



MEC - SETEC

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO
GROSSO – CAMPUS CUIABÁ CEL. OCTAYDE JORGE DA SILVA**

DEPARTAMENTO DA ÁREA DE ELETROELETRÔNICA

ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

GUSTAVO DUARTE E SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS EM AMBIENTE DE
SIMULAÇÃO PARA SISTEMA DE FREIO ANTI-BLOQUEIO
(ABS).**

Cuiabá - MT

Março 2021

Dados internacionais de catalogação na fonte

S586d Silva, Gustavo Duarte e
Desenvolvimento de cenários em ambiente de simulação para sistema de freio anti-bloqueio (ABS). / Gustavo Duarte e Silva – Cuiaba – MT, 2021.
77 f. : il. color.

Orientador(a) Prof. MSc. Robson Rogério Dutra Pereira
TCC (Graduação). (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus Cuiabá, 2021.
Bibliografia incluída

1. Sistema de freio ABS. 2. CoppeliaSim. 3. Ambiente virtual de simulação. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Bibliotecário(as): Jorge Nazareno Martins Costa (CRB1-3205)

GUSTAVO DUARTE E SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS EM AMBIENTE DE
SIMULAÇÃO PARA SISTEMA DE FREIO ANTI-BLOQUEIO
(ABS).**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento da Área de
Eletroeletrônica do Curso de Engenharia
de Controle e Automação, do Instituto
Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Mato Grosso – Campus
Cuiabá Cel. Octayde Jorge da Silva, como
exigência para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Controle e
Automação.

Orientador: Prof. MSc. Robson Rogério Dutra Pereira

Cuiabá - MT

Março 2021



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Campus Cuiabá
ATA Nº 2/2021 - CBA-DAE/CBA-ENS/CBA-DG/CCBA/RTR/IFMT

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao(s) 21 dia(s) do mês de **abril** de **2021**, no ambiente virtual do Instituto federal de Mato Grosso (*Google Meet*), realizou-se a sessão pública de defesa de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, intitulado de “Desenvolvimento de Cenários em Ambiente de Simulação para Sistema de Freio Anti-Bloqueio (ABS)” pelo acadêmico Gustavo Duarte E Silva, orientado pelo Prof. MSc. Robson Rogério Dutra Pereira.

Os trabalhos foram iniciados às **09h03min** horas pelo professor Prof. MSc. Robson Rogério Dutra Pereira, presidente da banca examinadora e constituída por: MSc. Edilson Alfredo da Silva e Eng. Paulo Henrique Correa de Moraes.

Obtendo a nota **9,5**, o trabalho (necessita/ não necessita) **necessita** de correção, de acordo com a banca examinadora, num prazo de **30** dias.

Por ser verdade, o presidente da banca examinadora declara por encerrados os trabalhos, que lavra a presente Ata assinando juntamente com os demais membros.

Cuiabá, 21 de abril de 2021

MSc. Robson Rogério Dutra Pereira
Orientador | IFMT – Cuiabá

MSc. Edilson Alfredo da Silva
IFMT – Cuiabá

Eng. Paulo Henrique Correa de Moraes
IFMT – Cuiabá

Documento assinado eletronicamente por:

- Robson Rogerio Dutra Pereira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/04/2021 10:39:56.
- Paulo Henrique Correa de Moraes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/04/2021 10:42:08.
- Edilson Alfredo da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/04/2021 11:02:51.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 15/04/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifmt.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 166719
Código de Autenticação: 7fd0b5bf0b



AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida, pela saúde que me destes todos os dias, me livrou de todo mal, me protegeu durante esta pandemia da COVID-19, e me deu motivação para superar todas as dificuldades do dia a dia.

Agradeço às mulheres da minha vida: minha mãe Adriana Duarte que me ensinou que a educação é o melhor caminho para o sucesso e realização pessoal; minha querida avó Nila Duarte que acompanhou de perto todas as fases da minha vida e juntamente com minha mãe, verdadeiras guerreiras, lutou para garantir o necessário para que eu continuasse meus estudos. Especialmente agradeço a minha namorada Aline Silva Santos que a conheci já no final de minha jornada como universitário, e tem sido como 'o combustível que faz meu motor dar a partida' me deu apoio desde sempre e me faz querer ser ainda melhor como pessoa, como estudante e como profissional.

Agradeço ao Petterson Soares, meu pai de criação, por sempre estar presente nos momentos que eu mais precisei; e ao Guilherme Duarte que além de ser meu irmão é meu amigo e colega de quarto, e me aturou em todas as noites que passei em claro estudando. Agradeço principalmente aos meus amigos Gabriel “Burzum” que é meu amigo desde a infância; José Alexandre, que compartilhou grandes batalhas durante todo o curso; André Espinoza, um amigo que está disposto a fazer de “tudo” e Jonas Pinheiro, um amigo exótico que tive a oportunidade de conhecer. E na pessoa deles, agradeço a todos os meus familiares, amigos e colegas, que são tantos que não consigo numerar aqui, pelo apoio e incentivo para que eu pudesse realizar esse grande sonho de me tornar engenheiro.

Enfim, agradeço ao meu Orientador Robson Rogério e os Professores Mário Anderson, Edilson Alfredo e Marcelo Arruda por me ajudarem a construir uma base sólida de aprendizagem, e me motivarem a sempre buscar mais conhecimento.

“Sem sacrifício não há vitória!”

Optimus Prime.

RESUMO

Com o avanço da tecnologia, viu-se a necessidade de projetar dispositivos eletrônicos que ajudassem na segurança dos veículos, e desses vários dispositivos, o sistema de freios ABS tem o papel fundamental de manter a estabilidade do veículo durante a frenagem, assim evitando acidentes e garantindo a diminuição do desgaste de pneu. Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho é realizar um estudo no sistema de freio ABS e implementá-lo em um ambiente de simulação. O ambiente de simulação foi implementado utilizando a ferramenta computacional CoppeliaSim. Foram desenvolvidos métodos de configuração de freios em um veículo genérico, a fim de garantir a sua estabilidade durante a frenagem, e obtendo a distância de parada e o tempo de parada do veículo aplicados sobre os tipos de terreno mais comum, como gelo, neve, asfalto molhado e asfalto seco.

Palavras-chaves: Sistema de freio ABS, CoppeliaSim, ambiente virtual de simulação.

ABSTRACT

With the advancement of technology, there was a need to design electronic devices that help in the safety of vehicles, and of these various devices, the ABS brake system has the fundamental role of maintaining the stability of the vehicle during braking, thus avoiding accidents and ensuring the reduction of tire wear. In this context, the objective of this work is to carry out a study on the ABS brake system and implement it in a simulation environment. The simulation environment was implemented using the computational tool CoppeliaSim. Methods for configuring brakes on a generic vehicle have been developed in order to ensure its stability during braking, and obtaining the stopping distance and stopping time of the vehicle applied on the most common types of terrain, such as ice, snow, wet asphalt and dry asphalt.

Keywords: ABS brake system, CoppeliaSim, virtual simulation environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de freio por alavanca.	21
Figura 2: Sistema de freio a tambor.	22
Figura 3: Sistema de freio a disco.	23
Figura 4: Componentes do Sistema ABS.	24
Figura 5: Sistema de coordenada local e global.	28
Figura 6: Coordenadas do veículo de acordo com a norma ISO 8855.	29
Figura 7: Representação das forças sobre um objeto.	32
Figura 8: Gráfico da representação da força de atrito estático e dinâmico.	32
Figura 9: Comportamento do coeficiente de atrito em cada situação do terreno.	34
Figura 10: Gráfico do tempo de parada.	37
Figura 11: Sistema de controle em malha fechada.	38
Figura 12: Controlador On-Off.	39
Figura 13: Motores gráficos presentes no CoppeliaSim.	40
Figura 14: Simulação da dinâmica.	41
Figura 15: Ambiente de simulação CoppeliaSim.	42
Figura 16: Software de Modelagem 3D - TinkerCad.	42
Figura 17: Fluxograma apresentando o desenvolvimento do projeto.	44
Figura 18: Alguns modelos que podem ser utilizados na simulação.	46
Figura 19: Modelo escolhido: NakedAckermannSteeringCar.	46
Figura 20: Configuração dos freios utilizada durante as simulações.	48
Figura 21: Propriedades físicas do material das rodas no motor gráfico Newton.	50
Figura 22: Declaração de variáveis - pt.1.	51
Figura 23: Início da execução do programa.	52
Figura 24: Declaração de variáveis - pt.2.	53
Figura 25: Criando a coleção "Carro".	53
Figura 26: Criando um módulo de cálculo "Distance".	54
Figura 27: Partida suave do veículo.	55
Figura 28: Condição para o acionamento do freio.	55
Figura 29: Condição para o acesso do Método 1.	56
Figura 30: Condição para o acesso do Método 2.	57
Figura 31: Condição para o acesso do Método 3.	57

Figura 32: Condição para o acesso do Método 4.	58
Figura 33: Condição para o acesso do Método 5.	58
Figura 34: Fim da rotina da simulação.	59
Figura 35: Inicialização da simulação.	60
Figura 36: Ferramenta Tracer.	61
Figura 37: Gráfico da Distância de parada coletada durante as simulações.	62
Figura 38: Frenagem do veículo com o sistema ABS no gelo.	63
Figura 39: Instabilidade do veículo durante a frenagem sem ABS no gelo.	63
Figura 40: Obtenção dos valores do tempo e distância de parada.	64
Figura 41: Valores desprezado da distância.	64
Figura 42: Valor abrupto da distância e tempo de parada do método 1 no gelo.	65
Figura 43: Gráfico dos valores de tempo de parada obtidos durante a simulação.	66

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Componentes principais do sistema de freio ABS.	26
Tabela 2: Característica do veículo utilizado para simulação.	47
Tabela 3: Configuração dos freios utilizados durante as simulações.	48
Tabela 4: Coeficientes de atrito utilizados na simulação.	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	<i>Anti-lock Braking System</i>
TCS	<i>Traction Control System</i>
ESC	<i>Electronic stability Control</i>
ESP	<i>Electronic Stability Program</i>
CONTRAN	<i>Conselho Nacional de Trânsito</i>
a.C	<i>Antes do nascimento de Jesus Cristo</i>
EBD	<i>Electronic brakeforce distribution</i>
BAS	<i>Brake Assist System</i>
HSA	<i>Hill Holder Assist</i>
BMW	<i>Bayerische Motoren Werke</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ODE	<i>Open Dynamics Engine</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
obj.	<i>Arquivo com malhas poligonais</i>
B-47	<i>Boeing B-47 Stratojet</i>
DS-19	<i>Veículo Citroën DS</i>
m/s	<i>Metros por segundo</i>
km/h	<i>Quilômetros por hora</i>
rad/s	<i>Radianos por segundo</i>
On	<i>Ligado</i>
Off	<i>Desligado</i>
Setpoint	<i>Ponto de ajuste</i>
N	<i>Newton (Força)</i>
PID	<i>Controle Proporcional-Integrativo-Derivativo.</i>
U1	<i>Ação de controle positiva.</i>
U2	<i>Ação de controle negativa.</i>
2WD	<i>Tração em duas rodas.</i>
4WD	<i>Tração nas quatro rodas.</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

Δd	<i>Variação no deslocamento</i>
Δt	<i>Variação no tempo.</i>
$v(t)$	<i>Velocidade</i>
Z, z	<i>Componentes do eixo z</i>
Y, y	<i>Componentes do eixo y</i>
X, x	<i>Componentes do eixo x</i>
T	<i>Indicador de matriz de transformação</i>
Φ	<i>Vetor dos ângulos de Euler</i>
ϕ	<i>Ângulo de Rolamento</i>
θ	<i>Angulo de Anfagem</i>
ψ	<i>Ângulo de Guinada</i>
ω	<i>Velocidade angular absoluta</i>
p	<i>Taxa de variação do ângulo de rolamento</i>
q	<i>Taxa de variação do ângulo de arfagem</i>
r	<i>Taxa de variação do ângulo de guinada</i>
V	<i>Veículo Linear Absoluta</i>
u	<i>Velocidade ao longo do eixo x</i>
w	<i>Velocidade ao longo do eixo z</i>
v	<i>Velocidade ao longo do eixo y</i>
VG	<i>Vetor Global</i>
VL	<i>Vetor Local</i>
V_{linear}	<i>Velocidade Linear total</i>
$W_{angular}$	<i>Velocidade Angular total</i>
F	<i>Força</i>
m	<i>Massa</i>
a	<i>Aceleração</i>
N	<i>Newton (Força Normal)</i>
F_{at}	<i>Força de Atrito</i>

μ	<i>Coeficiente de Atrito</i>
e	<i>Escorregamento</i>
v_t	<i>Velocidade tangencial da roda</i>
v_h	<i>Velocidade do veículo</i>
S_r	<i>Comprimento de arco do pneu</i>
S_t	<i>Distância percorrida pelo veículo</i>
V_f	<i>Velocidade Final</i>
V_i	<i>Velocidade Inicial</i>
ΔS	<i>Distância de parada do veículo</i>
P	<i>Peso do veículo</i>
g	<i>Gravidade</i>
T_p	<i>Tempo de parada</i>
T_{pf}	<i>Tempo de pré-frenagem</i>
T_{fr}	<i>Tempo de Frenagem</i>
T_{rea}	<i>Tempo de Reação</i>
T_{tra}	<i>Tempo de Transferência</i>
T_{res}	<i>Tempo de resposta do pedal de freio</i>
T_{pre}	<i>Tempo de pressurização</i>
T_f	<i>Tempo de Frenagem</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivo	18
1.2 Objetivos Específicos	18
1.3 Estrutura do trabalho	19
2. REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1 Sistema de freios	20
2.2 História dos freios	20
2.3 Evolução dos sistemas de freios	21
2.4 Tipos de freios	22
2.4.1 Freio a tambor	22
2.4.2 Freio a disco	23
2.5 Sistema de freios ABS	24
2.6 Evolução do ABS	24
2.7 Componentes do sistema ABS	26
2.8 Funcionamento do sistema ABS	27
2.9 Dinâmica Veicular	27
2.10 Forças de Atrito	31
2.11 Aderência	32
2.12 Distância de frenagem	34
2.13 Tempo de parada	36
2.13.1 Tempo de Pré-frenagem	37
2.13.2 Tempo de frenagem	38
2.14 Controle Liga-Desliga (On-Off)	38
3. MATERIAIS	40
3.1 Simulador de robótica: CoppeliaSim	40

3.2 TinkerCAD	42
4. METODOLOGIA.....	44
4.1 Desenvolvimento do Modelo no CoppeliaSim.....	45
4.2 Desenvolvimento da Configuração dos Freios.....	47
4.3 Desenvolvimento do ambiente de simulação.....	49
5. RESULTADOS OBTIDOS	60
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
6.1 Conclusão	67
6.2 Trabalhos futuros	68
7. REFERÊNCIAS:.....	69
APÊNDICE A - PROGRAMAÇÃO EM LUA NO COPPELIASIM.	72
APÊNDICE B - GRÁFICOS GERADOS PELO COPPELIASIM.	75
APÊNDICE C - DADOS COLETADOS DURANTE A SIMULAÇÃO.....	77

1. INTRODUÇÃO

A invenção da roda é uma das descobertas mais importantes para a humanidade, com o início da sua criação, tinha por objetivo, realizar transportes com maior facilidade, desde mercadorias de consumo a armamentos bélicos. Viu-se a necessidade em desenvolver um mecanismo que atuasse durante o movimento da roda, e assim foi criado o sistema de freio, com a finalidade de reduzir ou manter a velocidade do veículo.

Durante o processo de frenagem do veículo, inúmeras forças são aplicadas no sistema veicular, como as forças atuando nas suspensões do veículo, coeficiente de atrito do pneu com o asfalto, e dentre outras; por essa razão, isso impacta na dirigibilidade do veículo, e sendo crucial, na distância e no tempo de parada.

A tecnologia automotiva evoluiu ao passar dos anos, os sistemas de freios eram puramente mecânicos, ou seja, eram dispositivos mecânicos que faziam o travamento das rodas, e dependendo da velocidade do veículo, ele ainda continuava em movimento. Devido a esse fenômeno, houve muitos acidentes ao longo dos anos, pois durante a frenagem o veículo fica instável. Com isso, engenheiros viram a necessidade de projetar dispositivos eletrônicos que atuassem no sistema de freio a fim de melhorar a segurança dos veículos durante a frenagem, assim, construindo vários tipos de freios para que houvesse uma melhora significativa na distância de parada do veículo.

O estudo da dinâmica veicular é importante para a criação desses dispositivos, como os sistema de controle de tração, conhecido como TCS, do inglês, *Traction Control System*, onde o dispositivo eletrônico monitora se as rodas do veículo estão girando em falso durante o início de movimento, e tudo isso, têm um papel fundamental para a segurança do motorista e seus passageiros.

Um dos dispositivos que compõem dentre vários dispositivos eletrônicos, é o sistema de antitravamento das rodas ou ABS, do inglês *Anti-lock Braking System*, que tem a finalidade de detectar o travamento das rodas durante a frenagem, e assim realizando o controle para que as rodas não bloqueiem durante este processo, deste modo conseguindo obter a estabilidade do veículo durante a frenagem e diminuindo o desgaste dos pneus.

De acordo com Prieto (2014) essa tecnologia teve tanta importância que o conselho nacional de trânsito (CONTRAN) através de uma implementação de uma resolução nº380 de 28 de abril de 2011, tornou o uso obrigatório do sistema ABS em todos os veículos construídos depois de 1º de janeiro de 2014.

Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho é realizar o estudo no sistema de frenagem veicular, com destaque no sistema de freio ABS, e em seguida implementar no ambiente virtual de simulação, e avaliando se o sistema ABS funciona tanto na teoria quanto no simulador.

As simulações virtuais são de grande importância para o desenvolvimento de qualquer dispositivo eletrônico, onde pode-se verificar que as vantagens de utilizar os simuladores, é desenvolver uma simulação antes mesmo de construir um protótipo físico. Com o estudo deste trabalho é possível fazer um comparativo entre a teoria e a simulação.

1.1 Objetivo

Realizar o estudo do sistema de freios veicular, com relevância no sistema ABS, fazendo uma simulação de um veículo genérico em um software de estudo robótico, a fim de obter a estabilidade do veículo durante a frenagem, e adquirir a distância e o tempo da parada do veículo para cinco cenários de configurações de freios, e sob quatro condições de tipos de terreno, para desta maneira, comparar os resultados obtidos pelos resultados calculados.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar a revisão bibliográfica sobre o sistema de frenagem veicular.
- Desenvolver cenários a fim de realizar uma simulação virtual em um sistema de frenagem com e sem ABS, para um veículo genérico.
- Desenvolver uma programação em Lua na ferramenta computacional CoppeliaSim (2020), para o sistema de frenagem veicular.

1.3 Estrutura do trabalho

Este Trabalho se divide em capítulos, onde o segundo capítulo é apresentado a revisão da literatura sobre os conceitos sobre freios, dinâmica veicular, força de atrito e controle. No terceiro capítulo são apresentados os materiais utilizados para a realização deste trabalho. No quarto capítulo, é evidenciado como foi desenvolvido este trabalho, através da metodologia. No quinto capítulo, serão exibidos os resultados obtidos. Por fim, o sexto capítulo apresentará as considerações finais com a conclusão e proposta para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Sistema de freios

De acordo com Prieto (2014), para a realização do movimento do veículo, ele precisa possuir um certo tipo de energia, no caso de um veículo elétrico, o motor necessita de energia elétrica para que se transforme em movimento para as rodas, assim gerando o movimento cinético. Do mesmo modo, ocorre esse mesmo princípio de conversão no sistema de freios, transformando energia cinética em outro tipo de energia, denominado de calor, ou seja, o sistema de freio retira a energia cinética das rodas e faz a geração de calor, devido ao contato de atrito entre as rodas e o material de atrito do freio. Assim, o intuito do freio não é parar o veículo e sim, diminuir a rotação das rodas até que elas estejam estáticas. Por isso, um sistema de freios para estar em um bom estado precisa estar sempre em manutenção.

2.2 História dos freios

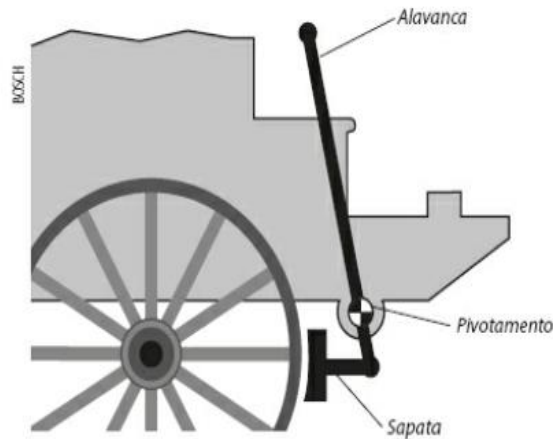
Como afirma Prieto (2014), a roda teve sua descoberta na civilização suméria em 3.000 a.C, mas há indícios também entre os mesopotâmicos, assírios, egípcios, hicsos, romanos, entre outros. A importância dessa tecnologia foi desenvolvida e aprimorada a cada ano que se passava.

Segundo ainda Prieto (2014), a utilização da roda em veículos trouxe muitas vantagens, mas também ocasionou muitos problemas. Devido a um empecilho nesta aplicação, durante o movimento do veículo, o comandante da carruagem tinha que dar a ordem ao animal para que o veículo parasse, e correndo risco do animal não obedecer a ordem, ocasionando em um acidente. Desde então viu-se a necessidade de criar um mecanismo que pudesse parar o veículo, de acordo com Prieto:

Os primeiros sistemas de freio eram constituídos por uma alavanca com pivotamento, que, ao ter uma de suas extremidades puxadas, fazia a outra, que possuía uma sapata, entrar em contato com a roda, proporcionando o controle da velocidade. (2014, p.30)

Assim, deu início a criação de um sistema de freios que pudesse reduzir ou manter a velocidade do veículo, como mostra a Figura (1):

Figura 1 - Sistema de freio por alavanca.



Fonte: PRIETO (2014).

2.3 Evolução dos sistemas de freios

Os primeiros sistemas de frenagem foram desenvolvidos em veículos a tração com animais, em meados de 1900 a 1902. De acordo com Prieto (2014), surgiram os primeiros sistemas de freios hidráulicos, desenvolvido e construído por Louis Renault, um conceito de freios a tambor que foi implementado no veículo May-back em 1901. Já entre 1950 e 1960 surgiram os primeiros freios a disco para ser utilizado em veículos automotivos, tendo melhor eficiência térmica em relação ao freio a tambor. Foi em 1950 que o primeiro veículo Citroën DS-19 recebeu essa tecnologia.

Segundo Coutinho (2017) foi em 1970 a 1990, que houve uma evolução nos sistemas de freios, quando houve um salto tecnológico com o início da eletrônica, foi onde nasceu a tecnologia de freios ABS e dentre outras tecnologias como EBD (*Electronic brakeforce distribution*), BAS (*Brake Assist System*) e HSA (*Hill Holder Assist*).

2.4 Tipos de freios

O princípio de funcionamento de todos os sistemas de freios, tem por objetivo de realizar uma força oposta a roda, com a finalidade de parar a rotação das rodas do veículo. Na indústria automotiva com o avanço tecnológico, o sistema eletrônico ABS, é muito utilizado principalmente em freios hidráulicos, os dois tipos de freios mais comuns são os freios a tambor e o freio a disco.

2.4.1 Freio a tambor

De acordo com Coutinho (2017), o freio a tambor, é constituído por um par de sapatas e espelho, que são os elementos fixos do sistema, e os cilindro de freio e tambor que são fixos à roda, e fazem parte do elemento girante. Na Figura (2) está representado um sistema de freio a tambor mais comum.

Figura 2 - Sistema de freio a tambor.



Fonte: PRÓPRIA.

Segundo Coutinho (2017), o freio a tambor tem fixado à roda, o tambor, e ambos giram no mesmo sentido, dentro do tambor são fixados a sapata ao espelho, ela possui um material especial com atrito, que ao acionar o cilindro de freio, a sapata empurra esse material contra o tambor, assim reduzindo a rotação da roda. Esse tipo

de freios possui a vantagem em relação ao freio a disco, a simplicidade da montagem, ser de baixo custo e tem uma área maior, porém a força não é bem distribuída, pois é aplicada sobre a parte superior do mecanismo. Por isso o desgaste da sapata é diferente. Uma desvantagem é o grande acúmulo de sujeira dentro do tambor, tendo perda de eficiência e desempenho durante a frenagem, além de dificuldade na manutenção do sistema.

2.4.2 Freio a disco

O freio a disco é um sistema bem complexo em comparação ao anterior, segundo Coutinho (2017), esse sistema se compõe basicamente por um disco de freio, pinças e pastilhas de freios, como mostrado na Figura (3). As pastilhas ficam alocadas dentro das pinças, quando o sistema hidráulico é acionado, a pressão faz com que as pinças empurrem as partículas em torno do disco de freio, assim, reduzindo a velocidade do veículo.

Figura 3 - Sistema de freio a disco.



Fonte: PRÓPRIA.

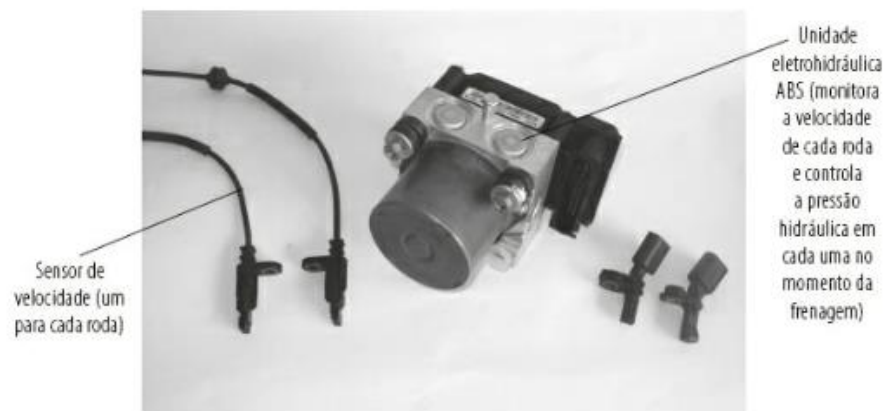
Durante a frenagem do veículo, por consequência de gerar calor por acúmulo de energia de atrito, o sistema de freios a disco, tem a facilidade de dissipação de calor, devida ao fato da rotação da roda, com força centrífuga, assim, eliminando também o acúmulo de sujeiras, afirma Coutinho (2017). Em comparação ao sistema

de freio a tambor, o freio a disco possui a vantagem de fácil acesso aos componentes do sistema.

2.5 Sistema de freios ABS

Com o avanço da tecnologia nos sistemas de frenagem, de acordo com Prieto (2014), foi implementado no sistema de freios um módulo eletrônico que monitora as velocidades das rodas a fim de controlar a pressão hidráulica durante o momento da frenagem, assim evitando o desgaste do pneu, travamento constante das rodas, diminuição da distância de parada e estabilidade do veículo. Esse sistema é conhecido como sistema antibloqueio dos freios (ABS - *Anti-lock Braking System*). Na Figura (4), pode ser visto esse dispositivo juntamente com os sensores de velocidade.

Figura 4 - Componentes do Sistema ABS.



Fonte: PRIETO (2014).

2.6 Evolução do ABS

Em torno de 1908, Moore (2014) afirma que na Inglaterra foi desenvolvido um mecanismo que se assemelha ao sistema ABS, mas para trens. Somente em 1928, foi registrada a patente do dispositivo de regulação de força de frenagem de

automóveis por um engenheiro alemão chamado Karl Wesse, mas nunca foi divulgado o tal dispositivo.

Ainda segundo Moore (2014), em 1947 os aviões bombardeiros B-47 recebem o dispositivo ABS, sendo resolvido um problema que havia na época que durante a frenagem de aeronaves, devido ao escorregamento, algumas vezes, os pneus explodiram.

Conforme Panaro (2018), em 1950 iniciou-se o desenvolvimento do ABS para motocicletas, na época viu-se a necessidade de utilizar devido à alta taxa de acidentes que aconteciam na época por escorregamento. Somente em 1958 a *Road Research Laboratory* realizou testes para aplicação do sistema. Anos se passaram e viram que o sistema ainda não estava pronto, pois ainda faltava tecnologia que pudesse detectar a velocidade das rodas, e a partir disso, conseguir fazer o controle de velocidade das rodas. Em 1953, o engenheiro alemão Hans Scherenberg, que foi na época o chefe da Mercedes-Benz, registra uma patente de um dispositivo que impedia o travamento das rodas do veículo em condições extremas. Na década de 1960 é introduzido no mercado os semicondutores eletrônicos e circuitos integrados, e com isso, foram desenvolvidos os estudos que faltavam para terminar o ABS.

Em 1966, Moore (2014) diz que devido à evolução dos sensores de indução, as empresas Mercedes-Benz e Teldix formaram uma parceria para desenvolver o primeiro sistema ABS para veículos totalmente funcional. Em 12 de Dezembro de 1970 estreia o primeiro dispositivo com sistema ABS, chamado de ABS1 no Mercedes-Benz Classe S em uma pista de teste na Alemanha. Após o sucesso do dispositivo, a empresa alemã Bosch compra a Teldix, assim sendo se inicia a parceria com a Mercedes-Benz, tendo um grande avanço na tecnologia digital e componentes eletrônicos. Somente em 1978 as empresas lançam o ABS2 com a vantagem de ter menos peso e possuir atuadores eletrônicos capazes de trabalhar em milissegundos.

Anos se passaram e o progresso do ABS era positivo, devido aos novos componentes eletrônicos, houve redução de componentes eletrônicos no sistema ABS, assim o desenvolvimento do dispositivo perdeu peso ano após ano, tornando o sistema menos complexo. Apenas em 1985, Panaro (2018) afirma que a Mercedes-Benz, BMW e Audi adotam o sistema ABS da Bosch como padrão para seus carros esportivos e de luxo. Em seguida, em 1995, foi desenvolvido a integração do sistema

de controle de estabilidade juntamente com o ABS, tornando o sistema melhor aos seus antecessores e chegando a pesar menos de 500 gramas.

Segundo Contran (2011) e Prieto (2014) diz que somente em 2011, o Contran tornou obrigatório em todo território brasileiro o uso do sistema ABS em veículos nacionais e importados a partir de 1º de janeiro de 2014.

2.7 Componentes do sistema ABS

O sistema ABS tem basicamente três elementos principais: sensores de velocidade, o modulador hidráulico e a unidade de controle do sistema de frenagem.

Esse sistema pode se tornar complexo à medida que necessite de precisão na aplicação do ABS, por isso, para cada fabricante existem variações desse sistema. De acordo com Prieto (2014) a Tabela (1), representa os três componentes principais do sistema ABS e sua respectiva função:

Tabela 1 - Componentes principais do sistema de freio ABS.

Componentes	Função
Sensores de velocidade	Obtém a velocidade do veículo e da rotação da roda e transmite para o módulo de controle.
Unidade de Controle	Unidade principal do sistema, onde tem o objetivo de captar o sinal de velocidade, assim realizando cálculos de controle e enviando a ordem para o modulador hidráulico.
Modulador hidráulico	Controla a pressão do fluido do freio, de acordo com os cálculos realizados na unidade de controle.

Fonte: ADAPTADO DE PRIETO, 2014.

2.8 Funcionamento do sistema ABS

Como apresenta Ferreira (2014), o sistema ABS se inicia pela detecção dos sensores de velocidade das rodas durante a frenagem do veículo, com essas informações, a unidade de controle, onde é comparada com o valor de velocidade do veículo, assim podendo realizar o controle do freio a partir dos cálculos realizado na unidade de controle, aumentando, mantendo e diminuindo a pressão sobre os freios.

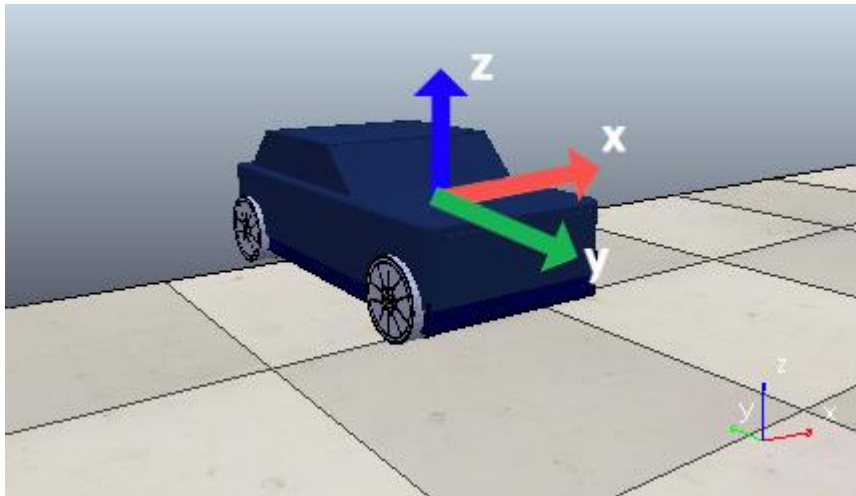
Para Ferreira (2014), o intuito do ABS é que o motorista tenha a possibilidade de ter o controle do veículo durante a frenagem, tendo a máxima taxa de frenagem sem que as rodas travem. As configurações do ABS variam entre os tipos de veículo, podendo ter o sistema completo para todas as rodas ou apenas em duas rodas; a efetividade do ABS varia para cada tipo de terreno onde se encontra o veículo, podendo obter valores diferentes para cada situação.

2.9 Dinâmica Veicular

Na física, existem vários tipos de força atuando em um corpo ou objeto, mantendo ou alterando o seu estado de movimento, assim todas elas são existentes na natureza são representadas como uma força vetorial, elas possuem, módulo, ou intensidade, representado por valor numérico, sentido e direção.

Como Macedo (2016) afirma, que a *International Organization for Standardization*, conhecida com a sigla ISO, no português Organização Internacional de Normalização, é uma organização que desenvolve normas para que todos os países possam utilizar, dentro da norma ISO 8855, como mostra a Figura (5), existem dois tipos de coordenadas, as globais e locais, onde a coordenada global é referente ao mundo onde habita o objeto ou corpo, tendo três componentes de vetores X, Y e Z, já as locais são o sistema de coordenadas localizado no centro de massa do objeto.

Figura 5 - Sistema de coordenada local e global.



Fonte: PRÓPRIA.

Segundo a ISO 8855 (2011), afirma que a dinâmica dos veículos através do eixo de coordenadas, pode-se obter posição e orientação do objeto de estudo. As equações (1) e (2) mostram os vetores de posição do veículo sobre o sistema de coordenada global e local, respectivamente:

$$VG = (X, Y, Z)^T (1)$$

$$VL = (x, y, z)^T (2)$$

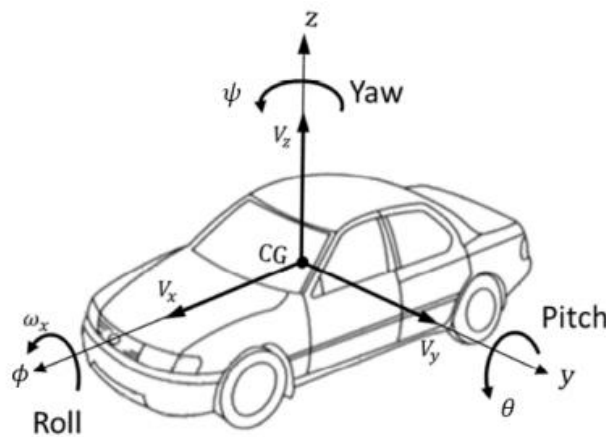
De acordo com Halliday e Resnick (2009), o corpo ou objeto inicialmente parado, com a mudança de posição deste objeto, podem ser criadas componentes de vetores a partir das componentes principais, e cada desses componentes varia de acordo com o movimento que é realizado. A definição de velocidade de um objeto, é quando ele deixa de ser estático e se torna dinâmico, de acordo com a equação (3), a velocidade dada em m/s é calculada à medida que o corpo se desloca em uma distância d em metros, variando ao longo de um tempo t segundos.

$$v(t) = \frac{\Delta d}{\Delta t} (3)$$

Pode ser visto na Figura (6), o estudo realizado por Kissai et al. (2019) afirmam que as coordenadas locais de um sistema veicular, quando o veículo se torna cinético, é criado três componentes nos eixos de coordenadas locais do veículo, onde essas componentes são rotações em seus respectivos eixos, que são chamados de ângulos de Euler, através deles é obtido a orientação do veículo. Onde a:

- Rotação no eixo x: ϕ é o Ângulo de rolamento (*Roll*).
- Rotação no eixo y: θ é o Ângulo de Arfagem (*Pitch*).
- Rotação no eixo z: ψ é o Ângulo de Guinada (*Yaw*).

Figura 6 - Coordenadas do veículo de acordo com a norma ISO 8855 (2011).



Fonte: KISSAI et al. (2019).

Neste trabalho é considerado cinco coordenadas locais, localizado no centro de massa do veículo e os outros estão localizados em cada uma das rodas. A equação (4) segundo Vargas e Paglione (2015), representa o vetor dos ângulos de Euler, onde representa a orientação do veículo ou das rodas.

$$\Phi = (\phi, \theta, \psi)^T \quad (4)$$

Para se obter a velocidade angular do veículo e das rodas, a equação (4), torna-se variável no tempo. De acordo com Vargas e Paglione (2015) é obtido a taxa de variação no tempo de cada elemento da matriz, onde:

- ω é a velocidade angular absoluta do objeto.
- p é a taxa de variação do ângulo de rolamento.
- q é a taxa de variação do ângulo de arfagem.
- r é a taxa de variação do ângulo de guinada.

$$\omega = (p, q, r)^T (5)$$

Segundo ainda Vargas e Paglione (2015), acontece da mesma forma para a velocidade linear, o vetor velocidade que pode ser visto na equação (6), cada elemento do vetor se torna variável no tempo, onde:

- u é a velocidade no eixo x,
- v é a velocidade no eixo y.
- w velocidade ao longo do eixo z
- V é a velocidade linear absoluta do objeto.

$$V = (u, v, w)^T (6)$$

A velocidade total do objeto, como afirma Vargas e Paglione (2015) é obtido do vetor resultante, isto é, realizando a raiz quadrada dos elementos do vetor de velocidade da equação (5) e (6), respectivamente, é obtida a velocidade resultante angular em rad/s e linear em m/s.

$$V_{linear} = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} (7)$$

$$W_{angular} = \sqrt{p^2 + q^2 + r^2} (8)$$

Tendo a equação da velocidade angular, que pode ser observada na equação (8), é possível obter a velocidade linear das rodas em m/s multiplicado pelo raio da roda, demonstrada pela equação (9).

$$v = r \times \omega_{angular} \quad (9)$$

2.10 Forças de Atrito

De acordo com Halliday e Resnick (2009) todo objeto que esteja em movimento se obtém de energia cinética, de acordo com a segunda lei de Newton, a força total aplicada sobre o veículo, é a relação da massa do veículo com sua aceleração; como mostra a equação (10):

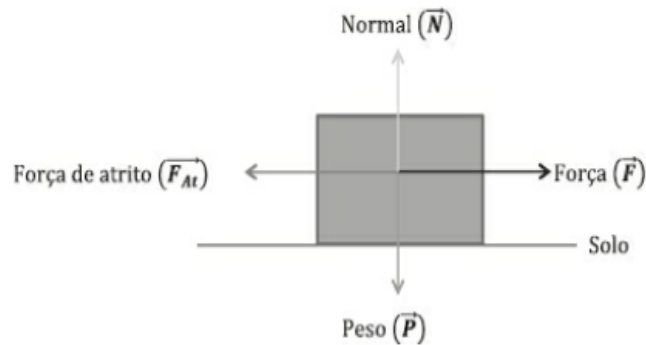
$$F = m \times a \quad (10)$$

A força de atrito para Prieto (2014) e Halliday e Resnick (2009) é uma força contrária ao movimento relativo entre superfícies em contato, ou seja, em um exemplo de um veículo, a força contrária ao movimento do veículo seria os freios aplicados sobre as rodas. Ela se divide em duas categorias, se o objeto ou corpo em estudo está sendo influenciado por uma força, e o objeto continua em repouso, a força de atrito é chamada de estático, e quando está em movimento é chamada de cinético.

$$F_{at} = \mu \times N \quad (11)$$

Como pode ser visto na equação (11), a força de atrito é dada em Newton é a multiplicação da força normal N com o coeficiente de atrito, que consiste em coeficiente estático e cinético.

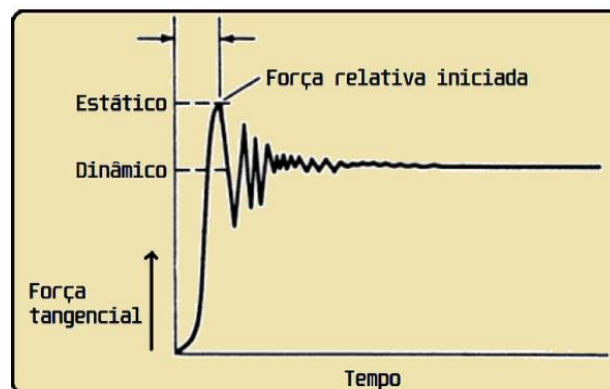
Figura 7 - Representação das forças sobre um objeto.



Fonte: PRIETO (2014).

A força de atrito depende dos valores de forças que estão sendo aplicadas sobre o objeto, que pode ser visto na Figura (7); e o que torna a velocidade constante, é a força de atrito ser menor que a força que o tira do estado de repouso, ou seja, necessita de muito mais força no início do que durante o movimento, como mostra o gráfico da Figura (8).

Figura 8 - Gráfico da representação da força de atrito estático e dinâmico.



Fonte: RITTLER (2019).

2.11 Aderência

A aderência é um processo de contato físico entre o pneu e a superfície, por padrão o pneu é de material de borracha, já a superfície varia de acordo com a condição da pista. Conforme Machado, Rosa e Nicolazzi (2012) afirmam que:

“A aderência pode ser atribuída, principalmente, a duas diferentes formas de interação entre a borracha e o piso: adesão molecular, que depende dos materiais em contato, e deformação da borracha em contato com as irregularidades do solo, que propicia uma interpenetração entre ambas, ou endentamento da borracha com o piso, e uma consequente transmissão por forma.” (2012, p.15)

De acordo com Machado, Rosa e Nicolazzi (2012), no processo de aceleração e frenagem do veículo, em ambos ocorre o movimento relativo entre pneu e superfície. Dessa maneira, a velocidade rotativa das rodas é superior a velocidade do veículo quando o veículo está em movimento, na frenagem as rodas possuem velocidade menor em relação ao veículo. Esse fator de diferença de velocidade é chamado de escorregamento.

Ainda segundo Machado, Rosa e Nicolazzi (2012), o escorregamento se divide em duas formas durante o movimento do veículo: na tração, como mostra a equação (12), e na frenagem do veículo pela equação (13):

$$e = \frac{vt - vh}{vt} \quad (12)$$

$$e = \frac{vh - vt}{vh} \quad (13)$$

Sendo:

- e é o escorregamento;
- vh é a velocidade do veículo;
- vt é a velocidade tangencial da roda.

Em termos de porcentagem, Machado, Rosa e Nicolazzi (2012) afirma que, é possível calcular o escorregamento de tração tendo o comprimento de arco do pneu e distância percorrida pelo veículo, dada pela equação (14):

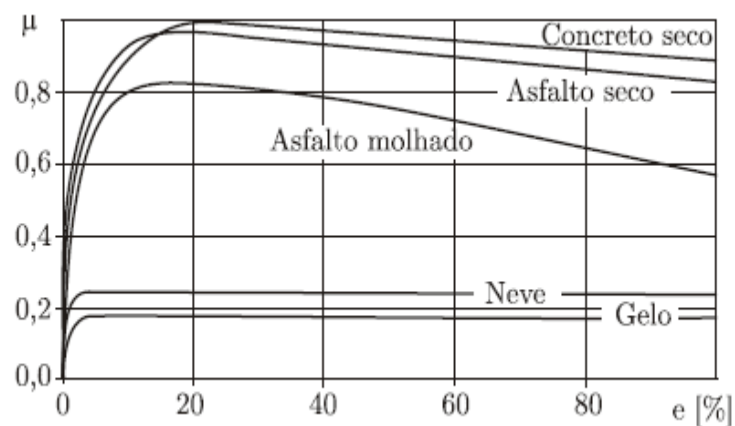
$$e = \left(1 - \frac{Sr}{St}\right) \times 100 \quad (14)$$

Sendo:

- S_r é o Comprimento de arco do pneu;
- S_t é a Distância percorrida pelo veículo

É ilustrado na Figura (9), o gráfico do comportamento característico dos coeficientes de atritos do pneu em contato com o solo em relação a porcentagem do escorregamento. Conforme Machado, Rosa e Nicolazzi (2012), pode-se observar que o valor máximo do coeficiente de atrito varia entre 10% e 20%, e este valor máximo é chamado de coeficiente de aderência.

Figura 9 - Gráfico do comportamento do coeficiente de atrito para cada tipo de terreno.



Fonte: MACHADO, ROSA, NICOLAZZI (2012).

2.12 Distância de frenagem

A distância da parada do veículo de acordo com Prieto (2014), é definida pela equação de Torricelli, onde a velocidade inicial é a velocidade a partir de onde o veículo começou o processo de frenagem, é definida pela equação:

$$V_f^2 = V_i^2 + 2 \times a \times \Delta S \quad (15)$$

Onde:

- V_f é a velocidade final.
- V_i é a velocidade inicial.
- a é a aceleração do veículo.
- ΔS é a distância de parada do veículo.

Realizando o trabalho algébrico, isolando o ΔS , temos a equação (16):

$$\Delta S = \frac{V_f^2 - V_i^2}{2 \times a} \quad (16)$$

Como no processo de frenagem ocorre desaceleração do veículo, essa aceleração torna-se negativa, assim como também, a velocidade final é zero, realizando essas substituições, obtemos equação (17):

$$\Delta S = \frac{V_i^2}{2 \times a} \quad (17)$$

Para que se tenha a aceleração do veículo, tendo a equação de força de atrito como já apresentada pela equação (11), a força normal N é equivalente a o peso do veículo dado pela variável P , como visto na equação (18):

$$N = P = m \times g \quad (18)$$

Substituído a força normal da equação (18) na equação de força de atrito da equação (11) temos:

$$F_{at} = \mu \times m \times g \quad (19)$$

Conforme afirma Prieto (2014), segunda a lei de newton, a equação (19) da força de atrito e a equação (10) são equivalentes, assim temos a equação (20):

$$m \times a = \mu \times m \times g \quad (20)$$

A partir da equação (20) podemos obter a fórmula da aceleração, e realizando a substituição da equação (20) em (16) temos a equação (21):

$$\Delta S = \frac{Vi^2}{2 \times \mu \times g} \quad (21)$$

Através da equação (21), podemos observar que o coeficiente de atrito é inversamente proporcional, assim para menor valor de coeficiente de atrito maior a distância de parada do veículo, conseqüentemente, para coeficiente de atrito maior menor a distância de parada do veículo.

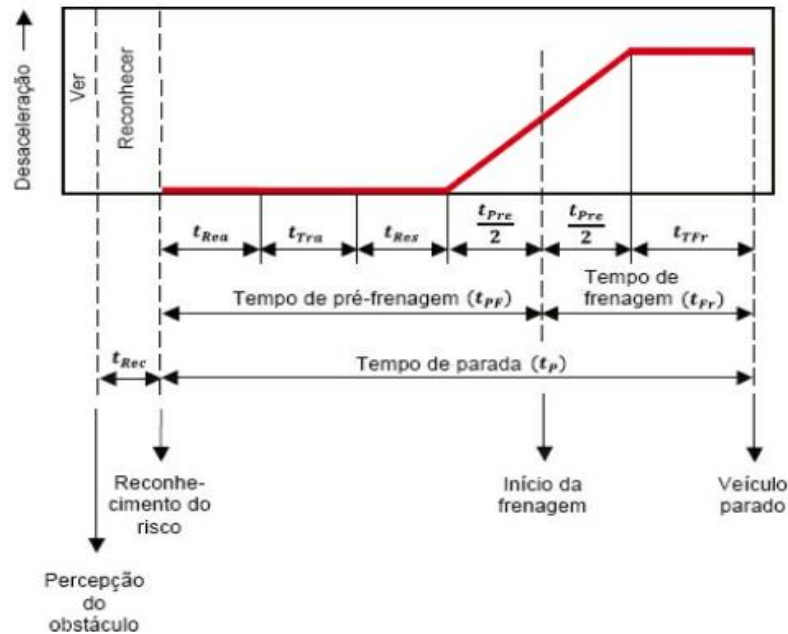
2.13 Tempo de parada

O tempo de duração da frenagem, conforme Prieto (2014), é obtido calculando o tempo de início da frenagem até o momento do veículo esteja em repouso, esse tempo é chamado de tempo de parada Tp , é dada pela soma do tempo de frenagem Tfr e o tempo de pré-frenagem Tpf .

$$Tp = Tpf + Tfr = Tpf + \frac{Vi}{\mu \times g} \quad (22)$$

Como demonstrado pela Figura (10) temos os tempos que são adquiridos durante a desaceleração do veículo.

Figura 10 - Gráfico do Tempo de parada.



Fonte: PRIETO (2014).

2.13.1 Tempo de Pré-frenagem

O tempo de pré-frenagem, segundo Prieto (2014), é adquirido antes do início da frenagem, esse tempo varia entre 0,8 a 1 segundo é dada pela somatória de tempo de riscos.

$$T_{pf} = T_{rea} + T_{tra} + T_{res} + \frac{T_{pre}}{2} \quad (23)$$

Sendo:

- T_{pf} : é o tempo de pré-frenagem.
- T_{rea} : é o tempo de reação do motorista.
- T_{res} : é o tempo de resposta do pedal de freio (início da desaceleração).
- T_{pre} : é o tempo de pressurização (entre o início de desaceleração da frenagem e desaceleração máxima).
- T_{tra} : é o tempo de transferência (é o tempo que o motorista leva para tirar o pé do pedal do acelerador e colocá-lo no do freio).

2.13.2 Tempo de frenagem

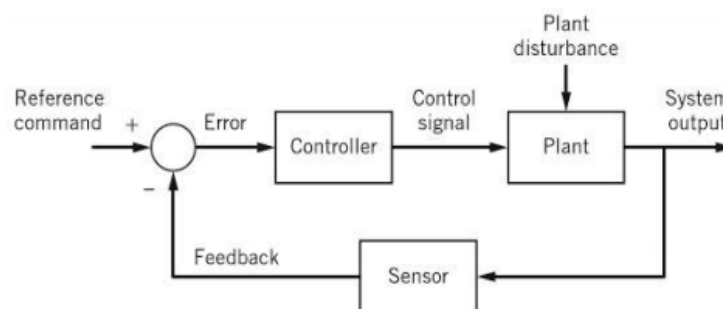
Para esse trabalho, foram desconsideradas o tempo de pré-frenagem, pois não é avaliado o tempo de reação do motorista e outros fatores. Deste modo, foram consideradas que o início da frenagem é exatamente no início da desaceleração do veículo, conforme mostrada na equação (22), desconsiderando o tempo de pré-frenagem, temos apenas o tempo de parada, assim se torna o valor da velocidade inicial durante a frenagem sobre a aceleração do veículo, como pode ser vista pela equação (24):

$$T_f = T_p = \frac{V_i}{\mu \times g} \quad (24)$$

2.14 Controle Liga-Desliga (On-Off)

De acordo com Kluever (2018), o sistema de controle com realimentação, é um método que melhora a característica de sua resposta obtendo os valores de sua saída e introduzindo em sua entrada. Como pode ser visto na Figura (11), os blocos que compõem o sistema são a planta, onde é o elemento físico de estudo que deseja controlar, o sensor que é o elemento que permite a realimentação da informação e reintroduzindo novamente ao sistema, e o controlador, onde é o bloco que fica a lógica de controle, que atua controlando os valores que envia a planta.

Figura 11 - Sistema de controle em malha fechada.

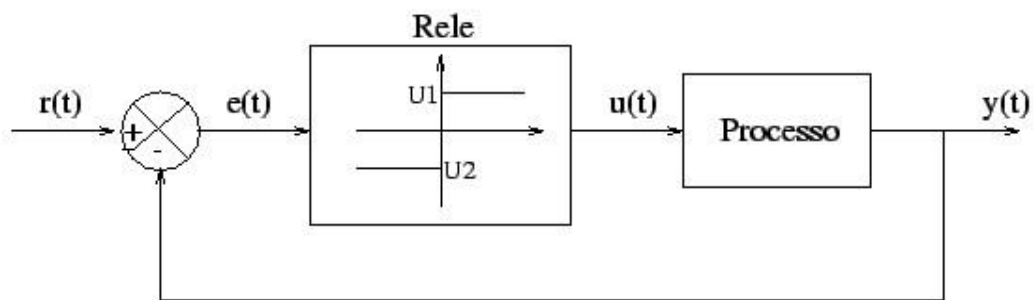


Fonte: KLUEVER (2018).

Normalmente o dispositivo de controle recebe lógica de programação ou cálculos matemáticos, onde pode ser realizado um conjunto de regras estabelecidas para que se obtenha um tipo ideal de resposta, muitas das vezes precisa-se conhecer o tipo da planta para que possa ser aplicado o tipo de controle, pois muitas vezes dependendo do tipo de controle, pode levar o resultado a instabilidade.

Segundo Kluever (2018), o controle On-Off é o tipo de controlador mais simples para estudo em termos de aplicação, o controlador receber o valor do erro, que é a diferença dos valores da entrada do sensor com o *setpoint*. Dentro do bloco Relé, como pode ser visto na Figura (12), verifica-se o valor do erro, e se este valor for maior que zero, o relé libera o valor $U1$, enviando este valor pré-definido a planta, se não, ele envia o valor $U2$, assim realizando como uma ação de chaveamento.

Figura 12 - Controlador On-Off.



Fonte: DA SILVA (2000).

3. MATERIAIS

3.1 Simulador de robótica: CoppeliaSim.

O CoppeliaSim, é um software robótico multiplataforma desenvolvido pela Coppelia Robotics, tendo uma variedade de objetos em sua biblioteca de modelos robóticos, devida a praticidade do software, apenas um único arquivo, pode conter todos os elementos do projeto da simulação.

A característica do ambiente do programa é baseada em quatro motores gráficos como é visto na Figura (13), *Bullet*, *Open Dynamics Engine (ODE)*, *Vortex Studio* e *Newton Dynamics*, assim cada um desses mecanismos possui suas propriedades de simulação.

Figura 13 - Motores gráficos presentes no CoppeliaSim.



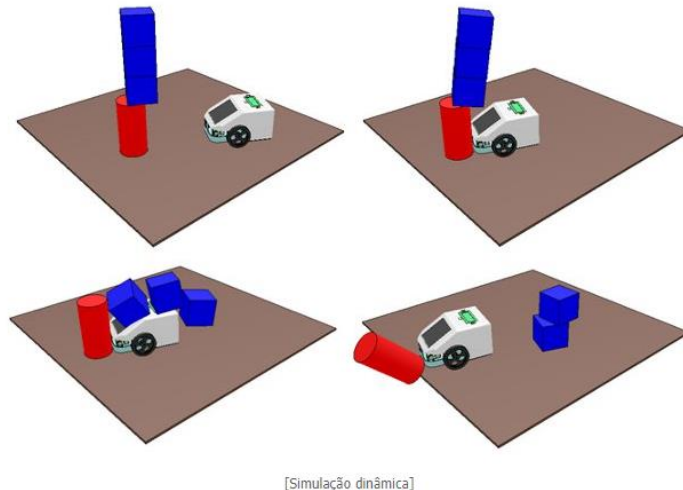
Fonte: COPPELIASIM (2020).

Os ambientes de simulação, são chamadas de cenas, e os objetos contidos dentro delas pode ser importado e exportado do projeto, assim possuindo uma variedade de opções de simulação, para garantir o resultado esperado.

A dinâmica do ambiente de simulação possibilita interações entre os objetos, permitindo que eles se colidam ou se repelem, devido a vantagem de ser um simulador

que combina cinemática e dinâmica, como no exemplo mostrado na Figura (14), objetos estão em colisão com um veículo.

Figura 14 - Simulação da Dinâmica.

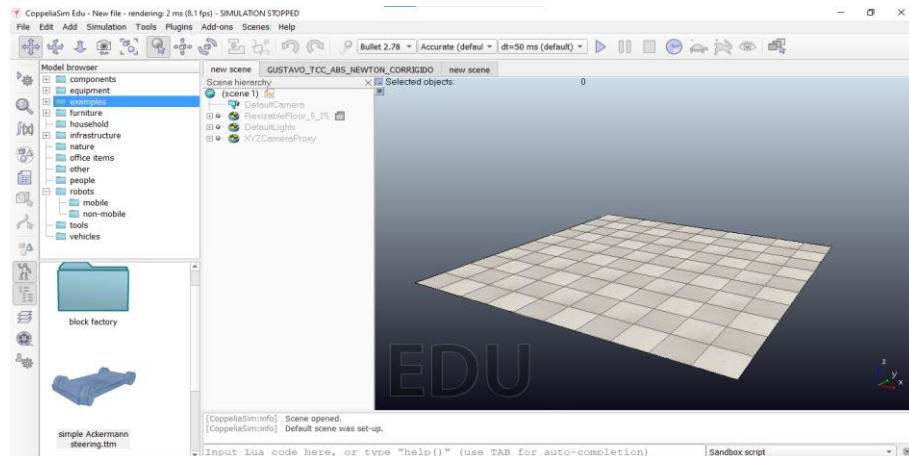


Fonte: COPPELIASIM (2020).

Em conformidade com Coutinho (2020), a linguagem de programação é uma linguagem processada pelo computador que segue um conjunto de instruções definidas pelo usuário. Durante a simulação, o software possui duas principais abordagens de script, os Main Script, que é o script principal, onde carrega todas as funções de inicialização da simulação da cena, sem ela não há simulação, e os Child Script, ou Script filhos, são scripts embutidos dentro do objeto para a simulação. A programação pode ser realizada utilizando as linguagens, C, C ++, Python, Java, MATLAB e LUA.

A Figura (15) mostra a tela inicial de criação de uma cena no software, podendo escolher dentre vários modelos prontos para uso.

Figura 15 - Ambiente de Simulação CoppeliaSim.

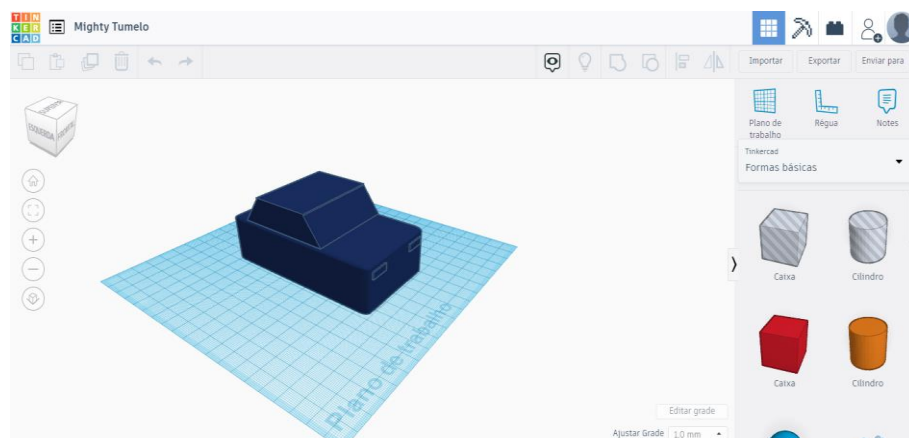


Fonte: PRÓPRIA.

3.2 TinkerCAD

O TinkerCad é um Software com umas de suas ferramentas na utilização na modelagem 3D, distribuída pela Autodesk de forma gratuita, que pode ser executada pelo navegador e é conhecida pela simplicidade de criar objetos em questão de minutos; seu ambiente de desenvolvimento pode ser visto na Figura (16).

Figura 16 - Software de Modelagem 3D – TinkerCad.



Fonte: PRÓPRIA.

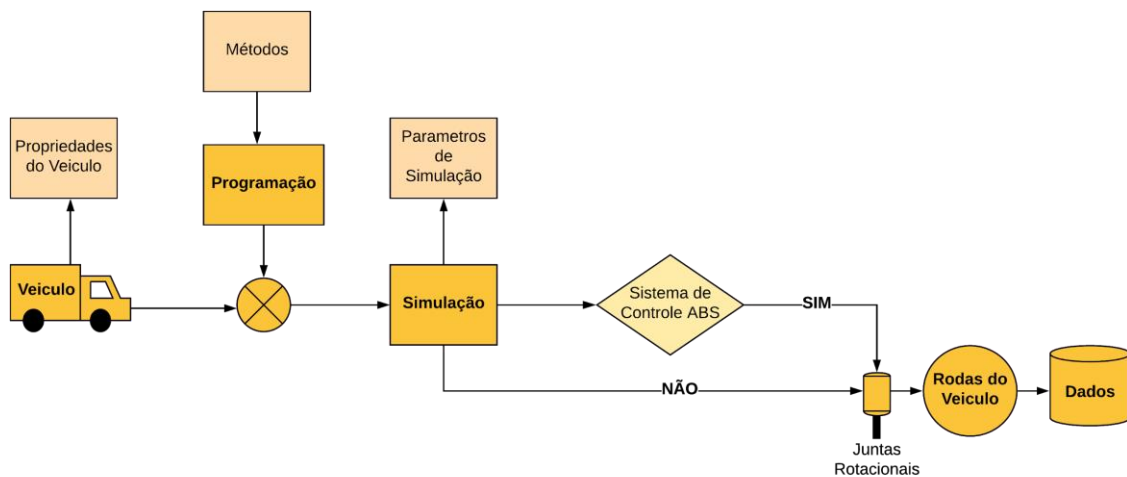
O TinkerCad foi escolhido para esse trabalho, pela vantagem de gerar arquivos de tamanho reduzido, em comparação a outros programas de mesma função, assim podendo gerar arquivos do tipo *obj*.

O objeto criado para este trabalho, foi desenvolvido apenas para deixar agradável a apresentação visual, deixar o objeto de estudo com aspecto de veículo na simulação, este objeto não possui propriedades físicas durante a simulação, ou seja, não possui colisão, peso e nem mudança na altura e largura do veículo, para que não haja alteração nos resultados já obtidos.

4. METODOLOGIA

O Objetivo deste trabalho é criar uma cena para a simulação de um veículo em um longo plano sem inclinação, implementando as cinco diferentes configurações de freios para cada tipo de situação de terreno, assim para cada simulação, são alterados os valores dos coeficientes de atrito dos pneus para fazer os testes de frenagem aplicando os métodos dos freios desenvolvidos, assim investigando qual método é vantajoso.

Figura 17 - Fluxograma apresentando o desenvolvimento do projeto.



Fonte: PRÓPRIA.

O desenvolvimento deste projeto foi baseado na estrutura do fluxograma como apresentado na Figura (17). inicialmente definidos os parâmetros do veículo, como suas características físicas e propriedades, em seguida é feito a programação do método proposto para esse trabalho, definindo as estruturas de repetições e configurações dos métodos dos freios.

Com toda estrutura inicial determinada, é estabelecido os parâmetros da simulação para que se a realize, onde é definido qual tipo de motor gráfico será escolhido, as dimensões da simulação do ambiente e a alteração do coeficiente de atrito das rodas do veículo, assim preparando para inicialização da simulação.

Executando a simulação, com todas as definições escolhidas, a decisão da programação é verificar se os procedimentos escolhidos foram atendidos, verificando se o método escolhido é com ou sem o sistema de freios ABS, assim colocando os valores calculados e aplicando sobre o motor do veículo. Com isso, durante toda a simulação, são armazenados os dados no gráfico e nas variáveis que serão apresentadas no console do software via programação.

O software CoppeliaSim trabalha a simulação em eventos de estado, onde possui três formas de interagir com o usuário, iniciar a simulação, pausar e parar, cada uma delas define o estado da simulação. Quando se inicia a simulação executa o *MainScript*, é o script principal que carrega todos os modelos presentes na simulação. Durante a simulação, pode mudar o estado para pausar, assim podendo haver interação com o objeto em tempo real; quando o estado vai para estático ou parado, a simulação volta para o seu estado inicial, ou seja, todos os objetos voltam para seu estado inicial de origem e as variáveis são mantidas com os valores que obteve na simulação anterior, mas quando se inicia uma nova simulação, recebem valores nulos e fornece novos valores da simulação.

4.1 Desenvolvimento do Modelo no CoppeliaSim

Para este trabalho, foi utilizado a versão educacional gratuita do CoppeliaSim, onde os alunos e professores das universidades podem utilizar sem restrições as funcionalidades do software, com o objetivo de desenvolver seus projetos e estudos sem fins lucrativos.

Como este software se trata de elaborar aplicações robóticas, ele possui uma gama de opções, como criação de junta prismática, rotativa ou esférica, e criar objetos primitivos tridimensionais como cubo, esfera ou cilindro.

O Software possui uma ferramenta de importação de modelos CAD e totalmente funcionais com programações. Além disso, possui uma biblioteca de modelos já existentes como robôs móveis, robôs articulados, esteiras motorizadas e veículos, como mostra na Figura (18).

Figura 18 - Alguns modelos que podem ser utilizados na simulação.



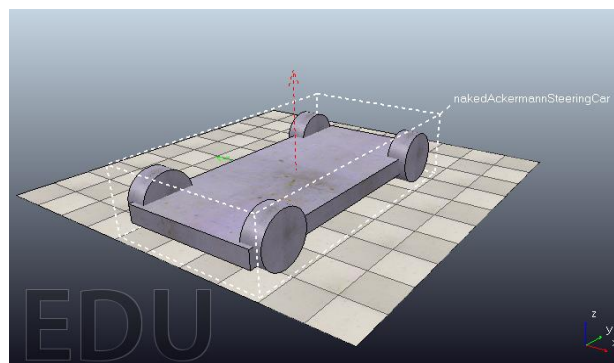
Fonte: PRÓPRIA.

Devido a facilidade de criação de um modelo, pode-se observar que a junta prismática possui parâmetros de uma suspensão veicular e a junta rotativa como motor de um veículo, fazendo a união desse conjunto, pode-se realizar assim uma simulação criando um modelo de um veículo.

Dentre os modelos já existentes, foi escolhido um veículo pronto, dentro da biblioteca *examples*, escolhendo o objeto chamado *NakedAckermannSteeringCar*, este modelo possui todos os parâmetros de um veículo real.

Quando se inicia o programa, por padrão, para todas as novas cenas, vem um terreno que pode ser modificado, alterando seu tamanho para que se adeque o modelo CAD dentro do ambiente, como mostra a Figura (19).

Figura 19 - Modelo Escolhido: *NakedAckermannSteeringCar*.



Fonte: PRÓPRIA.

Algumas Característica geral do veículo foram mantidas, como todas a propriedades de atrito da suspensão e de rotação do motor, a fim de garantir e manter

a propriedade do veículo desenvolvido pelo criador do software. Qualquer alteração do coeficiente da mola do veículo, pode haver alterações no resultado, por isso, foram mantidas todas as configurações das juntas prismática e rotativa. A Tabela (2), mostra uma característica média encontra em carros populares, e a partir desses valores foram utilizadas para o veículo da simulação.

Tabela 2 - Característica do veículo utilizado para simulação.

Característica do Veículo	Unidade
Peso total do veículo	1242 Kg
Raio das rodas	0,317 m
Peso das rodas	10 Kg
Largura do Veículo	1.65 m
Comprimento do Veículo	3,4 m
Altura do Veículo	0,214 m

Fonte: PRÓPRIA.

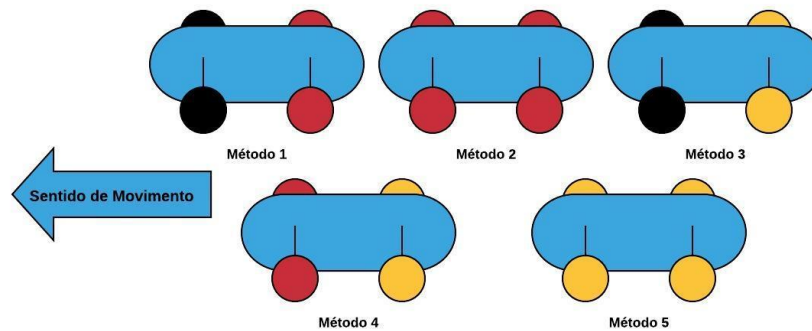
4.2 Desenvolvimento da Configuração dos Freios

Neste Trabalho foi desconsiderado o tipo do freio utilizado na simulação, o veículo não possui mecanismo mecânico que realiza contato com atrito para que reduza o movimento rotacional. Assim, foi implementado um sistema de freio experimental, onde o freio é acionado via programação realizando um torque contrário ao sentido de movimento das rodas, isto significa, que é aplicado um valor sobre as juntas rotativas.

Os veículos possuem dois tipos de atrações, os veículos 2WD, que possuem tração nas duas rodas, tanto nas traseiras quanto na dianteira ou 4WD que possui tração nas quatro rodas. Neste trabalho foram desenvolvidos cinco métodos de configurações de freios, como pode ser visto na Figura (20), onde as rodas dos veículos nas figuras, possui três cores distintas, onde preta significa que não possui freios, vermelha consistem que o veículo possui o sistema de freio; e amarela

expressa que as rodas possuem o sistema de freios ABS, para cada método foi implementado um estilo de tração.

Figura 20 - Configuração dos freios utilizada durante as simulações.



Fonte: PRÓPRIA.

Durante o desenvolvimento não foi possível a implementação de um diferencial no veículo, isto é, que apenas um único motor seja aplicado nas rodas traseiras ou dianteiras, assim cada roda possui uma junta rotacional. Mas na aplicação deste projeto, foi implementado em todas as simulações durante o movimento que o veículo possui tração 2WD nas rodas traseiras.

A aplicação deles é feita via programação e será acionado quando o veículo atingir a velocidade linear de 18 m/s, equivalente a 64,8 km/h. Conforme a Tabela (3), são desenvolvidos métodos de configurações de freios próprios para este trabalho, a fim de realizar uma experiencia em um sistema incomum de frenagem, assim tentar buscar alternativa de um sistema já desenvolvido, e somente os métodos 1 e 2 não contém o sistema de freio ABS.

Tabela 3 - Configurações dos freios utilizado durante as simulações.

Métodos	Configurações dos freios	Tipo de Tração durante a frenagem
Método 1	Acionamento dos freios traseiros, e sem acionamento dos freios nas rodas dianteiras.	2WD - (Traseira).

Método 2	Acionamento dos quatro freios.	4WD.
Método 3	Acionamento dos freios traseiros com ABS, e sem acionamento dos freios dianteiros.	2WD - (Traseira).
Método 4	Acionamento dos freios traseiros com ABS, e com acionamento dos freios dianteiros.	2WD - (Com ABS nas rodas traseiras).
Método 5	Acionamento dos quatro freios com ABS.	4WD - (com ABS em todas as rodas).

Fonte: PRÓPRIA.

4.3 Desenvolvimento do ambiente de simulação

O Motor gráfico escolhido para realizar as simulações foi o *Newton*, devida a simplicidade de pode mudar o coeficiente de atrito das rodas do veículo e apresentar melhor desempenho do computador durante a simulação. Uma grande vantagem da simulação no Coppeliasim, nos permite o acesso aos parâmetros dos objetos acessando-os via *Child Script*, com isso, não necessita colocar sensores para medição da velocidade do veículo.

A finalidade da simulação é verificar o tempo de parada e a distância de parada do veículo para cada método de freio criado, por isso, a cada simulação realizada, precisa-se mudar a propriedade do material das rodas, colocando manualmente os valores do coeficiente de atrito de cada situação desejada. Os valores de atrito utilizados foram obtidos através da Figura (9), obtendo o valor máximo entre 10% e 20% de cada tipo de superfície, conforme mostra a Tabela (4).

Tabela 4 - Coeficientes de atrito utilizados na simulação.

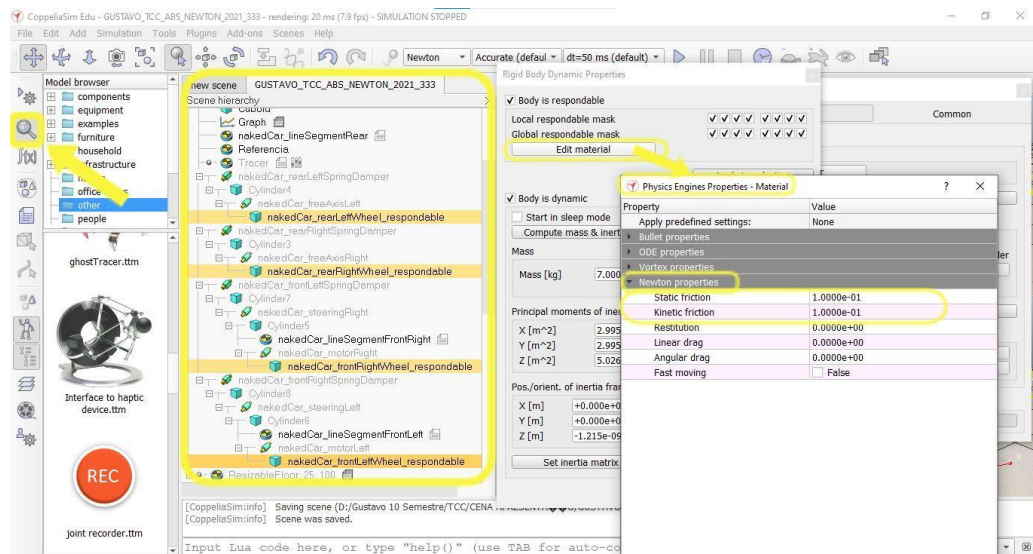
Tipo de Terreno	Coeficiente de Atrito
Gelo	0,1
Neve	0,3

Asfalto Molhado	0,7
Asfalto Seco	0,9

Fonte: PRÓPRIA.

A Figura (21) mostra as propriedades físicas do material, onde é selecionado todos as rodas do veículo, e acessando a propriedade do objeto, através do ícone em forma de lupa, abre a janela de configuração, acessando em *edit material*, é possível fazer a mudança do coeficiente de atrito estático e dinâmico dos objetos, como podemos ver, os valores mudam para qual motor gráfico é utilizado, e neste trabalho, é realizado a mudança nas propriedades da roda no motor gráfico *Newton*.

Figura 21 - Propriedades físicas do material das rodas no motor gráfico Newton.



Fonte: PRÓPRIA.

O veículo, vem por padrão com Child Script com programação em Lua, para o desenvolvimento do projeto, foi mantido o tipo de script, este script é do tipo encadeado, ele funciona como uma co-rotina, que são multitarefas que não retornam valores de controle, ou seja, eles não retornam para que seja utilizado em outra aplicação.

Como mostrado na Figura (22), o Script se inicia através da função principal do código, toda a programação precisa estar dentro da função *sysCall_threadmain* para

que funcione o sistema. Cada objeto criado para o veículo que está contido dentro do ambiente precisa ser declarado na linha de código da programação, como as juntas prismáticas e rotativas, para que sejam modificadas durante a simulação. O programa necessita reconhecer tais objetos para a modificação, e para que o software reconheça estes objetos, precisa-se criar uma variável e adicionar o comando *sim.getObjectHandle* e o objeto descrito dentro da cena, para que assim este objeto seja modificado via script. A variável *desiredWheelRotSpeed* é a variável da velocidade angular do eixo do motor que é aplicada sobre as rodas, o valor dessa velocidade está em radianos por segundo, já a variável *wheelRotSpeedDx* recebe o valor em radianos para que se realize em uma somatória de valores, aplicado 20 graus ao longo de um tempo, sobre a velocidade do motor.

Como pode ser visto ainda na Figura (22), nas linhas 36, 37 e 38, respectivamente em cada linha, são variáveis de velocidade de referência, força do freio da roda esquerda e direita, e a variável de controle do freio, onde durante a programação será utilizada para saber se o freio está sendo acionado, de acordo com sua condição de verdadeiro ou falso.

Figura 22 - Declaração de variáveis - pt.1.

```

20 function sysCall_threadmain()
21     --INICIALIZACAO E DECLARACAO DE VARIÁVEIS
22     veiculo = sim.getObjectHandle('GUSTAVO_CAR')
23     pontofinal = sim.getObjectHandle('pontoFinal')
24     steeringLeft=sim.getObjectHandle('nakedCar_steeringLeft')
25     steeringRight=sim.getObjectHandle('nakedCar_steeringRight')
26     motorLeft=sim.getObjectHandle('nakedCar_motorLeft')
27     motorRight=sim.getObjectHandle('nakedCar_motorRight')
28     distancia = sim.getDistanceHandle('Distance')
29     wleft = sim.getObjectHandle('nakedCar_rearLeftWheel_respondable')
30     wright = sim.getObjectHandle('nakedCar_rearRightWheel_respondable')
31     brake_right=sim.getObjectHandle('nakedCar_freeAxisRight')
32     brake_left=sim.getObjectHandle('nakedCar_freeAxisLeft')
33     desiredWheelRotSpeed = 0
34     wheelRotSpeedDx=20*math.pi/180
35     speed_refer = 18
36     local brake_force_left = 0
37     local brake_force_right = 0
38     local freio = false

```

Fonte: PRÓPRIA.

A Estrutura de repetição do programa acontece dentro da condição *while*, como pode ser visto na Figura (23), a programação só funciona enquanto o estado da simulação *sim.getSimulationState* é diferente do retorno da variável *sim.simulation_advancing_abouttostop* que verifica se a simulação está em

andamento, se essa condição for verdadeira, o programa não irá funcionar, pois toda a programação está sendo executada dentro dessa condição de repetição.

Ao longo da linha do código da programação, como mostra a Figura (23), podemos encontrar variáveis tipo local, ou seja, por padrão na programação em Lua, todas as variáveis criadas são do tipo global, isto é, pode ser utilizada e alterada em qualquer lugar do código, já as variáveis do tipo local só podem ser alteradas dentro do loop, e essas variáveis declaradas são as variáveis de controle de acionamento do método escolhido para execução na simulação. Ainda na mesma figura, nas linhas 51 e 52 é declarado as variáveis que receberam o cálculo de escorregamento das rodas do veículo.

Figura 23 - Início da execução do programa.

```

40  --MAIN--
41  while sim.getSimulationState() ~= sim.simulation_advancing_abouttostop do
42      --METODO 2
43      local brake4x = false
44      --METODO 3
45      local ABS = false
46      --METODO 4
47      local ABS4x = false
48      --METODO 5
49      local ABS_EXP = false
50      --CALCULO DO ESCORREGAMENTO DAS RODAS
51      local slip_right = 0
52      local slip_left = 0

```

Fonte: PRÓPRIA.

Podemos observar que na Figura (24), na linha 55, as variáveis *x*, *y* e *z* recebem as coordenadas de posição do veículo, pelo comando pelo *sim.getObjectPosition*, durante toda a simulação; enquanto que as variáveis *linearVelocity* recebe a velocidade linear do veículo através do comando *sim.getObjectVelocity* em metros por segundo. O problema de receber os valores desse comando, é que eles retornam valores em forma de matrizes, ou seja, retornando à velocidade linear absoluta do veículo, assim para que obtenha a velocidade total do veículo, é necessário realizar o cálculo matemático, como mostrado na equação (7), esta operação foi realizada na variável *vehicle_vel* aonde retorna o valor total da velocidade do veículo. o mesmo procedimento de cálculo foi feito nas variáveis *vwrightAngular* e *vwleftAngular* da velocidade angular das rodas.

O cálculo do escorregamento, como mostra na equação (13), foi implementado no código utilizando a mesma abordagem, como as variáveis de velocidade angular

das rodas estão em rad/s, precisa-se multiplicar esses valores pelo raio da roda para que se torne velocidade linear e adequar-se a fórmula. Como mostra a Figura (24), nas duas últimas linhas de programação, 68 e 69, é calculado o escorregamento para cada motor, assim, recebendo o valor da velocidade linear do veículo em m/s, subtraindo da velocidade linear das rodas em m/s, e dividindo pela velocidade linear do veículo.

Figura 24 - Declarando variáveis - pt.2.

```

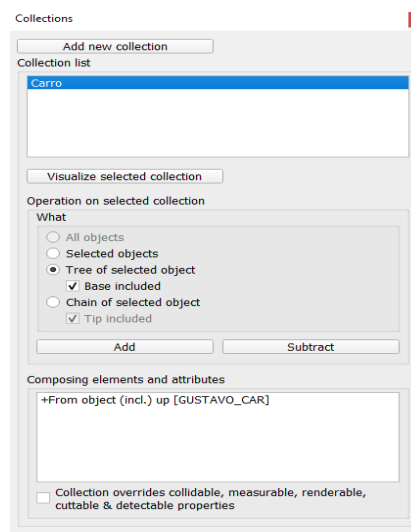
54 --OBTEN A POSICAO DO VEICULO
55 x,y,z = sim.getObjectPosition(veiculo,-1)
56 --OBTEN A VELOCIDADES DO LINEAR E ANGULAR DO VEICULO
57 linearVelocity,angular = sim.getObjectVelocity(veiculo)
58 --OBTEN AS VELOCIDADES ANGULARES E LINEARES DAS RODAS TRASEIRAS
59 lright,angularRight = sim.getObjectVelocity(wright)
60 lleft,angularLeft = sim.getObjectVelocity(wleft)
61 --OBTEN A VELOCIDADE ANGULAR ABSOLUTA DO VEICULO
62 vehicle_vel = math.sqrt(math.pow(linearVelocity[1], 2) + math.pow(linearVelocity[2], 2) + math.pow(linearVelocity[3], 2))
63 result,distance = sim.readDistance(distancia)
64 --OBTEN A VELOCIDADE ANGULAR ABSOLUTA DAS RODAS TRASEIRAS
65 vwrightAngular = math.sqrt(math.pow(angularRight[1], 2) + math.pow(angularRight[2], 2) + math.pow(angularRight[3], 2))
66 vwleftAngular = math.sqrt(math.pow(angularLeft[1], 2) + math.pow(angularLeft[2], 2) + math.pow(angularLeft[3], 2))
67 --CALCULO DE ESCORREGAMENTO
68 slip_right = (vehicle_vel - (vwrightAngular*0.317035))/vehicle_vel
69 slip_left = (vehicle_vel - (vwleftAngular*0.317035))/vehicle_vel

```

Fonte: PRÓPRIA.

A fim de obter a distância de parada do veículo, foi criado uma coleção chamada *Carro* como mostra a Figura (25), dentro dessa coleção estão todos os objetos que compõem o veículo.

Figura 25 - Criando a coleção “Carro”.

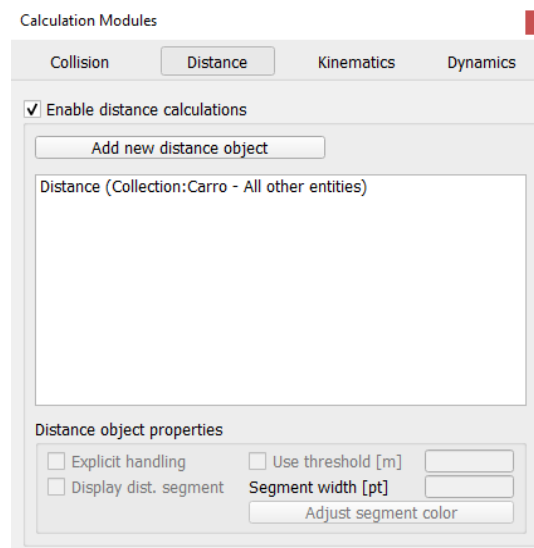


Fonte: PRÓPRIA.

Em sequência, foi criado dois objetos do tipo *dummy*, um funciona como ponto de referência chamada de *Referencia*, que fica dentro do veículo, recebendo sempre sua posição e o outro como *pontoFinal* atuando como ponto de início da frenagem; Como pode ser visto na Figura (26), utilizando o módulo de cálculo matemático em *Calculation Modules*, é criando a variável *distance*, esta variável irá receber a distância entre o objeto de referência dentro do veículo, em relação ao objeto do ponto de frenagem.

A coleção foi criada para que todos os objetos contidos dentro do veículo sejam um único ponto de detecção, pois o cálculo de distância detecta todos os objetos contidos dentro do veículo, assim ocasionando erro na obtenção da distância.

Figura 26 - Criando um Módulo de cálculo “Distance”.



Fonte: PRÓPRIA.

No início do momento de inércia do veículo, quando é colocado um valor muito alto, o veículo fica patinando no início da simulação e assim o veículo deixa de ir em linha reta, podendo sair da plataforma e ocasionando erro, devido a isso, foi criado uma condição na programação, como mostra na Figura (27), na linha 72, uma estrutura de repetição que a cada 0.2 segundos é adicionado 20 graus de rotação nas rodas para que haja uma partida suave durante o início da simulação sem ocasionar perda de aderência.

Figura 27 - Partida Suave do Veículo.

```

71 --ACELERACAO SUAVE DO VEICULO
72 if(sim.getSimulationTime() > 3 and freio == false) then
73     desiredWheelRotSpeed = desiredWheelRotSpeed + wheelRotSpeedDx
74     print("Velocidade>: ",vehicle_vel,"VelocidadeRoda",vwrightAngular*0.317035)
75     sim.wait(0.2)
76 end
77 print("Velocidade>: ",vehicle_vel,"VelocidadeRoda",vwrightAngular*0.317035)
78

```

Fonte: PRÓPRIA.

O acionamento dos freios é realizado através da variável de velocidade do veículo, quando o veículo atinge a velocidade de 18 m/s, equivalente a 64,8 km/h, como pode ser visto na Figura (28), a condição da variável freio muda para verdadeiro, e assim realizando o início da frenagem, com isso, na linha 83, a coordenada do veículo é armazenado na variável *pontofinal*.

O cálculo da distância de frenagem funciona quando, o freio recebe o valor de frenagem verdadeiro, o objeto *pontoFinal* recebe os valores da coordenada do veículo no instante do recebimento da condição, assim durante a frenagem, o veículo vai se afastando desse objeto e a variável *Distance* começa a receber o valor da distância dos objetos, que são o ponto *Referencia* dentro do veículo com o ponto do início da frenagem *pontoFinal*.

Figura 28 - Condição para o acionamento do freio.

```

78
79 --ACIONAMENTO DA CONDICAO PARA OS FREIOS, APOS O VEICULO ATINGIR 18 M/S
80 --E ADICIONA UM PONTO DE INICIO DA DISTANCIA DE PARADA
81 if (vehicle_vel >= speed_refer)then
82     freio = true
83     sim.setObjectPosition(pontofinal,-1,x,y,z)
84 end

```

Fonte: PRÓPRIA.

Em todos os métodos, o freio na condição verdadeira de frenagem, a variável *desiredWheelRotSpeed* recebe zero, assim realizando uma simulação como se o piloto tirasse o pé do pedal do acelerador, e logo depois acionando o freio. Devido à complexidade do projeto foi simulado o freio como torque contrário ao movimento do motor, através da variável *brake_force_right* e *brake_force_left* aplicando 2000 N de

força contrária ao sentido de movimento e quando não possui frenagem a força do freio recebe zero.

A condição para que funcione o sistema de frenagem, irá depender do método escolhido, assim também dependendo dos valores das variáveis de controle, se a variável do freio juntamente com a variável do método escolhido for verdadeira, o comando de aplicação da força dos freios será executado dentro de uma estrutura de repetição, enquanto a condição for verdadeira.

Como foi visto na Figura (20), o Método 1, as rodas dianteiras não possuem frenagem, enquanto as traseiras possuem o sistema de frenagem tradicional. O Método 2, todas as rodas possuem o sistema de frenagem tradicional. O Método 3, as rodas dianteiras, não possui sistema de frenagem, enquanto as traseiras possuem o sistema de freio ABS. O Método 4, as rodas dianteiras possuem o sistema de frenagem tradicional, e as rodas traseiras possuem o sistema de freio ABS. Por fim, o Método 5, todas as rodas possuem o sistema de freio ABS.

Quando apenas a variável *freio* for verdadeira, o programa entra na primeira estrutura de repetição dos métodos desenvolvidos, como visto na Figura (29), assim ativando a primeira estrutura de repetição. O comando *sim.setJointForce* é aplicando sobre os motores o valor da força sobre o motor uma força contrária ao sentido de seu movimento, ou seja, quanto maior o valor da força aplicada no motor, mais toque precisará para que o motor gire.

Figura 29 - Condição para o acesso do Método 1.

```

86  --CONDICOES PARA FREIOS SEM ABS COM ATIVACAO NA DIANTEIRA
87  if(freio == true and brake4x == false and ABS == false and ABS_EXP == false and ABS4x == false) then
88      desiredWheelRotSpeed=0
89      brake_force_left = 2000
90      brake_force_right = 2000
91      sim.setJointForce(motorLeft, 0)
92      sim.setJointForce(motorRight, 0)
93      print('Metodo 1 : Distancia SEM ABS na dianteira',distance)
94  end

```

Fonte: PRÓPRIA.

Na Figura (30), o segundo método é o mais comum encontrado em qualquer veículo sem o sistema de freio ABS, quando a frenagem é acionada, aplica força em todas as rodas do veículo.

Figura 30 - Condição para o acesso do Método 2.

```

96  --CONDICOES PARA FREIOS SEM ABS COM ATIVA??O NAS QUATRO RODAS
97  if(freio == true and brake4x == true and ABS == false and ABS_EXP == false and ABS4x == false) then
98      desiredWheelRotSpeed=0
99      brake_force_left = 2000
100     brake_force_right = 2000
101     sim.setJointForce(motorLeft, 2000)
102     sim.setJointForce(motorRight, 2000)
103     print('Metodo 2 : Distancia SEM ABS 4x Rodas',distance)
104 end

```

Fonte: PRÓPRIA.

O método em especial são os métodos 3, 4 e 5, pois possuem o controle ABS, e de forma muito simples, quando a variável do escorregamento recebe valor um, é porque a velocidade do veículo é a mesma das rodas, portanto os freios estão travados durante a frenagem do veículo ocasionando instabilidade do veículo, para que não ocorra, durante a simulação, foi visto que o momento de estabilidade do veículo ocorre com o escorregamento abaixo de 0,2, então foi desenvolvido um controle através de uma estrutura de repetição, através da variável de escorregamento, quando estiver menor que 0,2 a condição atua para que o veículo ative os freios, se não, deixa de frear, esse tipo de controle é o mais simples encontrado nos estudos de sistemas dinâmicos, conhecido como controle liga-desliga.

Na Figura (31), a configuração do freio do método 3 é um exemplo de ABS incomum, onde é implementado neste projeto a fim de observar o comportamento dessa configuração em relação aos demais. Quando há condição verdadeira de freio, durante a frenagem, o acionamento dos freios é somente nas rodas dianteiras com controle ABS atuando, enquanto as rodas traseiras, elas não possuem freio.

Figura 31 - Condição para o acesso do Método 3.

```

106  --CONDICOES PARA FREIOS COM ABS APENAS NA DIANTEIRA---
107  if(freio == true and ABS == true and ABS_EXP == false and ABS4x == false and brake4x == false) then
108      desiredWheelRotSpeed=0
109      sim.setJointForce(motorLeft, 0)
110      sim.setJointForce(motorRight, 0)
111      print('Metodo 3: Distancia COM ABS2x',distance)
112      if(slip_right < 0.2)then
113          brake_force_right = 2000
114      elseif(slip_left < 0.2)then
115          brake_force_left = 2000
116      else
117          brake_force_left = 0
118          brake_force_right = 0
119      end
120  end
121 end

```

Fonte: PRÓPRIA.

Na Figura (32), o método 4 é também uma configuração de freios atípico como no método 3, durante a frenagem do veículo, o controle ABS é aplicado sobre as rodas dianteiras, mas neste caso, as rodas traseiras possuem freios, portanto tendo maior número de área de contato para a frenagem.

Figura 32 - Condição para o acesso do Método 4.

```

123  --CONDICOES PARA FREIOS COM ABS COM TRAVAMENTO NA DIANTEIRA---
124  if(freio == true and ABS == false and ABS4x == true and ABS_EXP == false and brake4x == false) then
125      desiredWheelRotSpeed=0
126      sim.setJointForce(motorRight, 2000)
127      sim.setJointForce(motorLeft, 2000)
128      print('Metodo 4: Distancia COM ABS4x',distance)
129      if(slip_right < 0.2)then
130          brake_force_right = 2000
131      elseif(slip_left < 0.2)then
132          brake_force_left = 2000
133      else
134          brake_force_left = 0
135          brake_force_right = 0
136
137      end
138  end

```

Fonte: PRÓPRIA.

Em um sistema de freio ABS, dependendo do veículo é padrão visualizar o sistema de controle ABS aplicado sobre as quatro rodas do veículo. Por se tratar de um experimento, o método 5, como é visto na Figura (33), é implementado o controle ABS sobre as quatro rodas, a aplicação do sistema é de acordo com os valores calculados sobre as rodas traseiras, ou seja, a aplicação do ABS sobre as rodas dianteiras depende dos valores das rodas traseiras.

Figura 33 - Condição para o acesso do Método 5.

```

140  --FREIOS COM ABS NAS QUATRO RODAS
141  if(freio == true and ABS_EXP == true and ABS == false and ABS4x == false and brake4x == false) then
142      desiredWheelRotSpeed=0
143      print('Metodo 5: Distancia COM ABS4x EXP',distance)
144      if(slip_right < 0.2)then
145          brake_force_right = 2000
146          sim.setJointForce(motorRight, 2000)
147      elseif(slip_left < 0.2)then
148          brake_force_left = 2000
149          sim.setJointForce(motorLeft, 2000)
150      else
151          brake_force_left = 0
152          brake_force_right = 0
153          sim.setJointForce(motorLeft, 0)
154          sim.setJointForce(motorRight, 0)
155
156      end
157  end

```

Fonte: PRÓPRIA.

O comando *sim.setJointTargetVelocity* estabelece o valor da velocidade dos motores esquerdo e direito, aplicando-os pelo valor das variáveis *motorLeft* e *MotorRight*, esse valor é definido pela somatória da condição da partida suave, isto é, a cada 0.2 segundos. A programação termina com comando *sim.switchThread*, como pode ser visto na Figura (34), e tem a função de finalizar o encadeamento e devolver o controle para o software. Para melhor compreensão, toda a programação pode ser vista no Apêndice A.

Figura 34 - Fim da rotina da simulação.

```
158      -- ACIONAMENTO DO MOTOR
159      sim.setJointTargetVelocity(motorLeft,desiredWheelRotSpeed)
160      sim.setJointTargetVelocity(motorRight,desiredWheelRotSpeed)
161      --COMANDO DE ACIONAMENTO DOS FREIOS
162      sim.setJointForce(brake_right, brake_force_right)
163      sim.setJointForce(brake_left, brake_force_left)
164
165      sim.switchThread() -- Resume the script at next simulation loop start
166  end
167 end
```

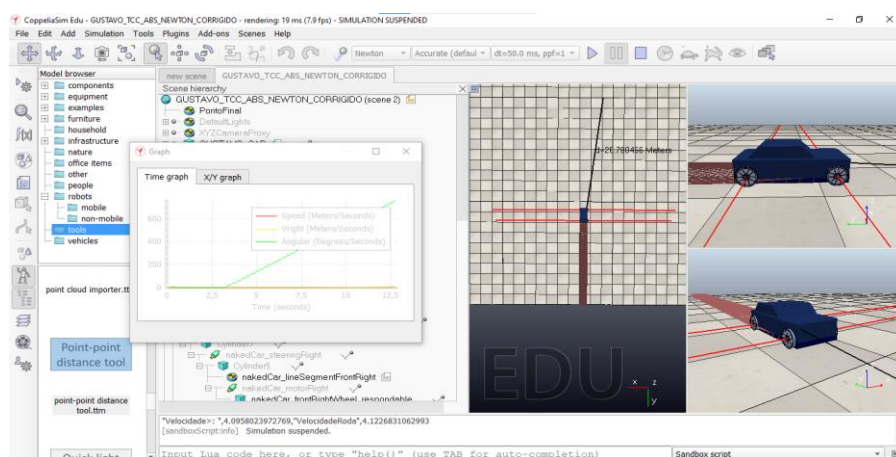
Fonte: PRÓPRIA.

5. RESULTADOS OBTIDOS

O CoppeliaSim apesar de ser um software voltado para robótica, pode-se obter resultados satisfatórios, tendo a complexidade do projeto. Os gráficos gerados pela simulação, tendo em vista que o software possui exportação de gráfico, foram obtidos 20 gráficos, este número foi devido a quantidade de simulações realizadas dentro dos métodos e tipos de terreno utilizados durante as simulações. Por esse motivo, através dos gráficos, foram adicionados os resultados dos valores finais e iniciais do tempo e distância de parada, numa planilha de dados, para se calcular e obter o valor exato do momento do tempo de parada e da distância de parada.

Quando a simulação está ativa, o gráfico é preenchido por dados das variáveis de cada objeto do veículo, assim é possível buscar quaisquer variáveis de simulação e colocá-la no gráfico. Como mostrado na Figura (35), todos os parâmetros do código e do ambiente de simulação não podem ser alterados durante a simulação, devido a essa desvantagem, teve-se que realizar várias simulações para preencher os dados desejados.

Figura 35 - Inicialização da simulação.

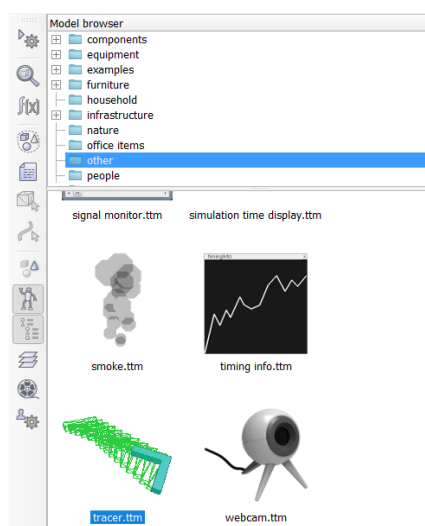


Fonte: PRÓPRIA.

Durante a simulação pode-se observar na Figura (36), foi colocado no veículo um objeto do tipo *dummy*, que tem a função de tracejar, ele se encontra na biblioteca *Other*, e dentro da biblioteca pode encontrar o objeto *Tracer*, esse objeto tem a função

de quando o veículo estiver em movimento, dele deixa uma trajetória, indicando o trajeto por onde o objeto passou, assim para indicar com facilidade o momento de estabilidade do veículo.

Figura 36 - Ferramenta Tracer.



Fonte: PRÓPRIA.

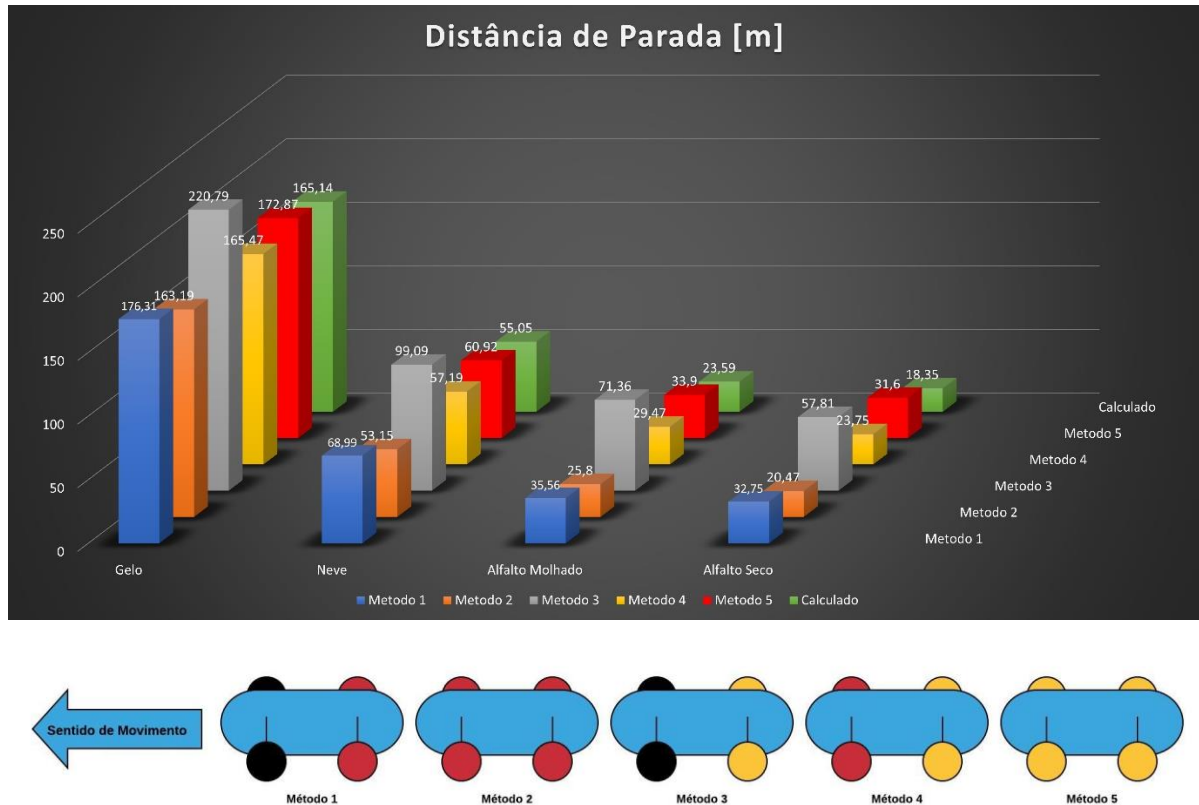
Realizadas todas as simulações, foi gerado um gráfico que pode ser visto na Figura (37), com todos os valores obtidos durante as simulações. Pode ser notado de acordo com o aumento do coeficiente de atrito durante as simulações, a distância de parada do veículo diminui, assim se provando as equações conforme já demonstrado na seção da distância de frenagem.

O método 2 é uma configuração de freios ideal, tem o mesmo comportamento de um veículo real, assim realizado o cálculo da distância e o tempo de parada pelas equações (21) e (24), e pode ser visualizado o resultado através da Figura (37).

Como pode ser visto ainda na Figura (37), a frenagem do veículo acontece quando o veículo atinge a velocidade de 18 m/s, assim o veículo com coeficiente de atrito no gelo teve maior distância de parada em relação aos outros, e tendo como o método 3 o pior resultado, devido por ter menos área de contato durante a frenagem, o veículo tende a demorar para que o veículo pare completamente. Não foi diferente para os demais tipos de terreno, o método 3 teve maior distância de parada em todas as simulações realizadas, sendo o pior método que possui o sistema de freio ABS. A

configuração ideal para o freio ABS, foi o método 4, que teve o melhor resultado entre todos os que possui o sistema, sendo melhor que o primeiro método que não possui o sistema de freio ABS, mas com área de contato de frenagem reduzida, mas o segundo método teve o melhor resultado em todas as simulações.

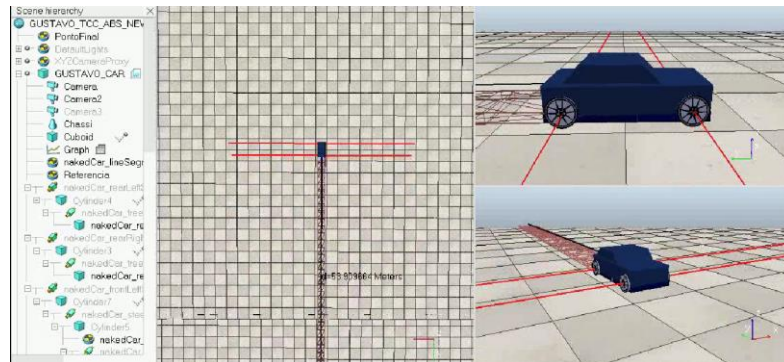
Figura 37 - Gráfico da Distância de parada coletada durante as simulações.



Fonte: PRÓPRIA.

Como pode observar na Figura (38), durante a simulação os métodos que possuem o controle ABS, possui uma trajetória em linha reta, assim o sistema está atuando e mantendo o veículo em estabilidade durante a frenagem.

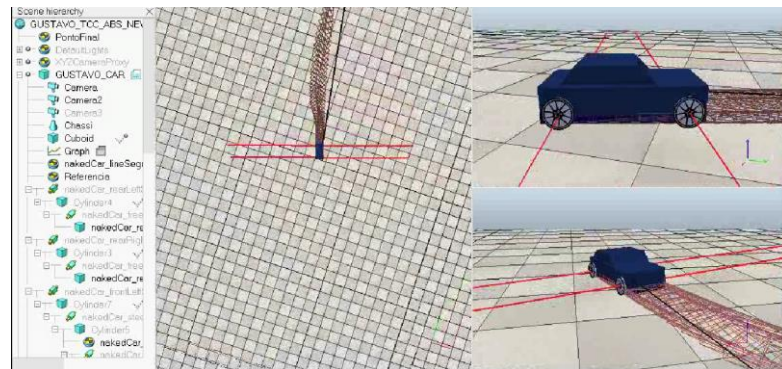
Figura 38 - Frenagem do veículo com o sistema ABS no gelo.



Fonte: PRÓPRIA.

O primeiro e o segundo método não possuem o sistema de freios ABS, assim como pode ser visto na Figura (39), o veículo durante a simulação, quando é realizado a ação da frenagem, ele tende a instabilidade, perdendo o sentido e direção do veículo.

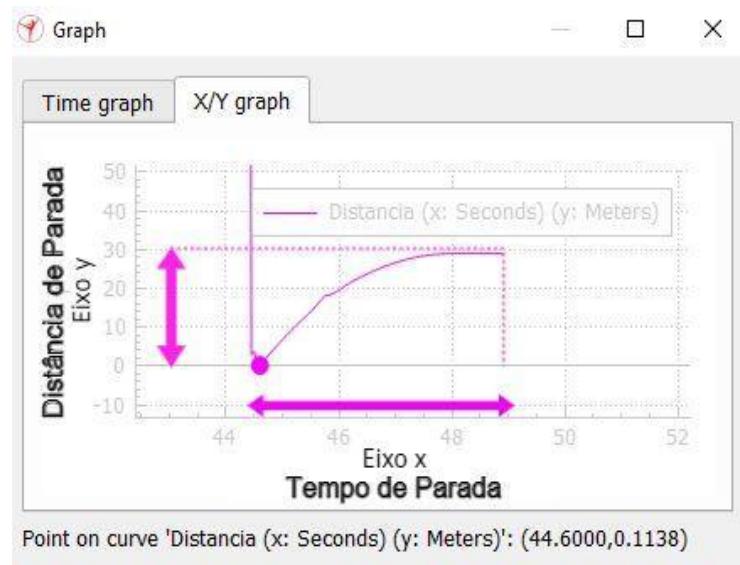
Figura 39 - Instabilidade do veículo durante a frenagem sem ABS no gelo.



Fonte: PRÓPRIA.

No decorrer da simulação, para que se obtenha o tempo de parada e a distância de parada do veículo, é calculado obtendo os valores gerados pelo gráfico do software, obtendo o valor inicial e subtraindo pelo valor final. Como pode ser visto na Figura (40), o eixo x, representa a taxa de tempo de parada, e o eixo y, representa a taxa de variação da distância de parada.

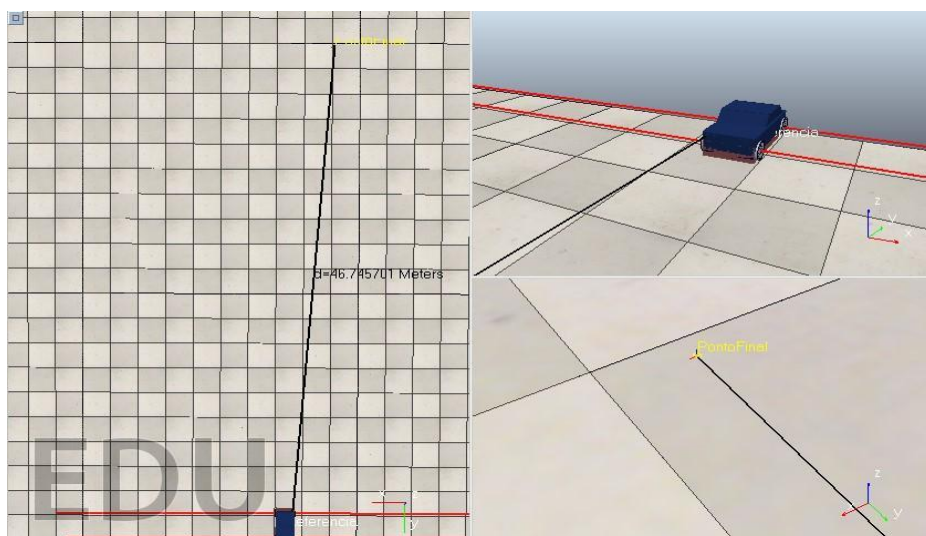
Figura 40 - Obtenção dos valores do tempo e distância de parada.



Fonte: PRÓPRIA.

Como podemos observar na Figura (41), durante o início da simulação, o módulo matemático detecta o objeto *Referencia* e calcula a distância entre o objeto *pontoFinal*, mas como este objeto está longe do veículo, logo no início a distância de parada já é acumulada pelo valor da distância entre os objetos.

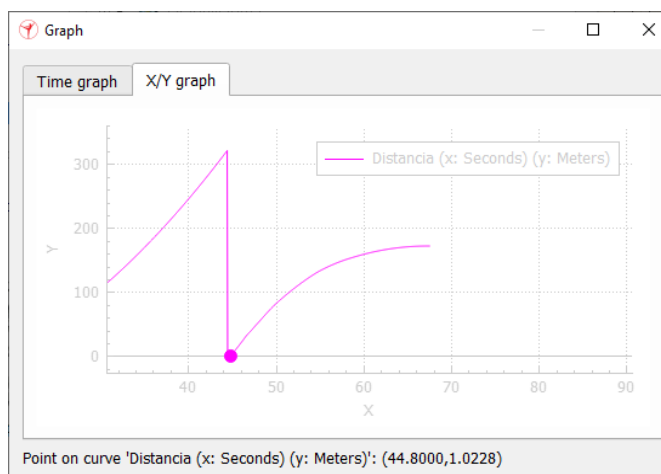
Figura 41 - Valores desprezado da distância.



Fonte: PRÓPRIA.

Durante o movimento do veículo, quando o sistema de freio é ativado com o veículo em 18 m/s, esse valor vai a zero abruptamente, como pode ser visto na Figura (42). Esse fenômeno ocorre devido ao objeto *pontoFinal*, que é um objeto criado para reconhecer o início da frenagem na simulação, ele recebe o valor da posição do veículo. isto é, os objetos terão o mesmo valor de posição, ocasionando no valor zero. Devido a isso, os valores considerados para este trabalho são obtidos logo após o início da frenagem com a distância em zero. Todos os gráficos obtidos durante a simulação para o cálculo de distância e tempo de parada, como mostrado pela Figura (42), podem ser visualizados no Apêndice B.

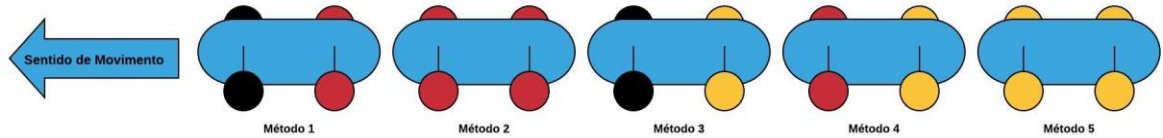
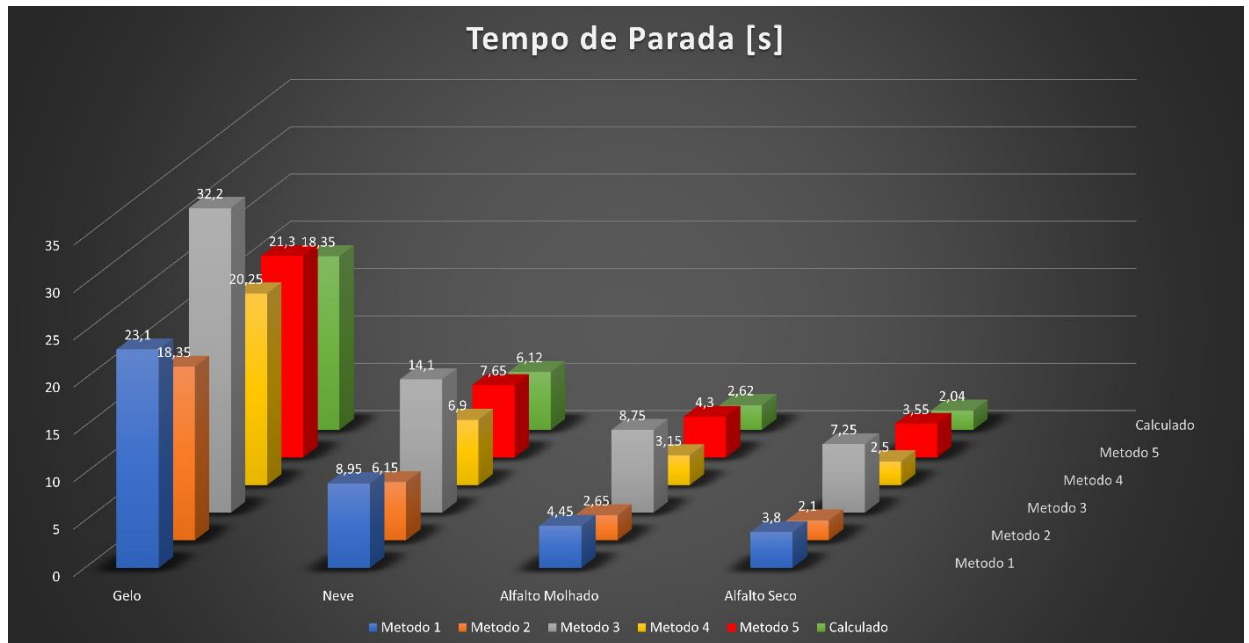
Figura 42 - Valor abrupto da distância e tempo de parada do método 1 no gelo.



Fonte: PRÓPRIA.

O Tempo de parada calculado, foi satisfatório, tendo o valor no gelo o mesmo valor que foi calculado, e nos demais foram bem aproximados. Conforme o gráfico da Figura (43), mostra que o tempo de parada em todos os tipos de terreno, o pior foi novamente do método 3, e tendo o método 4 o melhor resultado como era de esperado, mas excedeu o limite do cálculo realizado.

Figura 43 - Gráfico dos valores de tempo de parada obtidos durante a simulação.



Fonte: PRÓPRIA.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusão

Foram obtidos resultados satisfatórios do programa, devido às limitações do software Coppeliasim, o sistema ABS desenvolvido neste trabalho, se provou melhora na estabilidade do veículo durante a frenagem. Durante as simulações, foram desprezados todos os parâmetros de aerodinâmica, e apenas considerando o sistema de referências e equações de velocidade para que o projeto não se tornasse complexo. Em um alto coeficiente de atrito, o sistema teve pouco desempenho, enquanto o de coeficientes baixos, o ABS teve muito sucesso, tendo uma garantia de que o ABS é mais efetivo para coeficientes baixos.

O objetivo da implementação de cenários em vários tipos de configurações de freios, é diminuir a distância do veículo juntamente com a sua distância de parada, os resultados obtidos demonstraram que o controle utilizado não foi suficiente para que melhorasse. Por esse motivo, com a ausência do sistema de controle ABS, o veículo tende a instabilidade com facilidade nos tipos de terreno: gelo e neve, enquanto nos cenários que possuía o sistema ABS o veículo visa ter estabilidade durante a frenagem, deixando o veículo estável em linha reta, assim evitando acidentes ou até mesmo diminuindo o desgaste de pneu. Portanto, em todos os métodos mostram que o melhor método em relação à distância e tempo de parada foi método 2, com o cenário sem ABS.

Durante a simulação houve constantes queda de quadros por segundos, devido a limitação do computador utilizado, prejudicando o resultado, por esse motivo, a cada simulação realizada foi obtido vários valores diferentes na mesma configuração de simulação, deste modo foi realizado as médias dos valores coletados para serem colocados em comparação, como mostra o Apêndice C, com os valores obtidos durante as simulações.

O desenvolvimento deste trabalho foi retirado do trabalho que já estava em desenvolvimento, de um projeto de criação de controle de estabilidade de um veículo em ambiente virtual, devido à complexidade e o tempo de desenvolvimento, foi optado por realizar o estudo apenas no sistema de freio ABS.

O tipo de controle escolhido para este trabalho, teve seu desempenho como razoável, pois melhorou a dirigibilidade do veículo, assim tendo uma frenagem segura, mas teve agravo na distância e tempo de parada. Diante disso, viu-se que é possível a mudança para outro tipo de controle e estrutura de programação, podendo utilizar o script não encadeado para que possa obter resultados melhores no sistema ABS.

No decorrer do desenvolvimento deste projeto, houve dificuldade de encontrar um software que atendesse a necessidade de realizar o projeto para o sistema de frenagem, pois a maioria dos softwares disponibilizados nesta área são comerciais

Durante a realização deste trabalho foi gerado um site, onde foram colocadas informações sobre o projeto com imagens, vídeos e anotações de todo o desenvolvimento deste trabalho, através do link disponibilizado nas referências.

6.2 Trabalhos futuros

Como proposta de trabalho futuro pode se realizar várias situações de acordo com o trabalho realizado, como:

- Criar métodos de frenagem utilizando controle PID.
- Melhorar o sistema proposto para que possa diminuir o tempo de parada juntamente com o tempo de parada utilizando script não encadeado.
- Realizar simulações de frenagem durante uma curva, a fim de obter a estabilidade do veículo.
- Simulação de reação do piloto ao encarar um obstáculo.

7. REFERÊNCIAS:

COUTINHO, D. J. **Estudo de viabilidade de um sistema antibloqueio de freios aplicado a um protótipo de Fórmula SAE.** (Trabalho de conclusão de curso), São Carlos, 2017. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/97/970010/tce-17012018-174910/?&lang=br>>. Acesso em: 9 de janeiro de 2020.

COUTINHO, T. **O que é uma linguagem de programação, para que serve e como funciona.** Grupo Voitto, 2020. Disponível em: <www.voitto.com.br/blog/artigo/linguagem-de-programacao>. Acesso em: 9 de janeiro de 2020.

CONTRAN, N. **Resolução CONTRAN n 380 de 28/04/2011.** Dispõe sobre a obrigatoriedade do uso do sistema antitravamento das rodas - ABS. Normas Brasil, Brasília, 2011. Disponível em: <https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-380-2011_114292.html> Acesso em: 23 de maio de 2020.

CoppeliaSim. **CoppeliaSim: robot simulator.** Disponível em: <<https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/en/dynamicsModule.htm>>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

CZERWONKA, M. et al. **Número de acidentes diminuiu nas rodovias em 2020, mas o de mortes se manteve.** Portal do Trânsito, 2020. Disponível em: <<https://www.portaldotransito.com.br/noticias/numero-de-acidentes-diminuiu-nas-rodovias-em-2020-mas-o-de-mortes-se-manteve/>> Acesso em: 20 de Março de 2020.

DA SILVA, J. M. G. **Ação Liga-Desliga (On-Off).** UFRGS (Apostilas), 2000. Disponível em: <<http://www.ece.ufrgs.br/~jmgomes/pid/Apostila/apostila/node20.html>>. Acesso em: 17 de março de 2021.

GONÇALVES, S. **A evolução do ABS.** AUTOBLOG, 2012. Disponível em: <<http://www.autoblog.pt/a-evolucao-do-abs/>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2021.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. WALKER, J. **Fundamentos de física, volume I: Mecânica.** 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ISO 8855. **Road vehicles — Vehicle dynamics and road-holding ability — Vocabulary.** ISO 8855:2011. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2011. Disponível em: <<https://www.sis.se/api/document/preview/914200/>> Acesso em: 17 de fevereiro de 2021.

KISSAI, M. et al. **Adaptive Robust Vehicle Motion Control for Future Over-Actuated Vehicles**. Paris, 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2075-1702/7/2/26>>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

KLUEVER, C. A. **Sistemas Dinâmicos: Modelagem, Simulação e Controle**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

MACEDO, A. A. **Dinâmica Lateral e Sistema de Direção Veicular**. (Trabalho de conclusão de curso). Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.cefet-rj.br/attachments/article/2943/Din%C3%A2mica%20Lateral%20e%20Sistema%20de%20Dire%C3%A7%C3%A3o%20Veicular.pdf>> Acesso em: 10 de abril de 2020.

MOORE, H. F. **Análise de desempenho de um controlador Bang-Bang em um sistema de freio ABS**. (Trabalho de conclusão de curso). Brasília, 2014. Disponível em: <https://bdm.unb.br/bitstream/10483/8606/1/2014_HugoFerreiraMoore.pdf> Acesso em: 10 de janeiro de 2020.

NICOLAZZI, L. C.; ROSA, E.; LEAL, L. C. M. **Uma introdução à modelagem quase-estática de automóveis**. (Publicação interna da UFSC) Santa Catarina, 2012. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC078/Bibliografia/2012_Uma_introducao_a_modelagem_quase_estatica_de_automoveis_NICOLAZZI_APOSTILA.pdf> Acesso em: 10 de Janeiro de 2020.

OKAZAKI, M. H. **ESTRATÉGIAS DE CONTROLE PARA PROJETO DE SISTEMAS ANTITRAVAMENTO DE FREIOS (ABS)**. (Dissertação de Mestrado), São Bernardo do Campo, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.fei.edu.br/handle/FEI/636>>. Acesso em: 9 de janeiro de 2020.

PANARO, R. **Freios ABS completam 40 anos de história salvando vidas**. Quatro Rodas, 2018. Disponível em: <<https://quatrorodas.abril.com.br/especial/freios-abs-completam-40-anos-de-historia-salvando-vidas/>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2021.

PRIETO, R. D. **Freios hidráulicos: da física básica à dinâmica veicular, do sistema convencional aos sistemas eletrônicos**. São Paulo: SENAI-SP Editora. Edição do Kindle. (2014).

QUATRO RODAS. **O significado das siglas de segurança do seu carro**. Quatro Rodas, 2018. Disponível em: <<https://quatrorodas.abril.com.br/auto-servico/o-significado-das-siglas-de-seguranca-do-seu-carro/>>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

RITTER, L. **Cap. 02. Física do movimento**. Hardware Central, 2019. Disponível em: <<https://www.hardwarecentral.net/single-post/2019/08/04/cap-02-física-do-movimento>> Acesso em: 10 de abril de 2021.

SHAIKHLI, A. K.; HUMOD, A. R. T.; HASAN, F. A. **Traveling Wave Induction Heating Control Based on Robust Intelligent Controller**. Baghdad, 2016.

Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/312154863_Traveling_Wave_Induction_Heating_Control_Based_on_Robust_Intelligent_Controller>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

VARGAS, F. J. T.; PAGLIONE, P. **Ferramentas de álgebra computacional: Aplicações em modelagem, simulação, e controle para engenharia**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

WOODFORD, C. **How do brakes work**. Explain That Stuff!, 2020. Disponível em: <<https://www.explainthatstuff.com/brakes.html>> Acesso em: 17 de fevereiro de 2021.

Site desenvolvido para postagem de anotações do desenvolvimento deste trabalho:

Disponível em: <<https://sites.google.com/view/gustavo-duarte/menu?authuser=1>>

APÊNDICE A - PROGRAMAÇÃO EM LUA NO COPPELIASIM.

```
--[[-----
-----
IFMT - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO,
CIENCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO.

CAMPUS CUIABA CEL. OCTAYDE JORGE DA SILVA
DEPARTAMENTO DA AREA DE ELETROELETRONICA

CURSO: ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMACAO

TCC: ESTUDO DO SISTEMA DE FREIO ANTI-BLOQUEIO (ABS),
UTILIZANDO FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE AMBIENTE VIRTUAL

AUTOR: - GUSTAVO DUARTE E SILVA
-----
-----
--]]

function sysCall_threadmain()
--INICIALIZACAO E DECLARACAO DE VARIAVEIS
veiculo = sim.getObjectHandle('GUSTAVO_CAR')
pontofinal = sim.getObjectHandle('PontoFinal')
steeringLeft=sim.getObjectHandle('nakedCar_steeringLeft')
steeringRight=sim.getObjectHandle('nakedCar_steeringRight')
motorLeft=sim.getObjectHandle('nakedCar_motorLeft')
motorRight=sim.getObjectHandle('nakedCar_motorRight')
distancia = sim.getDistanceHandle('Distance')
wleft = sim.getObjectHandle('nakedCar_rearLeftWheel_respondable')
wright = sim.getObjectHandle('nakedCar_rearRightWheel_respondable')
brake_right=sim.getObjectHandle('nakedCar_freeAxisRight')
brake_left=sim.getObjectHandle('nakedCar_freeAxisLeft')
desiredWheelRotSpeed = 0
wheelRotSpeedDx = 20*math.pi/180
speed_refer = 18
local brake_force_left = 0
local brake_force_right = 0
local freio = false

--MAIN--
while sim.getSimulationState()~=sim.simulation_advancing_abouttostop do
--METODO 2
local brake4x = false
--METODO 3
local ABS = false
--METODO 4
local ABS4x = false
--METODO 5
local ABS_EXP = true
--CALCULO DO ESCORREGAMENTO DAS RODAS
local slip_right = 0
local slip_left = 0

--OBTEM A POSICAO DO VEICULO
x,y,z = sim.getObjectPosition(veiculo,-1)
--OBTEM A VELOCIDADES DO LINEAR E ANGULAR DO VEICULO
linearVelocity,angular = sim.getObjectVelocity(veiculo)
--OBTEM AS VELOCIDADES ANGULARES E LINEARES DAS RODAS TRASEIRAS
lright,angularRight = sim.getObjectVelocity(wright)
lleft,angularLeft = sim.getObjectVelocity(wleft)
--OBTEM A VELOCIDADE ANGULAR ABSOLUTA DO VEICULO
vehicle_vel = math.sqrt(math.pow(linearVelocity[1], 2) +
math.pow(linearVelocity[2], 2) + math.pow(linearVelocity[3], 2))
result,distance = sim.readDistance(distancia)
--OBTEM A VELOCIDADE ANGULAR ABSOLUTA DAS RODAS TRASEIRAS
```



```

vwrightAngular = math.sqrt(math.pow(angularRight[1], 2) +
math.pow(angularRight[2], 2) + math.pow(angularRight[3], 2))
vwleftAngular= math.sqrt(math.pow(angularLeft[1], 2) +
math.pow(angularLeft[2], 2) + math.pow(angularLeft[3], 2))
--CALCULO DE ESCORREGAMENTO
slip_right = (vehicle_vel - (vwrightAngular))/vehicle_vel
slip_left = (vehicle_vel - (vwleftAngular))/vehicle_vel

--ACELERACAO SUAVE DO VEICULO
if(sim.getSimulationTime() > 3 and freio == false) then
    desiredWheelRotSpeed = desiredWheelRotSpeed + wheelRotSpeedDx
    print("Velocidade>: ",vehicle_vel,"VelocidadeRoda",vwrightAngular)
    sim.wait(0.2)
end
print("Velocidade>: ",vehicle_vel,"VelocidadeRoda",vwrightAngular)

--ACIONAMENTO DA CONDICAO PARA OS FREIOS, APOS O VEICULO ATINGIR 18 M/S
--E ADICIONA UM PONTO DE INICIO DA DISTANCIA DE PARADA
if (vehicle_vel >= speed_refer)then
    freio = true
    sim.setObjectPosition(pontofinal,-1,x,y,z)
end

--CONDICOES PARA FREIOS SEM ABS COM ATIVACAO NA DIANTEIRA
if(freio == true and brake4x == false and ABS == false and ABS_EXP == false
and ABS4x == false) then
    desiredWheelRotSpeed=0
    brake_force_left = 2000
    brake_force_right = 2000
    sim.setJointForce(motorLeft, 0)
    sim.setJointForce(motorRight, 0)
    print('Metodo 1 : Distancia SEM ABS na dianteira',distance)
end

--CONDICOES PARA FREIOS SEM ABS COM ATIVA??O NAS QUATRO RODAS
if(freio == true and brake4x == true and ABS == false and ABS_EXP == false
and ABS4x == false) then
    desiredWheelRotSpeed=0
    brake_force_left = 2000
    brake_force_right = 2000
    sim.setJointForce(motorLeft, 2000)
    sim.setJointForce(motorRight, 2000)
    print('Metodo 2 : Distancia SEM ABS 4x Rodas',distance)
end

--CONDICOES PARA FREIOS COM ABS APENAS NA DIANTEIRA---
if(freio == true and ABS == true and ABS_EXP == false and ABS4x == false
and brake4x == false) then
    desiredWheelRotSpeed=0
    sim.setJointForce(motorLeft, 0)
    sim.setJointForce(motorRight, 0)
    print('Metodo 3: Distancia COM ABS2x',distance)
    if(slip_right < 0.2)then
        brake_force_right = 2000
    elseif(slip_left < 0.2)then
        brake_force_left = 2000
    else
        brake_force_left = 0
        brake_force_right = 0
    end
end

--CONDICOES PARA FREIOS COM ABS COM TRAVAMENTO NA DIANTEIRA---
if(freio == true and ABS == false and ABS4x == true and ABS_EXP == false
and brake4x == false) then
    desiredWheelRotSpeed=0
    sim.setJointForce(motorRight, 2000)

```

```

sim.setJointForce(motorLeft, 2000)
print('Metodo 4: Distancia COM ABS4x',distance)
if(slip_right < 0.2)then
    brake_force_right = 2000
elseif(slip_left < 0.2)then
    brake_force_left = 2000
else
    brake_force_left = 0
    brake_force_right = 0

end
end

--FREIOS COM ABS NAS QUATRO RODAS
if(freio == true and ABS_EXP == true and ABS == false and ABS4x == false
and brake4x == false) then
    desiredWheelRotSpeed=0
    print('Metodo 5: Distancia COM ABS4x EXP',distance)
    if(slip_right < 0.2)then
        brake_force_right = 2000
        sim.setJointForce(motorRight, 2000)
    elseif(slip_left < 0.2)then
        brake_force_left = 2000
        sim.setJointForce(motorLeft, 2000)
    else
        brake_force_left = 0
        brake_force_right = 0
        sim.setJointForce(motorLeft, 0)
        sim.setJointForce(motorRight, 0)

    end
end
-- ACIONAMENTO DO MOTOR
sim.setJointTargetVelocity(motorLeft,desiredWheelRotSpeed)
sim.setJointTargetVelocity(motorRight,desiredWheelRotSpeed)
--COMANDO DE ACIONAMENTO DOS FREIOS
sim.setJointForce(brake_right, brake_force_right)
sim.setJointForce(brake_left, brake_force_left)

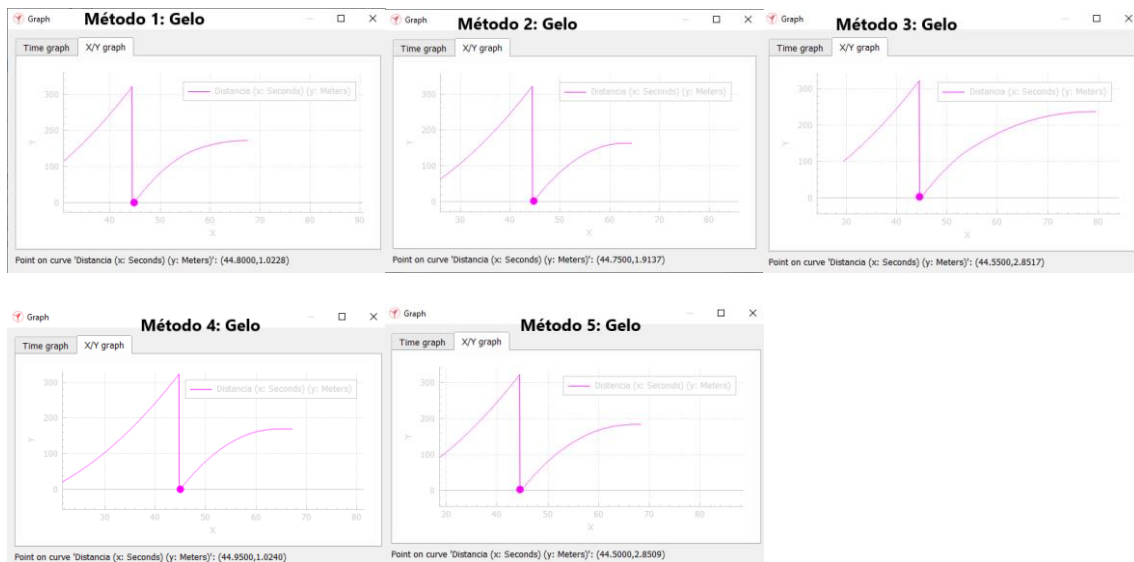
sim.switchThread() -- Resume the script at next simulation loop start
end
end

```

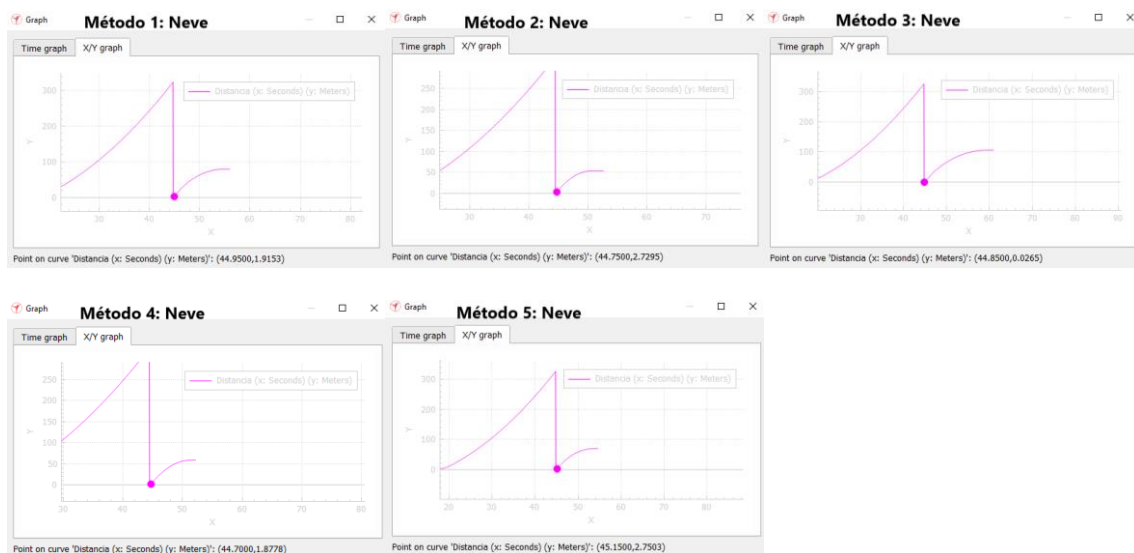
APÊNDICE B - GRÁFICOS GERADOS PELO COPPELIASIM.

Gráficos obtidos para cálculo de distância e tempo de parada.

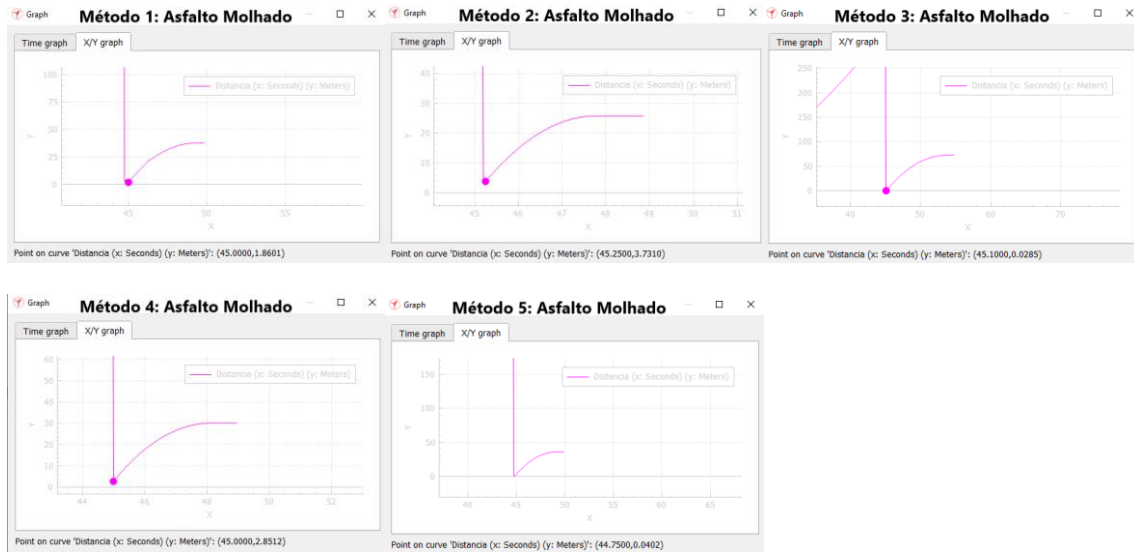
Métodos: Gelo (0,1)



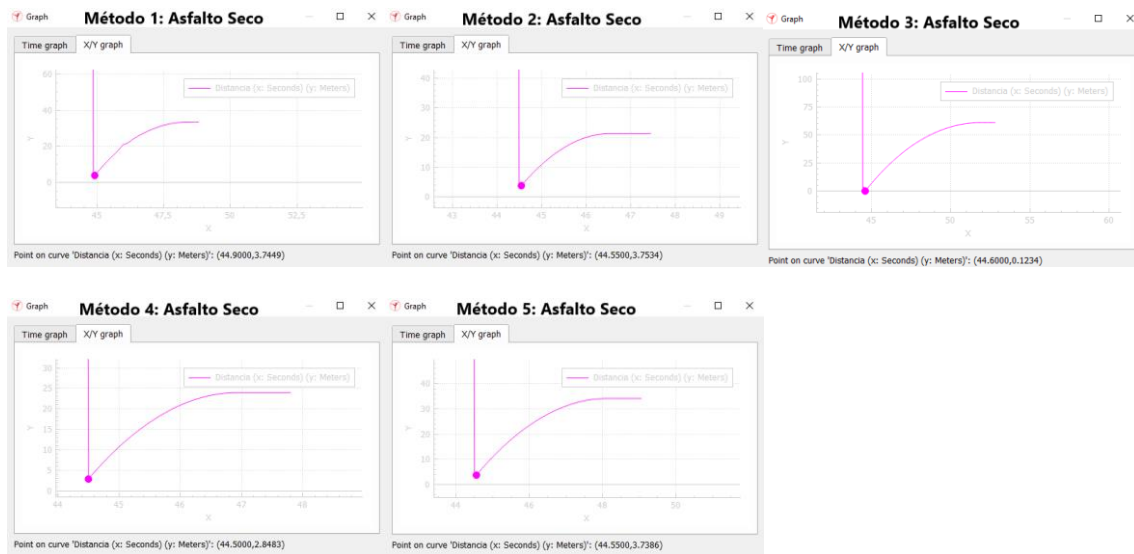
Métodos: Neve (0,3)



Métodos: Asfalto Molhado (0,7)



Métodos: Asfalto Seco (0,9)



APÊNDICE C - DADOS COLETADOS DURANTE A SIMULAÇÃO.

Simulação no CoppeliaSim - Coeficiente (0,1)			
Configuração	Distancia de parada [m]	Tempo de parada[s]	Velocidade [m/s]
Metodo 1	176,31	23,1	18
Metodo 2	163,19	18,35	18
Metodo 3	220,79	32,2	18
Metodo 4	165,47	20,25	18
Metodo 5	172,87	21,3	18
Calculado	165,138	18,35	18

Simulação no CoppeliaSim - Coeficiente (0,3)			
Configuração	Distancia de parada [m]	Tempo de parada[s]	Velocidade [m/s]
Metodo 1	68,99	8,95	18
Metodo 2	53,15	6,15	18
Metodo 3	99,09	14,1	18
Metodo 4	57,19	6,9	18
Metodo 5	60,92	7,65	18
Calculado	55,046	6,116	18

Simulação no CoppeliaSim - Coeficiente (0,7)			
Configuração	Distancia de parada [m]	Tempo de parada[s]	Velocidade [m/s]
Metodo 1	35,56	4,45	18
Metodo 2	25,8	2,65	18
Metodo 3	71,36	8,75	18
Metodo 4	29,47	3,15	18
Metodo 5	33,9	4,3	18
Calculado	23,591	2,621	18

Simulação no CoppeliaSim - Coeficiente (0,9)			
Configuração	Distancia de parada [m]	Tempo de parada[s]	Velocidade [m/s]
Metodo 1	32,75	3,8	18
Metodo 2	20,47	2,1	18
Metodo 3	57,81	7,25	18
Metodo 4	23,75	2,5	18
Metodo 5	31,6	3,55	18
Calculado	18,349	2,039	18