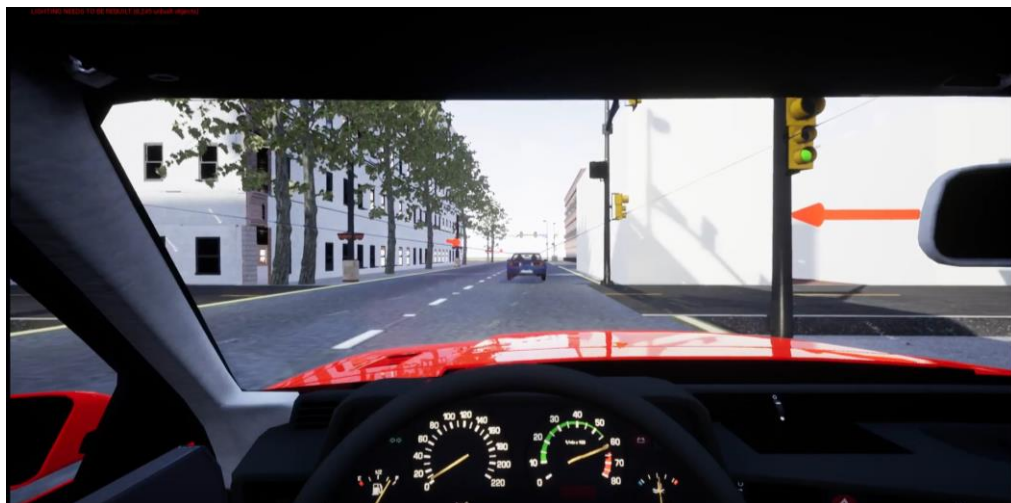
3.2.5 CARRO DO USUÁRIO

O ambiente do usuário pode ser dividido em duas seções interligadas, o sistema de visualização do usuário e a física do carro. O modelo mecânico do carro é o sistema que gere as forças aplicadas no automóvel, através dele conseguiu-se ter acesso às curvas característica de um motor realista, como as curvas de Torque x RPM (rotações por minuto) e Marcha X RPM, conseguiu-se por meio da manipulação desses elementos proporcionar uma física realista e mudar os pontos de marcha, criando cenários onde a troca de marcha se torna necessário, por exemplo.

Assim como os demais aspectos do carro, os elementos básicos desse sistema foram adquiridos com a compra do carro e foram personalizadas e desenvolvidas para chegar no resultado desejado.

O sistema de visualização do carro consiste na presença das informações do modelo mecânico para o usuário, feito por meio de uma réplica do interior de um automóvel convencional contendo velocímetro, indicador de RPM, direção e até um passageiro (Figura 50).

Figura 50. Vista interna do veículo.

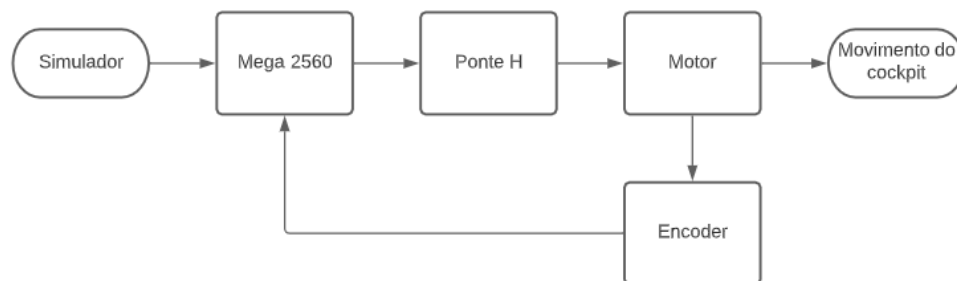


Fonte: Autores, 2021.

3.3 LÓGICA DE MOVIMENTAÇÃO DO SIMULADOR

Para simulação dos movimentos dos eventos ocorridos no ambiente virtual, foram implementados 2 circuitos, cada um composto por um microcontrolador compatível com o Arduino Mega 2560, um módulo ponte H BTS7960, um motor, um *encoder* e três fontes de alimentação. Nesse sistema, o microcontrolador recebe o dado da conexão Serial de um computador rodando o simulador apresentado no projeto computacional para determinar a posição alvo do motor, realiza a leitura do encoder para determinar a posição angular atual do motor e através desses dados, define os PWMs (*Pulse Width Modulation*) enviados ao módulo ponte H, que assim aciona o motor, como visto na Figura 51.

Figura 51. Lógica de funcionamento.



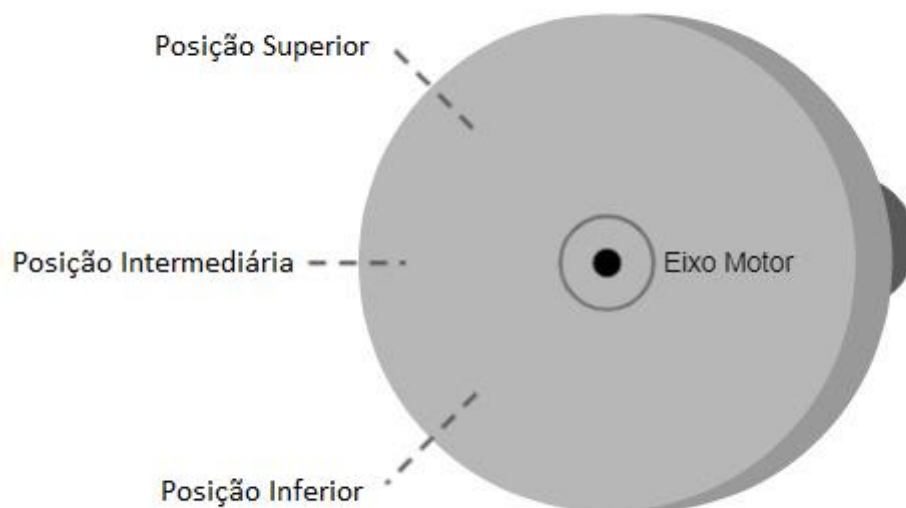
Fonte: Autores, 2021.

3.3.1 POSIÇÕES

As posições possíveis do protótipo foram determinadas de maneira que o usuário sinta o que está acontecendo no simulador, tendo uma experiência mais imersiva. São elas, a partir do 0°, adotado quando a barra que liga os motores à estrutura superior, onde estão localizados os bancos, a posição inferior, localizada a quarenta e cinco graus, a posição intermediária, localizada a noventa graus e a posição superior, localizada a cento e trinta e cinco graus.

A partir dessas três posições (Figura 52), é possível simular a aceleração positiva do veículo, posicionando ambos os motores na posição inferior, estado estacionário, posicionando os motores na posição intermediária, acelerações negativas, ou seja, frenagens, posicionando ambos os motores na posição superior, e curvas posicionando um motor na posição intermediária e outro na posição inferior, dependendo do lado que o veículo está virando no simulador.

Figura 52. Posições.

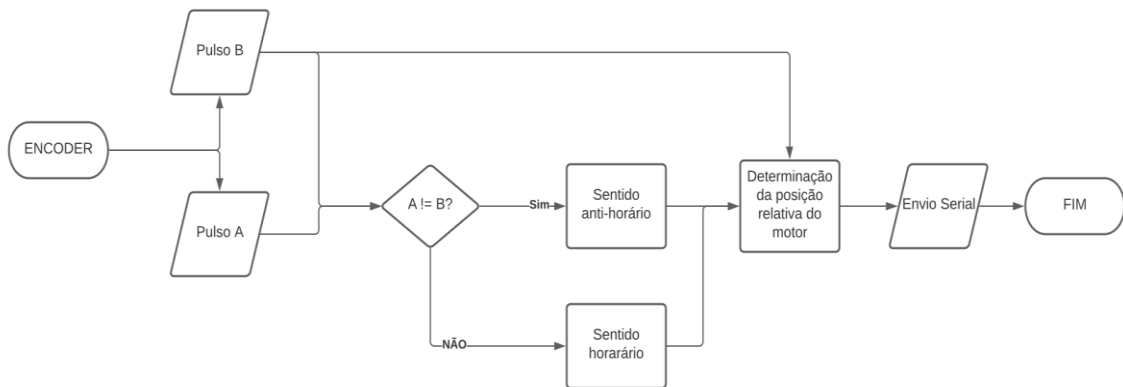


Fonte: Autores, 2021.

3.3.2 LÓGICA DE LEITURA DO ENCODER

Para a leitura dos *encoders* foi utilizado uma biblioteca disponível para a Arduino IDE, <encoder.h>. Nela os dois pinos dos microcontroladores são configurados como *interrupts*, onde foram conectados os pulsos A e B do *encoder* incremental, dessa maneira, quando há mudança de valor dos pulsos, o microcontrolador faz a comparação dos pulsos para assim determinar o sentido da rotação do motor, essa lógica pode ser observada no fluxograma da Figura 53. Sabendo o sentido, é possível, em seguida, determinar a posição atual do motor.

Figura 53. Lógica de leitura do *encoder*.

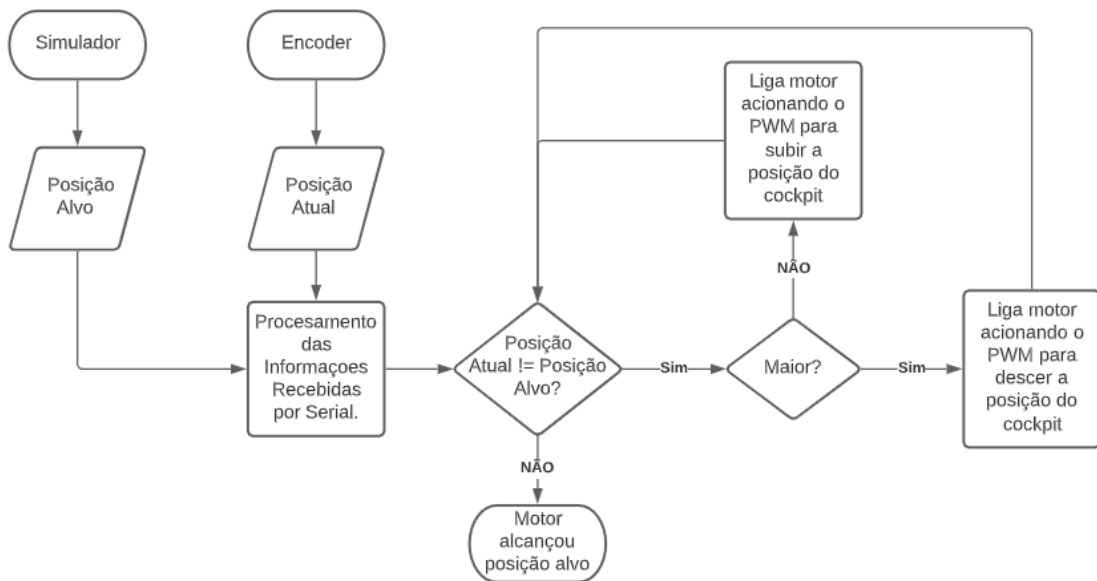


Fonte: Autores, 2021.

3.3.3 LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO PARA CONTROLE DA POSIÇÃO

Para o controle de posição, foi utilizado um controlador do tipo *On-Off*, a lógica de programação para o controle de posição, ou seja, quando o microcontrolador deve enviar um sinal para o módulo ponte H e qual sinal deve ser enviado, foi pensada de maneira que posição alvo recebida pelo simulador seja sempre o destino do motor. Sendo assim, quando microcontrolador recebe as posições alvo e a atual, ele as compara, determina o sentido que o motor deve se mover, e assim, enviar o respectivo PWM, sempre incrementado esse PWM de maneira lenta para não haver trancos no acionamento do motor, e dessa forma atingir a posição alvo, assim como é observado na Figura 54.

Figura 54. Lógica de Posicionamento.



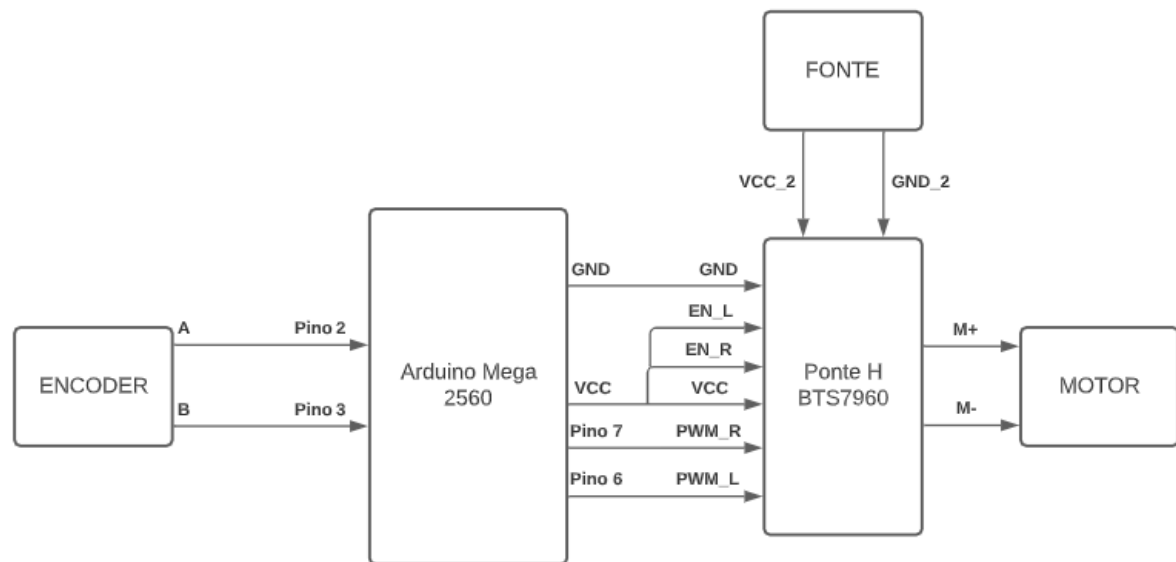
Fonte: Autores, 2021.

3.4 PROJETO ELETRÔNICO

O projeto eletrônico para o controle de posição do protótipo consiste em dois microcontroladores compatíveis com Arduino Mega 2560, dois módulos ponte H BTS7960, dois *encoders incrementais Dynapar B40*, dois motores de 24V mencionados anteriormente no projeto mecânico e seis fontes de alimentação para suprir a necessidade do sistema. Para a programação, fui utilizada a Arduino IDE e algumas de suas bibliotecas.

Os dois Arduinos Mega 2560 são ligados a um computador, rodando o simulador apresentado no projeto computacional, e conectados também às ponte H, uma ponte em cada Arduino, , que por sua vez são ligadas aos motores, São dois circuitos como mostrado na figura 55. Cada motor é alimentado por três fontes 24V ligado em paralelo, através da ponte H, para suprir a corrente de partida do mesmo.

Figura 55. Diagrama com Arduinos.



Fonte: Autores, 2021.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os testes e resultados do protótipo de acordo com os objetivos primários do projeto. Os testes foram realizados com pessoas habilitadas para direção, com uma idade média de 25 anos, com massa entre 50 e 100kg.

4.1 RESISTENCIA MECÂNICA

Para testar a mecânica do projeto, o protótipo foi sujeito a 4 diferentes cargas, de pessoas com pesos distintos (Figura 56), sendo capaz de resistir sem nenhuma deformação permanente da estrutura ou danos à base. Provando assim a resistência e eficácia da estrutura do *cockpit*.

Figura 56. Testes de resistência mecânica.



Fonte: Autores, 2021.

4.2 AMBIENTE VIRTUAL

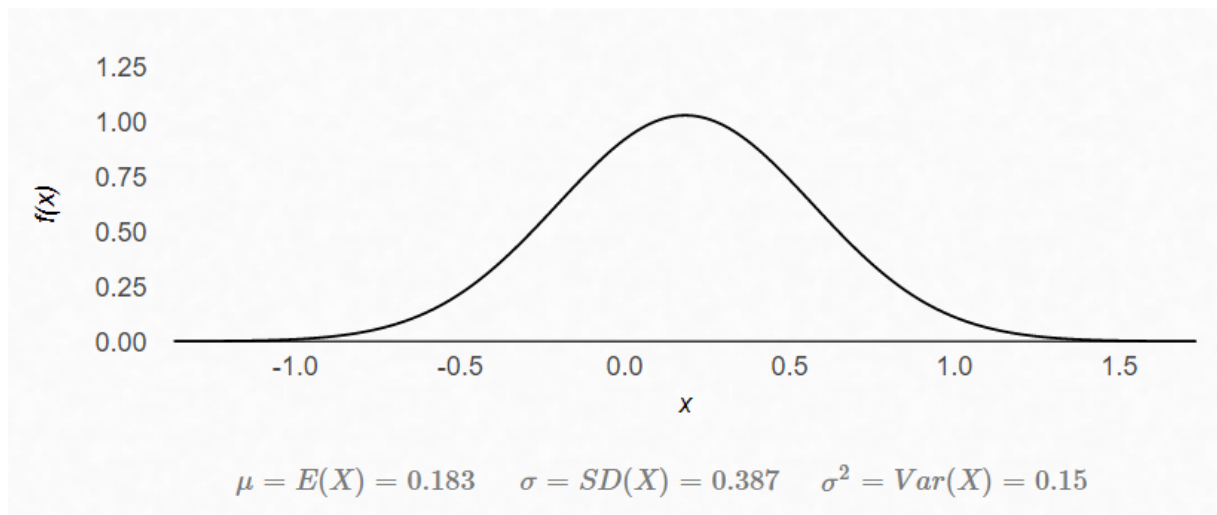
No ambiente virtual, foi possível incluir 21 carros autônomos e 53 elementos básicos das leis de trânsito brasileiras ao ambiente virtual, que permitem que os usuários desfrutem de uma experiência próxima da realidade. Para avaliar o simulador e os elementos a ele inseridos, o

ambiente virtual foi testado por indivíduos habilitados, que colocaram a prova a experiência de direção e as funcionalidades dos elementos presentes, comparando-as com a realidade. A partir disso, com a necessidade de administração dos pedais, mudanças de marchas, a presença de carros autônomos rodando o mapa, os elementos básicos da lei de trânsito, entre outros, julgaram a experiência de direção como realista.

4.3 SISTEMA DE *FEEDBACK*

Apesar de não ser capaz de medir a latência, para testar a eficácia do tempo de resposta, foram realizados testes enviando dados pela serial do computador para os microcontroladores, de maneira a simular o envio de serial realizado pelo simulador. Quando enviado os números 0, 1 ou 2 pela serial do computador para o Arduino, simulando o envio serial de um byte com valor 0, 1 ou 2 do ambiente virtual. Para avaliar o desempenho e precisão do controle, foram realizados três testes com serial enviada ao Arduino pelo computador: enviar dado 2 e em seguida o dado 0, enviar o dado 1 e em seguida o dado 0, enviar dado 2 e em seguida o dado 1, realizando dez repetições de cada teste, e em cada repetição, registrando e medindo a posição angular atingida, a partir da referência descrita na lógica de movimentação do simulador, para assim analisar os dados e traçar o gráfico da distribuição normal do erro da posição do motor, se possível. Os testes resultaram em um erro médio da posição angular de 0.183 graus e um desvio padrão de 0.387, como apresentado na Figura 57, provando o funcionamento e eficiência do sistema de *feedback*, uma vez que esse erro pode ser considerado baixo para a aplicação em questão.

Figura 57. Gráfico da distribuição normal.



Fonte: Autores, 2021.

5 CONCLUSÕES

A proposta do projeto era a criação de um ambiente virtual e desenvolver um *cockpit* com interação entre máquina e usuário, com base nos eventos ocorridos no ambiente virtual criado. Desta forma, servindo para o auxílio do aprendizado de direção em um ambiente seguro.

A fim de obter um protótipo que cumprisse com este propósito, foram definidos os seguintes objetivos: criação de um ambiente virtual que simule eventos básicos da realidade, criação de um cockpit com resposta aos ocorridos do ambiente virtual, estrutura resistente, inserção de elementos básicos de leis de trânsito e de veículos autônomos no ambiente virtual.

O protótipo desenvolvido alcançou todos os objetivos inicialmente listados e, para cada objetivo avaliado, foram realizados testes para verificação de seu desempenho. Os testes realizados provaram que o projeto atendeu as expectativas, tanto na resistência mecânica da estrutura do protótipo como na competência do projeto eletrônico, que foi capaz de reproduzir com um retorno aceitável, os eventos do ambiente. Além disso, todos os elementos introduzidos no ambiente virtual, foram capazes de alcançar a meta estabelecida.

Quanto à parte de controle de posição, mesmo satisfazendo o seu objetivo, é possível obter melhores resultados com o uso de um controle de posição mais preciso do que o controle do tipo *On-Off*, como um controle do tipo PID.

5.1 PROJETOS FUTUROS

Para projetos futuros, poderiam ser adicionados mais graus de liberdade para o sistema, de maneira que as respostas dos eventos do ambiente virtual se tornem ainda mais realistas, podendo simular mais situações.

Um outro problema observado que poderia ser melhorado em projetos futuros é o motor. O motor utilizado no projeto apresentou pequenos defeitos em seus internos após longos períodos de uso por conta dos materiais utilizados em alguns elementos de sua caixa de

redução, então outra melhoria possível é a utilização de um motor com uma caixa de redução mais resistente ou uma mudança nos internos do motor para tentar aumentar sua resistência.

Por conta da incompatibilidade e falta de suporte do *Oculus Rift DK2*, o único óculos VR acessível para o projeto, com os sistemas operacionais e *engines* de jogos atuais, como o Windows e o *Unreal Engine* que foram utilizados no projeto, não foi possível desenvolver um ambiente em realidade virtual, levando a outra sugestão, a implementação da realidade virtual para maior imersão. Ademais, como uma tentativa de trazer uma experiência ainda mais realista, *assets* com design mais realista também poderiam ser implementados, criando um cenário ainda mais realista para aumentar a imersão do simulador.

Outras sugestão é a implementação de um controle mais preciso e mais elaborado, como descrito anteriormente. No projeto, inicialmente haveria de controle de posição, porém não foi possível implementá-lo por conta da escassez de recursos no início dos desenvolvimento, como o *encoder*.

REFERÊNCIAS

- IBGE. IBGE. IBGE,2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?tipo=grafico&indicador=28122>. Acesso em: Junho 2021.
- ECA GROUP. Eca Group. Eca Group. Disponível em: <https://www.ecagroup.com/en/defence-security/training-simulation-land-forces>. Acessado em: Junho 2021.
- Grand View Research.(2020).Market Analysis Report. Global Driving Simulator. Disponível em:<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/driving-simulator-market>. Acessado em: Julho 2021.
- Gomes,L.(2013).Mortes no trânsito: Brasil é o 4° do mundo. JusBrasil. Disponível em: <https://professorlfg.jusbrasil.com.br/artigos/113704460/mortes-no-transito-brasil-e-o-4-do-mundo>. Acessado em: Junho 2021.
- Ihemedu-Steinke, Quinate & Sirim, Demet & Erbach, Rainer & Halady, Prashanth & Meixner, Gerrit. (2015). Development and Evaluation of a Virtual Reality Driving Simulator.
- Kleina,N.(2019).Tecmundo.Tirar CNH não exige mais simulador e tem menos aulas práticas. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/mercado/145947-tirar-cnh-nao-exige-simulador-tem-aulas-praticas.htm>. Acessado em: Junho 2021.
- Market and Markets.(2021).Market Research report. Driving Simulator Market. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/driving-simulator-market-171814690.html>. Acessado em: Julho 2021.
- Ministério da Infraestrutura,Senatran. Frota de Veiculos – 2020. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/frota-de-veiculos-2020>. Acessado em: Junho 2021.
- Pardo Albiach, Juan & Dols, Juan. (2002). THE TRAINER PROJECT: DRIVER TRAINING SIMULATORS FOR IMPROVING NOVICE DRIVER SAFETY ON ROADS.
- Playstation. Gran Turismo 7. Disponível em: <https://www.playstation.com/pt-br/games/gran-turismo-7/>. Acessado em: Junho 2021.
- Kim, Hyungil. (2019). AR DriveSim: An Immersive Driving Simulator for Augmented Reality Head-Up Display Research. Frontiers in Robotics and AI. 6. 98. 10.3389/frobt.2019.00098.
- Ropelato, Sandro & Zünd, Fabio & Menozzi, Marino & Sumner, Robert & Magnenat, Stéphane. (2017). Adaptive Tutoring on a Virtual Reality Driving Simulator.
- Trench,M.;Souza,R.;TANJI,T.(2020).Consigo tirar cnh durante a pandemia? Saiba como as autoescolas estão funcionando na quarentena. Auto Esporte. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2020/08/consigo-tirar-cnh-durante->

pandemia-saiba-como-autoescolas-estao-funcionando-na-quarentena.ghml. Acessado em: Julho 2021.

Trovão,R.(2019).Simulador para a formação de motorista poderia ser útil, mas é mal-empregado. Gazeta do Povo. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/automoveis/cnh-simulador-em-autoescola-util-mas-e-mal-empregado/>. Acessado em: Julho 2021.

Vasan,P.(2014).Everyone should learn to drive a simulator.The Verge. Disponível em: <https://www.theverge.com/2014/12/9/7327953/drivers-education-20-simulators>. Acessado em: Junho 2021.