



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Mecatrónica

Trabalho de Projeto

**Obtenção de perfis de condução através de dados
provenientes da rede CAN do veículo**

João Pedro Santos Gonçalves

Orientador(es) | José Eugénio Garção

Évora 2024



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Mecatrónica

Trabalho de Projeto

**Obtenção de perfis de condução através de dados
provenientes da rede CAN do veículo**

João Pedro Santos Gonçalves

Orientador(es) | José Eugénio Garção

Évora 2024



O trabalho de projeto foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Fernando Manuel Janeiro (Universidade de Évora)

Vogais | Jorge Miguel Peralta Siopa (Instituto Politécnico de Leiria) (Arguente)
José Eugénio Garção (Universidade de Évora) (Orientador)

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar um sincero agradecimento ao Professor Eugénio Garção pela orientação esclarecedora, informada e explícita prestada no decorrer deste trabalho. Pretende dirigir-se um especial agradecimento à Professora Isabel Malico que permitiu ao autor uma introdução e consequente familiarização aos métodos de investigação académicos. O autor agradece ainda a toda a sua família e amigos por todo o apoio e, os acompanhamentos prestados nesta importante etapa da vida pessoal e académica.

RESUMO

OBTENÇÃO DE PERFIS DE CONDUÇÃO ATRAVÉS DE DADOS PROVENIENTES DA REDE CAN DO VEÍCULO

A energia utilizada num percurso, o desgaste dos componentes de um veículo e a segurança dos ocupantes e utilizadores da estrada são função do perfil de condução adotado pelo respetivo condutor. Neste trabalho são utilizados os dados disponibilizados pelas unidades eletrónicas de controlo do veículo, para procurar caracterizar o comportamento de um condutor a nível de consumos e emissões poluentes, conforto dos passageiros e segurança, e desgaste imposto em componentes mecânicos do sistema de travagem.

No âmbito deste trabalho implementou-se um sistema de recolha de dados de um veículo utilizando a porta de diagnóstico, ligada a um telemóvel que os transmite em tempo real para um sistema de armazenamento de dados remoto. Com base na análise dos dados recolhidos foram propostos parâmetros e investigada a sua aplicabilidade na caracterização de estilos de condução.

Palavras-chave: ECU; CAN; OBD2; Perfis de condução; Desgaste

ABSTRACT

OBTAINING VEHICLE DRIVER PROFILES USING THE AVAILABLE CAN NETWORK

The energy used on a journey, the wear and tear on a vehicle's components and the safety of occupants and road users are a function of the driving profile adopted by the respective driver. In this work, data made available by the vehicle's electronic control units are used to try to characterize a driver's behaviour in terms of consumption and pollutant emissions, passenger comfort and safety, and wear imposed on the vehicle's mechanical components of the braking system.

As part of this work, a vehicle data collection system was implemented using the diagnostic port, connected to a mobile phone that transmits it in real time to a remote data storage system. Based on the analysis of the collected, a set of parameters was proposed with the intent of characterizing driving styles, and their applicability was investigated.

Keywords: ECU; CAN; OBD2; Driving profiles; Wear

ÍNDICE DE CONTEÚDOS

Conteúdos

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	III
Índice de Conteúdos	IV
Acrónimos e Siglas	VI
Lista de Figuras.....	VIII
Lista de Tabelas	XI
Capítulo I: Introdução.....	1
1.1 Breve contexto histórico	1
1.2 Motivação e objetivos.....	3
1.3 Tecnologias automóveis	3
1.3.1 <i>Eletronic Control Unit</i> (ECU).....	3
1.3.2 Rede CAN.....	5
1.3.3 Sistema de diagnóstico (OBD2).....	7
1.4 Tecnologias de informação e comunicação	9
1.4.1 <i>Bluetooth</i>	9
1.4.2 Redes Telecomunicações	11
1.4.3 <i>Application Programming Interface</i> (API).....	13
Capítulo II: Implementação do sistema de recolha e de dados	15
2.1 Introdução	15
2.2 <i>Hardware</i>	16
2.2.1 Adaptador multifuncional OBD2.....	16
2.2.2 <i>Smartphone</i>	16
2.2.3 <i>Raspberry Pi</i>	17
2.3 <i>Software</i>	18
2.3.1 <i>Torque Pro Android APP (Software)</i>	18
2.3.2 <i>Bimmer Link APP (Software)</i>	21

2.3.3	<i>Home Assistant (Software)</i>	23
Capítulo III: Extração de informação dos dados disponibilizados pelo sistema de recolha		28
3.1	Estabelecimento de perfis de condução	28
3.1.1	Percurso e veículo.....	29
3.1.2	Parâmetro ecológico	31
3.1.3	Parâmetro de conforto	41
3.1.4	Parâmetro de desgaste do veículo	63
Capítulo IV: Conclusão e futuros desenvolvimentos		80
4.1	Conclusão	80
4.2	Futuros desenvolvimentos	81
Bibliografia		82

ACRÓNIMOS E SIGLAS

1G - I Generation

2G - II Generation

3G - III Generation

4G - IV Generation

5G - V Generation

ABS - Anti Blocking System

ACK - Acknowledgement

API - Application Programming Interface

CAN - Controller Area Network

CRC - Cyclic Redundancy Checks

DLC - Diagnostic Link Connector

DLC - Data Length Code

DNS - Domain Name System

DTC - Diagnostic Trouble Codes

ECM - Electronic Control Module

ECU - Electronic Control Unit

ECU - Engine Control Unit

EEC - Electronic Engine Control

EDGE - Enhanced Data for Global Evolutions

EOBD - European on-board diagnostics

EOF - End Of Frame

FCS - Frame Check Sequences

FD - Flexible Data rate

GPRS - General Packet Radio Service

GSM - Global System for Mobile

HS - High Speed

HSPA - High Speed Packet Access

HTTP - Hypertext Transfer Protocol

ICT - Information and Communication Technologies
IP - Internet Protocol
ISP - Internet Service Provider
IDE - Identifier Extension
IFS - Inter Frame Spacing
IOT - Internet Of Things
ISDN - Integrated Services Digital Network
LTE - Long Term Evolution
LS - Low Speed
NAT - Network Address Translation
NR - New Radio
OBD - On-Board Diagnostic
OBD1 - On-Board Diagnostic I
OBD2 - On-Board Diagnostic II
PCM - Powertrain Control Module
PID - Parameters Identifications
RPC - Remote Procedure Calls
SOF - Start Of Frame
UMTS - Universal Mobile Telecommunications System
URL - Uniform Resource Locator

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Microprocessador TLCS-12; (<i>The First Japanese Microprocessor Was Toshiba's 12 Bit MPU</i> , n.d.)	4
Figura 2: Vantagem de utilização das redes CAN; (Kwon et al., 2017).....	5
Figura 3: Mensagem CAN FD; (<i>CAN FD Protocol</i> , n.d.)	7
Figura 4: Evolução temporal OBD; (Electronics, 2021).....	8
Figura 5: Ligações e protocolos OBD; (<i>Dyno-Scanner for Dynamometer and Windows Automotive Scanner Multi-languages</i> , n.d.)	9
Figura 6: Rede <i>Bluetooth</i> (<i>piconet</i>); (Valeri, 2021).....	10
Figura 7: Esquema de funcionamento de uma rede móvel; (<i>EMF - AS REDES MÓVEIS EXPLICADAS - N2</i> , n.d.-b)	12
Figura 8: Esquema de funcionamento de uma API; (Srikanth, 2023)	13
Figura 9: Esquema da metodologia implementada	15
Figura 10: Ligação do adaptador multifuncional à porta DLC; (<i>VGate VLinker MC+</i> , n.d.).....	16
Figura 11: <i>Hardware</i> da instalação do servidor <i>online</i> ; (<i>Cytron Technologies</i> , n.d.).....	18
Figura 12: Aplicação <i>Torque</i> - Configuração do <i>Bluetooth</i>	19
Figura 13: Aplicação <i>Torque</i> - Configuração dos PID's.....	19
Figura 14: Aplicação <i>Torque</i> - Configuração do envio de dados para a <i>internet</i>	20
Figura 15: Aplicação <i>Torque</i> - Configuração do perfil do veículo	20
Figura 16: Aplicação <i>Bimmer Link</i> ; (<i>SG Software GmbH & Co. KG</i> , n.d.).....	21
Figura 17: <i>Home Assistant</i> - Configurações da rede	25
Figura 18: <i>Home Assistant</i> - Configurações da API.....	25
Figura 19: <i>Home Assistant</i> - Interface gráfica	26
Figura 20: <i>Home Assistant</i> - <i>Companion APP</i>	27
Figura 21: Percurso utilizado para testes	30
Figura 22: Especificações técnicas do motor do veículo.....	30
Figura 23: Valores médios por volta.....	35
Figura 24: Variações percentuais médias relativamente à volta mais lenta.....	36
Figura 25: Relação dos acumulados totais (Consumo de combustível)	38

Figura 26: Relação dos acumulados totais (Rotações do motor)	39
Figura 27: Relação dos acumulados totais (Emissões de CO ₂).....	40
Figura 28: Relação dos acumulados totais (Consumo de ar)	41
Figura 29: Componentes vetoriais da aceleração	43
Figura 30: Alinhamento dos referenciais; (Bassetti et al., 2022)	44
Figura 31: Posição geográfica da magnitude da velocidade em função do tempo (Volta Eco)	46
Figura 32: Posição geográfica da magnitude da velocidade em função do tempo (Volta Normal)	46
Figura 33: Posição geográfica da magnitude da velocidade em função do tempo (Volta Desportiva)	47
.....	
Figura 34: Magnitude da aceleração lateral em função da distância	48
Figura 35: Posição geográfica da magnitude da aceleração lateral (Volta Desportiva).....	48
Figura 36: Magnitude da aceleração lateral em função do tempo adimensionalizado	49
Figura 37: Resumo estatístico da aceleração lateral	49
Figura 38: Magnitude da derivada da aceleração lateral em função da distância	50
Figura 39: Classificação intervalar da aceleração lateral com separação de eventos.....	50
Figura 40: Resumo estatístico da derivada da aceleração lateral	51
Figura 41: Magnitude da derivada da aceleração lateral em função do tempo adimensionalizado	51
Figura 42: Classificação intervalar da derivada da aceleração lateral com separação de eventos	52
Figura 43: Magnitude da aceleração longitudinal em função da distância.....	53
Figura 44: Posição geográfica da magnitude da aceleração longitudinal (Volta Desportiva)	53
Figura 45: Resumo estatístico da aceleração longitudinal	54
Figura 46: Magnitude da aceleração longitudinal em função do tempo adimensionalizado	54
Figura 47: Magnitude da derivada da aceleração longitudinal em função da distância.....	55
Figura 48: Classificação intervalar da aceleração longitudinal com separação de eventos .	55
Figura 49: Magnitude da derivada da aceleração longitudinal em função do tempo adimensionalizado	56
.....	
Figura 50: Resumo estatístico da derivada da aceleração longitudinal	56
Figura 51: Classificação intervalar da derivada da aceleração longitudinal com separação de eventos	57
.....	
Figura 52: Posição geográfica da magnitude da aceleração “vertical” (Volta Desportiva) .	58

Figura 53: Resumo estatístico da aceleração “vertical”	59
Figura 54: Magnitude da aceleração “vertical” em função do tempo adimensionalizado ...	59
Figura 55: Magnitude da aceleração “vertical” em função da distância.....	60
Figura 56: Classificação intervalar da aceleração “vertical” com separação de eventos	60
Figura 57: Magnitude da derivada da aceleração “vertical” em função do tempo adimensionalizado	61
Figura 58: Magnitude da derivada da aceleração “vertical” em função da distância.....	61
Figura 59: Resumo estatístico da derivada da aceleração “vertical”	62
Figura 60: Classificação intervalar da derivada da aceleração “vertical”	62
Figura 61: Forças dinâmicas atuantes, movimento retilíneo.; (Artlines Design, n.d.)	64
Figura 62: Dados técnicos Mini F54 SD.....	67
Figura 63: Dimensões do veículo em mm.; (Caetano Baviera, 2023)	68
Figura 64: Dimensões de pastilhas e discos Mini F54 SD.; (AUTODOC, 2024).....	69
Figura 65: Teste 1	73
Figura 66: Teste 2	74
Figura 67: Teste 3	74
Figura 68: Forças resistivas ao avanço de cada teste.....	75
Figura 69: Potência dissipada pelo acionamento do sistema de travagem no Teste 3	76
Figura 70: Distribuição do binário de travagem dados CAN vs. dados analíticos	77
Figura 71: Forças de travagem que se desenvolvem na roda e disco; (Jensen et al., 2024b)	78
Figura 72: Desgaste acumulado durante a travagem	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição dos PID.....	32
Tabela 2: Diferenças entre voltas das variáveis.....	34
Tabela 3: Resumo estatístico das variáveis por volta.....	34
Tabela 4: Classificação intervalar da aceleração lateral total de eventos.....	50
Tabela 5: Classificação intervalar da derivada da aceleração lateral (total de eventos).....	52
Tabela 6: Classificação intervalar da aceleração longitudinal (total de eventos).....	55
Tabela 7: Classificação intervalar da derivada da aceleração longitudinal (total de eventos).....	57
Tabela 8: Classificação intervalar da aceleração “vertical” (total de eventos).....	60
Tabela 9: Classificação intervalar da derivada da aceleração “vertical” (total de eventos).....	62
Tabela 10: PID <i>Bimmer Link</i>	63

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1.1 Breve contexto histórico

Mundialmente, e segundo algumas fontes, o automóvel será o meio de transporte de passageiros e mercadorias mais utilizado. A população mundial aproximar-se-á de 8.1 mil milhões em 2024 (*World Population Clock*, 2014), e existem aproximadamente 1.5 mil milhões de veículos no mundo (Admin, 2024). De um ponto vista estatístico é possível inferir que um em cinco seres humanos conduzem um automóvel. Presentemente a indústria automóvel é bastante representativa dos rápidos avanços tecnológicos, onde esta é uma das principais impulsionadoras dos desenvolvimentos atingidos.

Desde a invenção do automóvel por Karl Benz, o *Patent-Motorwagen*, apresentado em 1885, houve uma significativa evolução tecnológica na indústria automóvel. No automóvel de Benz, a eletricidade era exclusivamente utilizada numa bobine de alta tensão (Mercedes-Benz Group, n.d.), que permitia fazer a ignição do combustível (gasolina), a eletricidade foi então utilizada por uma motivação técnica. Nos primeiros anos do século XX, a segurança de circulação motivou os construtores automóveis a desenvolverem dispositivos elétricos para iluminar a estrada, estes dispositivos demoraram cerca de uma década a serem comuns nos automóveis visto que as limitações técnicas daquela altura, tornavam difícil desenvolver um dínamo de dimensões adequadas para instalar num automóvel, cuja potencia fosse suficiente para fornecer a energia necessária para fazer funcionar uma lâmpada (*The Evolution of Car Headlights*, n.d.). Até à década de 70 do século XX, vários sistemas de segurança ativa e passiva bem como de conforto, baseados na evolução das tecnologias, foram gradualmente introduzidos nos automóveis. O fabricante inglês de automóveis Jensen em 1966, lançou o primeiro carro com um sistema de segurança ativa, denominado *Anti Blocking System* (ABS) (Glon, 2019). No início da década de 70, a General Motors começou a disponibilizar veículos equipados com *airbags*, uma tecnologia de segurança passiva (Wikipedia contributors, 2024). Em 1939, a Packard foi o primeiro fabricante automóvel a disponibilizar ar condicionado nos automóveis (Glide, 2024).

A partir de 1970, uma nova era tecnológica começou a difundir-se no mundo, e a indústria automóvel começou a receber os seus benefícios. Os computadores começaram a ser um componente nevrálgico dos automóveis, ao receberem informação de vários transdutores distribuídos pelo veículo, e ao

utilizar a capacidade de processamento do computador, era então possível desencadear ações nos vários atuadores do veículo baseadas na análise da informação recolhida pelos sensores.

Na década de 70 do século XX, a indústria eletrónica japonesa começou a produzir circuitos integrados e microcontroladores com o intuito de comandar motores de automóveis. O sistema pioneiro, *Electronic Engine Control* (EEC) foi apresentado pela Ford em 1975 e foi a primeira *Electronic Control Unit* (ECU) aplicada num automóvel (Wikipedia contributors, 2024b). Num veículo moderno podem existir cerca de 150 ECU, cada uma responsável por gerir um subsistema específico do automóvel.

Embora a eletrificação e digitalização do automóvel tenham trazido uma vantagem em relação à velocidade de atuação dos dispositivos elétricos em comparação com os dispositivos mecânicos, trouxeram também algumas dificuldades técnicas que importava debelar. Uma notória desvantagem era a introdução de massa adicional no veículo, proveniente dos vários fios de cobre necessários para conectar todos os sensores e atuadores dos veículos ao computador do veículo.

A solução para mitigar esta questão técnica foi apresentada em 1986 pela empresa alemã Robert Bosch GmbH e denominava-se de *Controller Area Network* (CAN) *bus*. Esta rede formava um meio de comunicação que permitia aos microcontroladores interagir com os sensores e atuadores dos veículos, através de um protocolo de mensagens concebido com o princípio de multiplexagem permitindo reduzir a utilização de cobre (*CAN FD Protocol*, n.d.).

Por esta altura o número de veículos em circulação aumentava rapidamente, os problemas ambientais começavam a estar na ordem do dia e a ser uma preocupação real para os líderes governamentais de todo o mundo, consequência estes encorajaram os construtores automóveis a conceber sistemas de controlo de emissões. O sistema *On-Board Diagnostic* (OBD) foi então desenvolvido para normalizar os diagnósticos aos veículos e reportar os seus resultados de uma forma prática, acessível e uniforme. Um dos principais benefícios deste sistema era permitir o acesso ao estado de vários subsistemas dos veículos e a quantidade de informação disponibilizada foi amplamente aumentada desde a sua introdução. Uma evolução do sistema OBD, o *On-Board Diagnostic II* (OBD2), tornou-se obrigatório em 1996, para todos os veículos vendidos nos Estados Unidos da América, e em 2001 e 2004 o equivalente europeu do OBD2, o *European On-Board Diagnostic* (EOBD), foi tornado obrigatório pela União Europeia para veículos movidos a gasolina e gasóleo respetivamente.

Atualmente com as tecnologias *Information and Communication Technologies* (ICT) é possível aceder à informação extraída dos dispositivos OBD2, através da internet e em tempo real. Através da

utilização de um *smartphone* com acesso à rede de telecomunicações e conectado a um dispositivo OBD2 com o protocolo *Bluetooth* permite o fluxo de dados mencionado. Ao instalar uma aplicação específica no *smartphone*, esta pode interagir com um *software* de base de dados através de uma *Application Programming Interface* (API). O *software* de automação residencial permite a visualização da informação em tempo real, até no próprio veículo, e armazenar esta informação para posterior consulta. Uma das principais vantagens deste *software* é permitir o armazenamento de informações de uma frota de veículos e com isso poder melhor geri-la e planejar a sua manutenção.

1.2 Motivação e objetivos

A escolha do tema deste trabalho, deveu-se a uma combinação de interesses pessoais com as matérias lecionadas no mestrado de Engenharia Mecatrónica. A minha experiência profissional como instrutor de condução, bem como a minha carreira académica em Engenharia Mecânica Automóvel e Engenharia Mecatrónica, ilustram o meu particular interesse nas tecnologias e na indústria automóvel, e revelaram-se decisivas na escolha do tema deste trabalho.

A motivação deste trabalho foi avaliar as potencialidades da utilização dos dados dos sensores dos veículos, para poder disponibilizar informação aos condutores que os auxiliem na compreensão de como a sua condução pode impactar na segurança de circulação nas estradas, desempenho e desgaste dos veículos.

O objetivo deste trabalho foi de caracterizar um perfil de condução, através da sua segmentação em parâmetros, que pudessem ser estudados com os dados extraídos da rede CAN do veículo. Um parâmetro ecológico, um parâmetro de conforto e um parâmetro de desgaste foram então elaborados e foram realizadas análises aos dados distintas em todos eles. Após a análise dos dados foi possível obter indicadores de como será o comportamento do condutor em diferentes situações e segundo os parâmetros que constituem o perfil de condução.

1.3 Tecnologias automóveis

1.3.1 *Electronic Control Unit* (ECU)

1.3.1.1 Contexto histórico

A Ford, fruto das relações comerciais com a Toshiba desde a década de 60, recorreu ao seu parceiro para o desenvolvimento de um sistema eletrónico de controlo de motores. Em resposta, a Toshiba desenvolveria um sistema computadorizado para controlo de motores, denominado EEC pela

companhia americana Ford. Esta terá sido a primeira ECU utilizada num veículo (Wikipedia contributors, 2024b).

Esta ECU, com a designação de TLCS-12, de que se apresenta uma foto na Figura 1, foi produzida pela empresa japonesa Toshiba e anunciada ao público em 1973. Seria o primeiro microprocessador a ser utilizado num automóvel, sendo a sua principal característica diferenciadora a utilização de *words* de 12 *bits* quando na época, a Intel vendia um microprocessador de 8 *bit* e teria previsto lançar um de 16 *bits*.

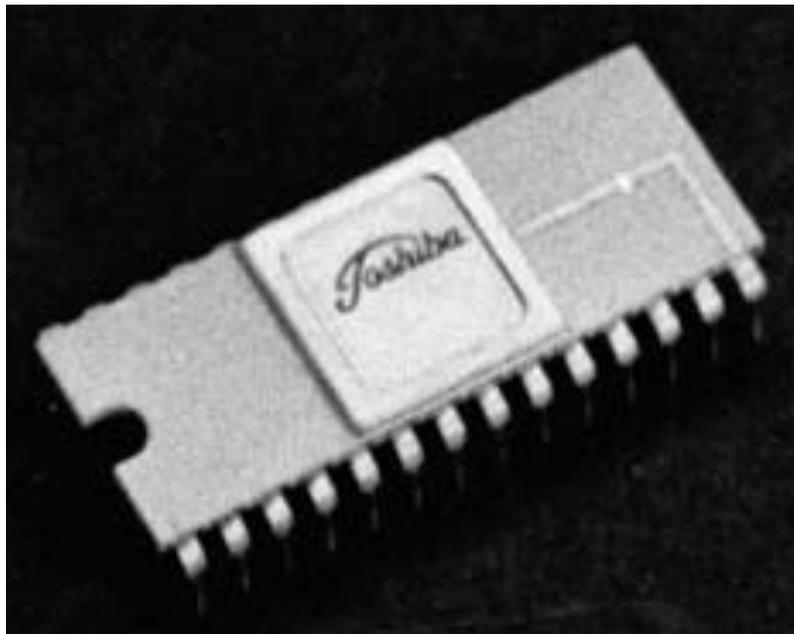


Figura 1: Microprocessador TLCS-12; (*The First Japanese Microprocessor Was Toshiba's 12 Bit MPU*, n.d.)

1.3.1.2 Descrição do sistema

O acrónimo ECU é um termo ambíguo que se refere a *Eletronic Control Unit* ou a *Engine Control Unit* (ECU). A primeira ECU desenvolvida pela Toshiba representa um exemplo dessa ambiguidade visto que era uma *Eletronic Control Unit* e uma *Engine Control Unit*. O uso do termo ECU pode referir-se à unidade de controlo do motor ou a uma unidade de sistema eletrónico que pode gerir diversos subsistemas do automóvel dentre eles o controlo eletrónico do motor. Para clarificar esta ambiguidade pode-se referir a unidade de controlo eletrónico como *Eletronic Control Module* (ECM).

No presente os veículos estão equipados com várias ECU (ECM) que podem operar em sistemas tão díspares como a gestão do motor, a gestão da transmissão, a gestão da suspensão, a gestão de sistemas de conforto entre outros. As ECU recebem informação dos transdutores/sensores do veículo e enviam informação aos atuadores do veículo para realizarem ações, após executarem análise de dados com algoritmos pré-programados nas suas memórias.

Com a evolução da tecnologia automóvel, e com a instalação de cada vez mais sensores e atuadores nos carros ao serviço dos diversos sistemas embebidos, podem existir uma grande quantidade (>150) de ECU nos veículos.

As ECU presentes nos veículos funcionam de forma comunitária, existindo partilha de informação entre elas, de forma a otimizar a performance do veículo a sua funcionalidade e o conforto do utilizador. Esta partilha de informação é conseguida através do recurso à rede CAN *bus* instalada no automóvel.

1.3.2 Rede CAN

1.3.2.1 Contexto histórico

A tecnologia CAN *bus* foi desenvolvida pela companhia alemã Bosch no início dos anos 80. O seu desenvolvimento resultou da necessidade de reduzir a complexidade e peso das cablagens, dos automóveis, criando um sistema de comunicação mais eficiente entre as então emergentes ECU dos veículos, exemplificado na Figura 2. Nessa altura a eletrónica começava a predominar nos veículos

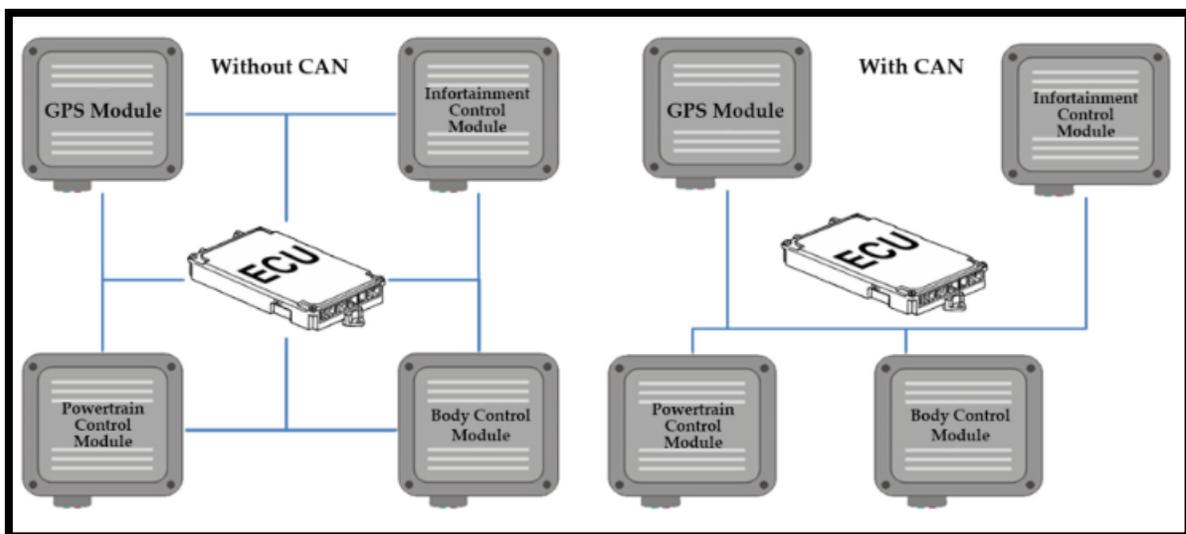


Figura 2: Vantagem de utilização das redes CAN; (Kwon et al., 2017)

e a instalação de vários sensores e atuadores eletrônicos aumentavam a necessidade da existência de mais cablagens nas suas conexões, com o conseqüente aumento de peso e complexidade, e as redes CAN foram então a resposta para este problema (*CAN FD Protocol*, n.d.).

A sua robustez e fiabilidade rapidamente levou a que os fabricantes automóveis a adotassem nos seus veículos. Assim em 1991 a Mercedes Benz foi pioneira na utilização do sistema nos seus veículos de produção.

Mais indústrias adotaram a utilização das redes CAN, devido ao seu baixo custo de implementação e fiabilidade reconhecida. As redes CAN estão atualmente amplamente difundidas em sistemas de automação industrial.

1.3.2.2 Descrição do sistema

A rede CAN é um protocolo de comunicação em série que realiza a conexão entre as diversas ECU dos veículos. A sua implementação é simples e eficiente e permite aceder às informações das ECU dos veículos e à realização de diagnósticos para reparações de avarias. Numa rede CAN todos os elementos estão conectados por dois cabos entrelaçados de forma a minimizar os erros induzidos pelos campos magnéticos. Cada nó do Sistema tem uma ECU de um determinado sistema associado, que gere a receção e o envio das mensagens. Estas mensagens são enviadas para o canal de informação partilhado (*bus*), ficando estas disponíveis para todos os outros nós da rede.

Existem 3 tipos de redes CAN. *Low Speed* (LS) CAN, com velocidades até 125 kb s^{-1} , é utilizada para sistemas cujo erro não afeta a segurança do veículo como é o exemplo do controlo eletrónico dos vidros ou portas do veículo. Para sistemas onde as respostas têm de ser rápidas sob pena de falha na segurança, é utilizada *High Speed* (HS) CAN com velocidades até 1 Mb s^{-1} . Atualmente existe a *Flexible Data rate* (FD) CAN que é uma evolução da HS CAN, que permite velocidades até 5 Mb s^{-1} e que é uma resposta às crescentes necessidades devido ao aumento da complexidade dos sistemas. De forma a assegurar uma elevada eficiência de funcionamento e fiabilidade algumas funcionalidades estão implementadas no protocolo CAN *bus* tais como, verificação de prioridade das mensagens, por forma a evitar sobreposição destas quando duas ou mais ECU emitem simultaneamente mensagens para a rede, deteção de erros através de *Frame Check Sequences* (FCS) e *Cyclic Redundancy Checks* (CRS) e ainda *Acknowledgement* (ACK) *bit* que asseguram a qualidade dos dados transmitidos (*CAN FD Protocol*, n.d.).

A estrutura de uma mensagem na rede CAN consiste em vários campos conforme demonstrado na Figura 3 (*CAN FD Protocol*, n.d.).

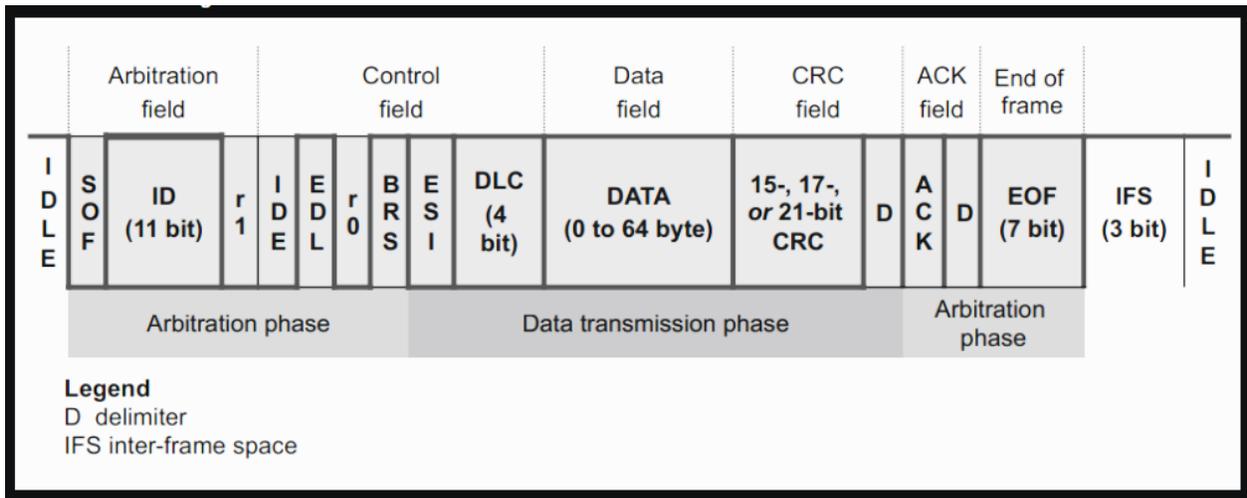


Figura 3: Mensagem CAN FD; (*CAN FD Protocol*, n.d.)

A mensagem começa com o *Start Of Frame (SOF) bit*, segue-se um *Arbitration field* de 11 bits que define a prioridade da mensagem, segue-se o *Control field* que contém um *Identifier Extension (IDE) bit*, um bit reservado (R0) seguido de 4 bits *Data Length Code (DLC)* que definem a quantidade de bytes, entre zero e oito, presentes no campo de *Data*. O *Data field* pode conter entre 0 e 64 bits e contém a informação a ser transmitida. Segue-se o *CRC field* com 16 bits, que se encarrega dos erros na transmissão e que requer uma nova se necessário. O *ACK field* encarrega-se de informar se os dados foram recebidos corretamente. O *End Of Frame (EOF) field*, contém 7 bits e tem como função indicar o fim da mensagem. Por último o *Inter Frame Spacing (IFS) field* de 3 bits serve para realizar o espaçamento entre mensagens (*CAN FD Protocol*, n.d.).

1.3.3 Sistema de diagnóstico (OBD2)

1.3.3.1 Contexto histórico

No início dos anos oitenta do século XX a tecnologia *On-Board Diagnostic I (OBD1)* foi desenvolvida na América do Norte, o governo incentivou então, os construtores automóveis a desenvolverem e implementarem nos veículos sistemas de controlo de emissões.

Na época as questões ambientais começaram a ser uma preocupação real, sendo o sistema OBD1 capaz de fornecer informações fundamentais sobre emissões poluentes dos veículos, a tecnologia foi tornada obrigatória para todos os novos veículos a partir de 1991 nos Estados Unidos da América.

Em 1996 uma versão melhorada do sistema, o OBD2, foi tornada obrigatória para todos os veículos vendidos nos Estados Unidos da América e em 2001 uma versão europeia, o EOBD, foi regulamentada como obrigatória em todos os veículos a gasolina e finalmente em 2004 a obrigatoriedade estendeu-se a todos os veículos movidos a *diesel* (Wikipedia contributors, 2024c). A Figura 4, resume esta cronologia.

1.3.3.2 Descrição do sistema:

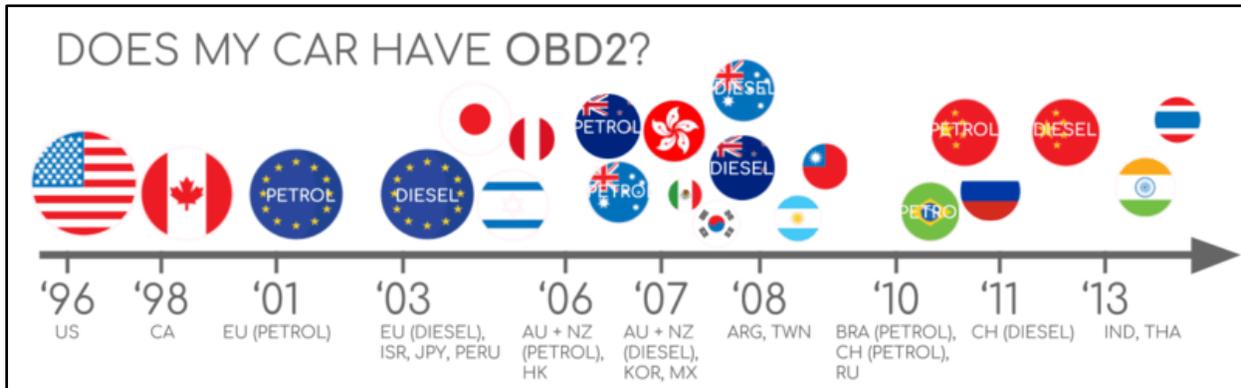


Figura 4: Evolução temporal OBD; (Electronics, 2021)

A tecnologia OBD2 permite o diagnóstico de vários sistemas do automóvel, através das informações das várias ECU e com o recurso à rede CAN do automóvel. Os veículos construídos após 2004 dispõem de uma porta de acesso ao sistema denominada *Diagnostic Link Connector (DLC)* à qual se conecta um adaptador multifuncional OBD2, que transmite a informação da rede através de uma ligação por fio, por *Wi-Fi* ou por *Bluetooth*. Um *software* instalado num computador ou num *smartphone* permite a visualização da informação. De referir que embora existam algumas informações que as marcas automóveis sejam obrigadas a disponibilizar ao abrigo do protocolo OBD2, outras existem às quais as marcas não permitem o acesso livre, e para lhes aceder serão necessários *softwares* específicos e pagos.

Existem vários tipos de protocolos para efetuar a comunicação da rede CAN ao sistema OBD2, tipicamente o adaptador multifuncional seleciona o protocolo de forma automática, sendo que de uma forma geral os veículos mais recentes utilizam o protocolo ISO 15765-4, a Figura 5 ilustra essas conexões. Estes protocolos permitem acesso a *Parameters Ids* (PID) e *Diagnostic Trouble Codes* (DTC) presentes na rede CAN do veículo (Wikipedia contributors, 2024c).

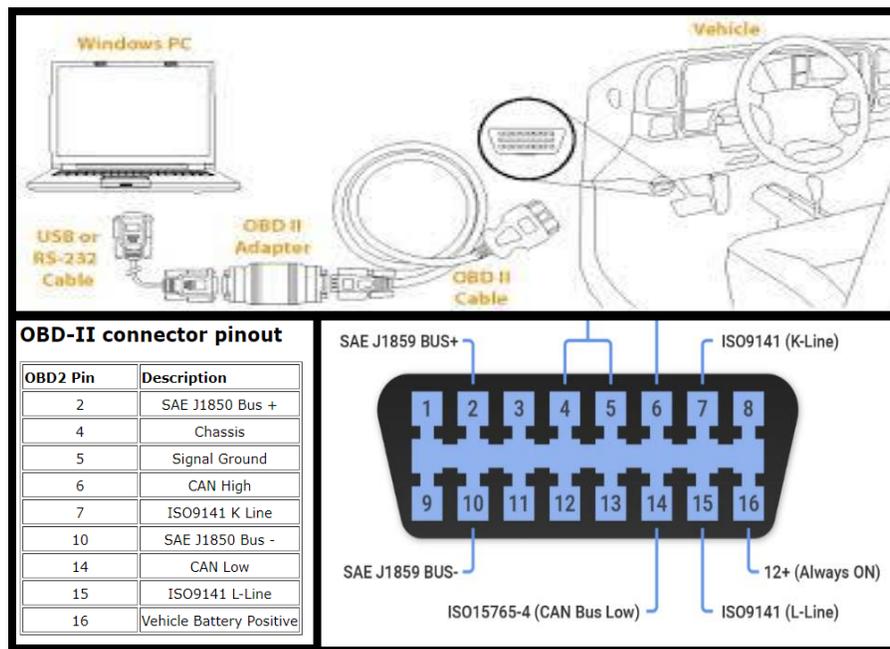


Figura 5: Ligações e protocolos OBD; (*Dyno-Scanner for Dynamometer and Windows Automotive Scanner Multi-languages*, n.d.)

1.4 Tecnologias de informação e comunicação

1.4.1 Bluetooth

1.4.1.1 Contexto histórico

A tecnologia *Bluetooth* é utilizada para a comunicação sem fios entre dispositivos eletrónicos e surgiu no final da década de 90 do século XX. Em 1998 o fabricante de telemóveis Ericsson desenvolveu a tecnologia com o fim de libertar os dispositivos eletrónicos das ligações com fio necessárias para transferir dados entre eles. Esta tecnologia operava em frequências de rádio ao invés do espectro infravermelho, o que permitia a transferência de dados sem os dispositivos estarem fisicamente visíveis uns aos outros.

A tecnologia recebeu o nome do rei dinamarquês Harald I Bluetooth (Auris, 2021), e foi desenvolvida com o intuito de uma vasta gama de dispositivos poderem comunicar entre si com um baixo consumo energético e a um baixo custo.

A tecnologia *Bluetooth* 1.0 foi lançada no mercado em 1999 (Auris, 2021), e a sua primeira utilização foi em telemóveis e computadores fixos, seguido por computadores portáteis e impressoras. A tecnologia rapidamente se difundiu por vários dispositivos como auscultadores e *smartphones*, e a sua ampla utilização levou a que em 2020 tenham sido fabricados 4 mil milhões de produtos com a tecnologia Bluetooth.

1.4.1.2 Descrição do sistema

O protocolo *Bluetooth* funciona numa frequência de 2.4 GHz, na qual também operam os protocolos *ZigBee* e *Wi-Fi*.

As redes *Bluetooth*, usualmente designadas por *piconets*, utilizam um modelo da forma *master/slave* para controlarem o fluxo de dados. Um único dispositivo *master* pode receber a conexão até sete dispositivos *slave*, e estes só podem estar conectados a um dispositivo *master*.

O dispositivo *master* pode enviar dados para todos os dispositivos *slave* e requerer dados destes. Os dispositivos *slave* só podem transmitir dados para o dispositivo. Na Figura 6 mostra-se um esquema de uma rede *piconet*, onde os dispositivos *slave*, ao redor da imagem, comunicam com o dispositivo *master* ao centro da imagem.

Cada dispositivo *Bluetooth* tem um endereço único de 48 *bits* que é apresentado na forma de 12 dígitos hexadecimais. O método de conexão entre os dispositivos é feito inicialmente por um

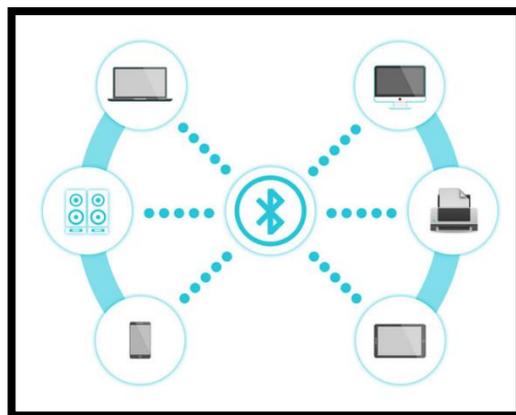


Figura 6: Rede *Bluetooth* (*piconet*);
(Valeri, 2021)

inquerito onde um dispositivo envia um pedido de inquerito para conhecer os dispositivos que estão disponíveis e estes respondem com o seu endereço. De seguida o processo de *pairing* consiste na formação da conexão entre os dispositivos. Finalmente os dispositivos entram no modo de conexão onde podem estar a realizar uma participação ativa ou podem ser postos em modo de baixo consumo de energia (Agarwal, 2021).

1.4.2 Redes Telecomunicações

1.4.2.1 Contexto histórico

As redes de telecomunicações tiveram a sua origem no Japão e remontam a 1979, serviam exclusivamente para realizar chamadas de voz entre habitantes de Tokyo. A rede *I Generation* (1G), encontrava-se difundida por todo o Japão em 1984 e um ano antes começou a ser utilizada nos Estados Unidos. A velocidade de transmissão desta rede era de apenas 2.4 kb s^{-1} , o que resultava em fraca qualidade das chamadas e a sua segurança era débil visto que a falta de encriptação permitia que as chamadas pudessem ser ouvidas por aparelhos de rádio alheios à comunicação (Source, 2023). Em 1987 a união europeia aprovou a norma *Global System for Mobile* (GSM) na Europa. Os serviços móveis baseados em redes GSM, *II Generation* (2G) foram inicialmente lançados na Finlândia em 1991, e nesse mesmo ano a frequência padrão de funcionamento de 900 MHz foi expandida para 1800 MHz. Com a difusão da internet as redes móveis começaram a dispor de serviços capazes de transmissão de dados. Inicialmente a tecnologia *General Packet Radio Service* (GPRS) e a tecnologia *Enhanced Data for Global Evolutions* (EDGE) foram utilizadas, e as suas velocidades de transmissão eram respetivamente de 171 kb s^{-1} e 384 kb s^{-1} e permitiam então o acesso à internet por alguns telemóveis. Em 2001 a rede GSM foi substituída pelo padrão *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) foi o início da rede de comunicações móveis *III Generation* (3G). Inicialmente a tecnologia 3G disponibilizava velocidades de transmissão de 2 Mb s^{-1} e com a introdução da tecnologia *High Speed Packet Access* (HSPA) e HSPA+, a velocidade aumentou para 14 Mb s^{-1} e 42 Mb s^{-1} . No ano de 2010 as redes *Long Term Evolution* (LTE), associadas à *IV Generation* (4G) entraram no mercado, e possibilitaram uma velocidade de até 300 Mb s^{-1} e um aumento significativo do número de utilizadores simultâneos do sistema. Finalmente em 2020 surge a *V Generation* (5G) da rede de telecomunicações com a tecnologia *New Radio* (NR). Esta tecnologia aumenta a velocidade de transmissão para 1 Gb s^{-1} e visa suprimir as necessidades criadas pelos novos dispositivos *Internet of Things* (IOT) (Wikipedia contributors, 2024d).

1.4.2.2 Descrição do sistema

Uma rede de telecomunicações fornece serviços para telemóveis através de sinais de rádio. Elas são constituídas por várias estações base providas de antenas que cobrem uma certa área geográfica chamada de célula, daí o nome telefone celular. Esta estação tem como função receber e enviar as transmissões entres os aparelhos móveis. O aparelho móvel conecta-se à estação base mais próxima através de ondas de rádio e começa a enviar os dados, os quais são recebidos na estação e enviados para a central de dados por cabos subterrâneos ou frequências de rádio. Uma vez que a informação chega à central é encaminhada para o serviço requerido e aguarda por uma resposta. Quando a resposta chega à central esta então segue o caminho inverso e é retornada pelo cabo à estação base e de seguida ao telefone móvel. Para que o telefone móvel possa emitir os dados tem de dispor de um transmissor que os transforma em ondas de rádio e uma antena que serve de ponte de transmissão das ondas de rádio. Para receber dados, o telefone móvel tem de ter um recetor que transforme as ondas de radio em dados. Por norma os telefones móveis têm um dispositivo que se chama de *transceiver*, que é a junção de um recetor e de um emissor num só dispositivo, a Figura 7 exemplifica. Caso exista degradação na qualidade da conexão, a estação base a que o telefone se encontra conectado notifica-o de forma que este possa emitir um sinal à procura de outra estação base com melhor conexão. Este processo é geralmente impercetível ao utilizador e embora a sua execução seja muito rápida, a existência de latência por mais pequena que seja pode levar à perda de dados (AMTA, 2020).

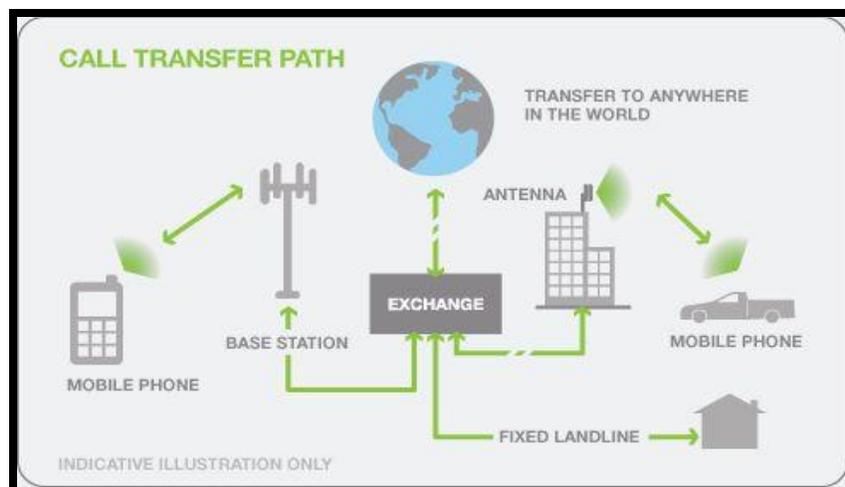


Figura 7: Esquema de funcionamento de uma rede móvel; (EMF - AS REDES MÓVEIS EXPLICADAS - N2, n.d.-b)

1.4.3 *Application Programming Interface* (API)

1.4.3.1 Contexto histórico

O termo API remonta à década de 50 do século XX, na época o termo representava uma forma de facilitar a comunicação entre computadores. Na década de 60 o termo API evoluiu para a interação entre uma aplicação e o resto do computador e na década seguinte o termo foi relacionado com bases de dados. Pela década de 80 as redes de computador começaram a difundir-se e havia uma necessidade de realizar acessos remotos a outros computadores dentro da mesma rede e assim as API permitiam a existência de *Remote Procedure Calls* (RPC), e com isto foi possível compatibilizar a existência de programas que funcionavam em vários sistemas operativos. Na década seguinte o mesmo tipo de procedimento foi conseguido, mas desta vez a rede utilizada para os acessos remotos era a *Internet* (Wikipedia contributors, 2024e). Atualmente as API estão presentes em praticamente todos os acessos realizados pelos utilizadores à internet, como exemplos, elas permitem a realização de compras e pagamentos online, acessos a vários serviços na nuvem, e a obtenção de dados disponibilizados por empresas como a google onde são disponibilizadas várias API aos consumidores, sendo que algumas são pagas e outras de acesso gratuito, a Figura 8 mostra de uma forma elucidativa. As API facilitam a fluência dos dados na internet entre vários dispositivos e várias plataformas e todos os utilizadores da internet recorrem aos serviços das API mesmo sem conhecer a existência destas ou algo sobre o seu funcionamento.

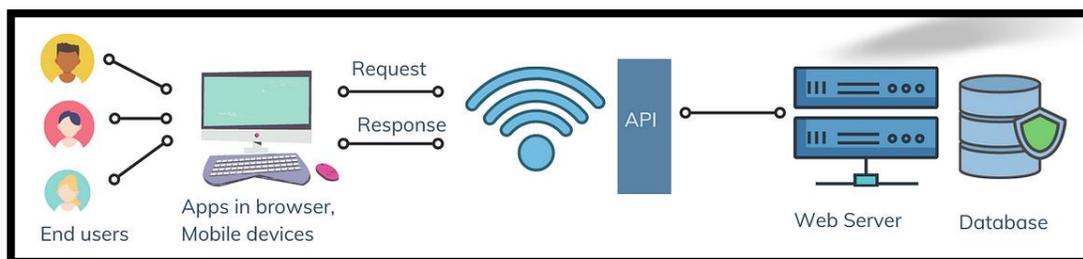


Figura 8: Esquema de funcionamento de uma API; (Srikanth, 2023)

1.4.3.2 Descrição do Sistema

Uma API serve essencialmente para realizar a intermediação da comunicação entre dois *softwares* através da utilização de diferentes regras e protocolos.

O funcionamento do sistema inicia-se através de um pedido API de um cliente API que segue para um servidor, esta ação pode ser desencadeada ao abrir uma aplicação, no recurso a um serviço ou simplesmente ao clicar num botão.

Dentro do servidor o pedido é encaminhado para um *endpoint* que é um recurso dentro do servidor identificado por um *Uniform Resource Locator* (URL). Os pedidos podem ter vários métodos sendo o *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) o mais comum deles. O método HTTP utiliza uma forma de operação *GET*, *POST* onde estes comandos servem para pedir ou enviar informação do e para o servidor. Dentro do pedido existe um cabeçalho que especifica vários parâmetros como o tipo de dados, a versão do API a chamar, uma chave de autenticação, entre outros.

O servidor API é um *software* instalado no servidor que se encontra entre uma aplicação do utilizador e o servidor da *internet*. Depois de criado o pedido pelo cliente este chega ao *endpoint* e é o servidor API que confirma e valida os dados e que escreve ou retira informação da base de dados, enviando a resposta ao cliente. A resposta da API é constituída por um código de estado que informa o cliente do estado do pedido, um cabeçalho que inclui informação extra sobre a resposta como instruções de procedimento e um corpo da mensagem onde os dados são enviados (Tray.Io, 2019).

A descrição sucinta efetuada nos parágrafos anteriores mostra as partes integrantes e o funcionamento típico de uma API.

CAPÍTULO II: IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE RECOLHA E DE DADOS

2.1 Introdução

A importância do automóvel na sociedade, e a sua vasta utilização no transporte de pessoas e bens, tornam o tema abordado num objeto de estudo relevante. A evolução das tecnologias automóveis e a evolução das tecnologias de comunicação permitem atualmente, obter informações relevantes acerca do ato de conduzir um veículo. Com a utilização destes recursos concebeu-se um sistema que permite a recolha e a consulta de informação proveniente de vários transdutores instalados num veículo, utilizando o seu sistema de comunicação centralizado (CAN bus). Um dispositivo multifuncional OBD recebe dados da rede CAN do veículo e envia-os por Bluetooth para o telemóvel. De seguida este reencaminha os dados para um sistema de armazenamento remoto. Na Figura 9 mostra-se um esquema desta implementação. A recolha dos dados foi realizada como uma taxa de amostragem de 1 Hz.

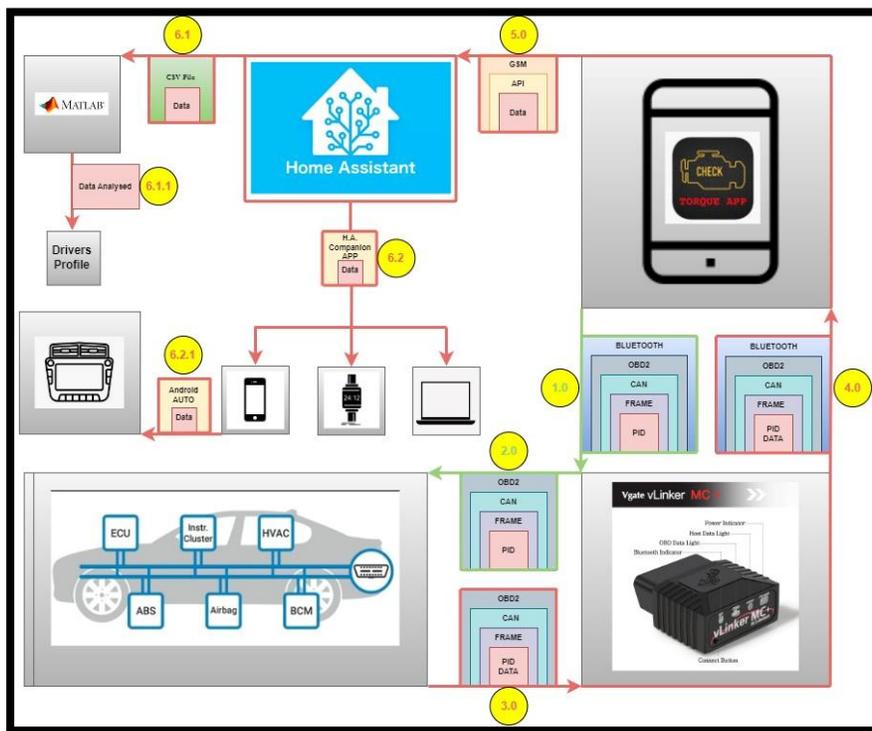


Figura 9: Esquema da metodologia implementada

2.2 Hardware

2.2.1 Adaptador multifuncional OBD2

O adaptador multifuncional utilizado neste projeto foi um Vgate vLinker MC+. O seu preço de mercado ronda os 60 Euros e permite ligação a *smartphones Android* ou *IOS* e também a computadores com sistema operativo *Windows*. Este adaptador está equipado com tecnologia *Bluetooth 4.0* e seleciona de forma automática o protocolo de comunicação do veículo. O seu *buffer* de dados tem capacidade até 2 kB e velocidade de fluxo de dados da *UART* de até 500 kb s^{-1} . Na imagem seguinte, Figura 10, é possível ver a porta *DLC* do veículo e o adaptador conectado posteriormente a essa porta.



Figura 10: Ligação do adaptador multifuncional à porta DLC; (VGate VLinker MC+, n.d.)

2.2.2 Smartphone

O *smartphone* neste sistema é utilizado para executar as aplicações *Torque Pro* e *Bimmer Link*. É uma parte central do sistema, pois é responsável por coletar dados via *Bluetooth* do *dongle* OBD2 e enviá-los pela rede *GSM* diretamente para a *internet* e para o *Home Assistant*.

O dispositivo a ser utilizado pode ser *Android* ou *IOS*, como especificações mínimas o dispositivo deverá ter *Android* 4.1 instalado e 1 GB de RAM, além de suporte para *Bluetooth* 4.0. Estas especificações podem não ser suficientes se o número de PID enviados pelo *dongle* OBD2 em cada ciclo de envio de dados, for elevado e isso dependerá do protocolo que o próprio veículo dispõe. Um telemóvel com melhor desempenho deve ser utilizado se o *Companion APP* do *Home Assistant* for executado juntamente com a aplicação *Torque Pro*.

Na ideia inicial do trabalho, pensou-se em utilizar um *Raspberry Pi* para fazer a ligação entre o *dongle* OBD e a *internet*. Embora este sistema tenha sido possível de implementar e tenha ficado operacional, revelou-se impraticável principalmente devido a constrangimentos encontrados tais como, a corrente de alimentação que tinha de ser fornecida ao *Raspberry Pi* através da bateria do carro, e o fato de um dispositivo externo ter de ser utilizado para fornecer internet ao *Raspberry Pi* (*router*). Em contrapartida, os poderosos computadores que hoje são os *smartphones*, já possuem uma bateria embutida, possuem acesso à internet via rede GSM e alta capacidade de processamento, tornando-os uma escolha lógica e racional para este trabalho.

Outra das vantagens da utilização do *smartphone*, é poder utilizar os seus sensores de forma a extrair informação útil que acrescenta valor a este projeto. Neste trabalho utilizaram-se os acelerómetros do telemóvel e o seu GPS para obter informação extra.

2.2.3 *Raspberry Pi*

O *Raspberry Pi* é utilizado neste trabalho para executar a instalação do *Home Assistant*. O *Raspberry Pi*, Figura 11, é um poderoso computador que opera em ambiente Linux, neste caso exclusivamente dedicado à instalação do *Home Assistant* e desta forma toda os seus recursos disponíveis são utilizados para esse propósito. A capacidade de armazenamento de informações dos sensores depende da capacidade do cartão SD onde também estão localizados os arquivos de instalação. Neste caso específico, pode-se dizer que o *Raspberry Pi* funciona como um *data logger online*. Sua porta RJ 45 é utilizada para receber e enviar dados pela internet, e esta é conectada ao router através de uma rede LAN.



Figura 11: Hardware da instalação do servidor online; (Cytron Technologies, n.d.)

2.3 Software

2.3.1 Torque Pro Android APP (Software)

2.3.1.1 Funcionalidade

A aplicação *Torque* é uma ferramenta de desempenho e diagnóstico OBD2 que pode ser instalada em qualquer dispositivo que execute o sistema operativo *Android*. Esta permite o acesso a vários sensores dentro das ECU dos veículos, bem como permitirá visualizar e limpar códigos de problemas. A aplicação *Torque* conecta-se via *Bluetooth* ao *dongle* OBD2, e desta forma envia solicitações de informações (PID). Da mesma forma, o *dongle* OBD2 envia a resposta, que é então enviada pelo aplicativo *Torque* para a rede GSM e conseqüentemente para a *internet*. A aplicação *Torque* também serve para a visualização numérica e gráfica das informações em trânsito no sistema. A forma de configurar a aplicação está descrita nas próximas páginas deste documento, Figuras 12, 13, 14 e 15.

2.3.1.2 Configuração do Bluetooth.



Figura 12: Aplicação Torque - Configuração do Bluetooth

2.3.1.3 Configuração dos PID's

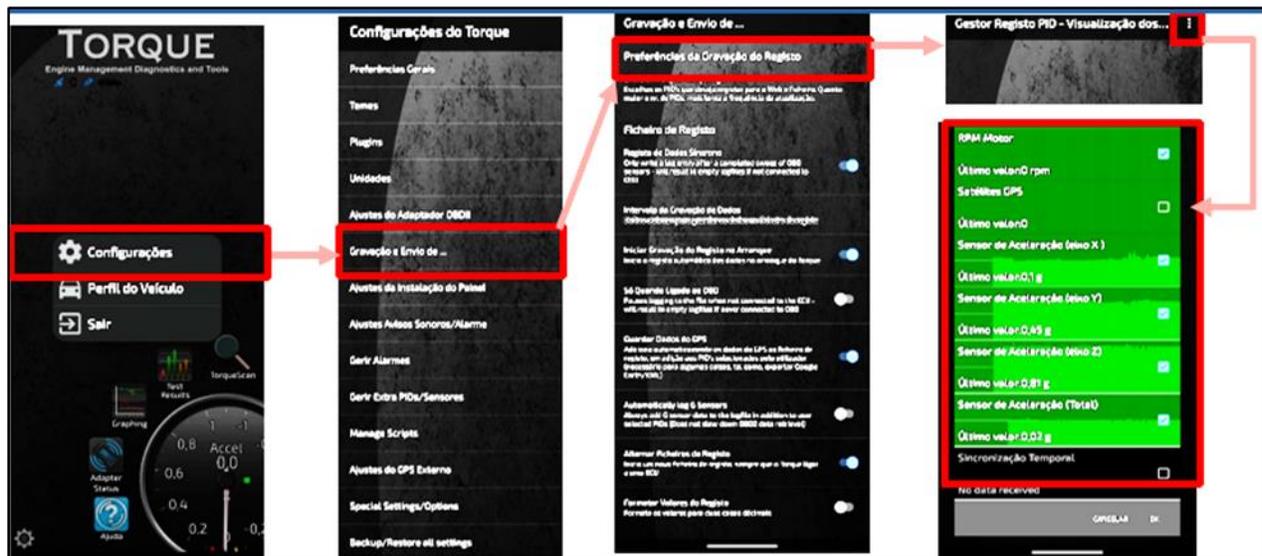


Figura 13: Aplicação Torque - Configuração dos PID's

2.3.1.4 Configuração do envio de dados para a internet

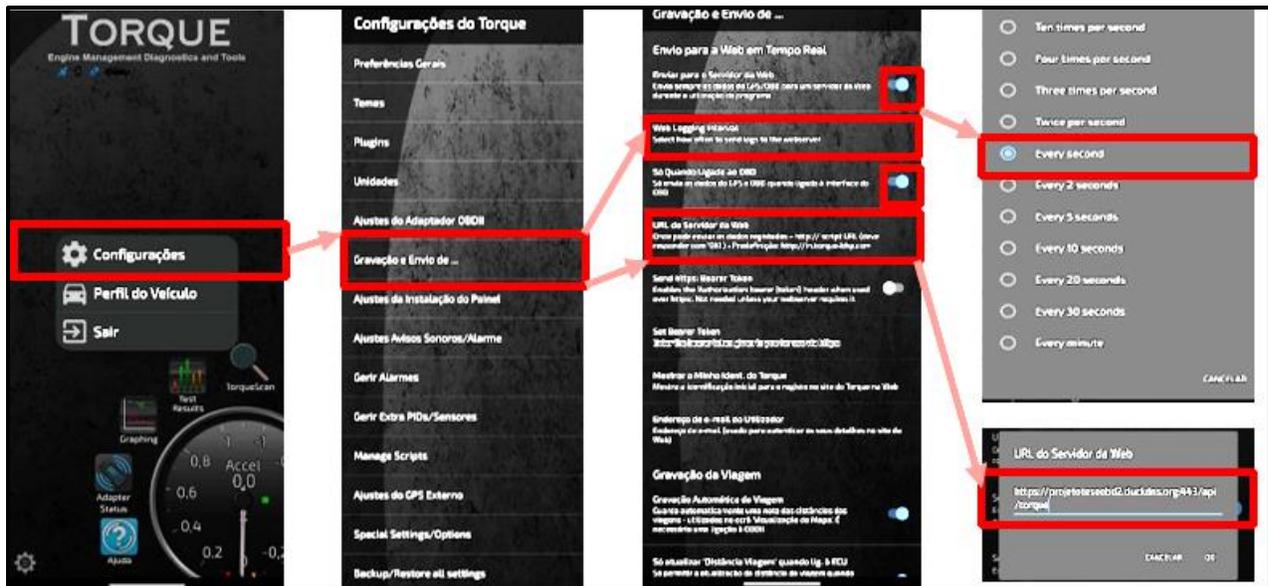


Figura 14: Aplicação Torque - Configuração do envio de dados para a internet

2.3.1.5 Configuração do perfil do veículo



Figura 15: Aplicação Torque - Configuração do perfil do veículo

2.3.2 *Bimmer Link* APP (Software)

A aplicação *Bimmer Link* é uma ferramenta de desempenho e diagnóstico que funciona de forma análoga à aplicação *Torque*. Esta aplicação permite o acesso a vários sensores dentro das ECU dos veículos, bem como permitirá visualizar e limpar códigos de problemas. A grande diferença em relação à aplicação *Torque* é que a aplicação *Bimmer Link* só pode ser exclusivamente utilizada em veículos do grupo BMW. A quantidade de informação disponibilizada varia em cada veículo e depende das ECUs que se encontram presentes. Esta aplicação permite acesso a dados muito específicos dos veículos do grupo BMW, como é o caso do binário de travagem ou o binário da embraiagem e ainda ao estado do pedal do travão, a Figura 16 mostra como os dados são apresentados.

Ao invés da aplicação *Torque* esta aplicação apresenta como limitação o facto de não dispor de envio da informação para a internet. Neste caso a informação fica armazenada no próprio telemóvel, sendo depois exportada para análise. Esta aplicação não permite também, associar os valores provenientes dos sensores do *smartphone*.

A configuração do acesso à informação dos sensores faz-se de forma semelhante à aplicação *torque*

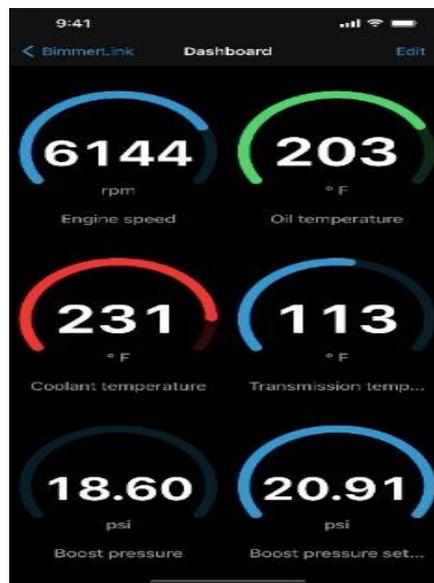


Figura 16: Aplicação *Bimmer Link*;
(SG Software GmbH & Co.
KG, n.d.)

e por esse facto não será repetida a forma como se desenvolve o processo.

2.3.3 *Home Assistant (Software)*

2.3.3.1 Funcionalidade

O *software* de automação residencial utilizado neste projeto foi o *Home Assistant*. Este *software* foi desenvolvido para realizar interações na domótica, entre os dispositivos de várias marcas de sensores. É um *software* de código aberto que pode ser instalado em ambiente *Windows* ou *Linux*. O *software* permite associar vários dispositivos externos à habitação e é por essa capacidade e pela capacidade de armazenamento *online* que disponibiliza, e também pela experiência já adquirida com a utilização deste *software*, que fazia sentido a utilização deste *software*.

A principal função deste *software* é centralizar as informações desde uma rede local de sensores e criar automações com base nessas informações. Através de API, podem ser adquiridas informações de sensores externos à rede local, onde o *Home Assistant* está instalado. Neste trabalho, os sensores externos são aqueles coletados pelo dispositivo OBD2 do veículo ou os disponibilizados pelo *smartphone*. Uma das vantagens da utilização do *Home Assistant* é a capacidade de armazenar informação, o que permite a sua consulta, quer em tempo real, quer em análises posteriores.

Neste trabalho, o *Home Assistant* foi utilizado como arquivo de dados *online* (nuvem) e como interface gráfica para visualização de dados. Embora as informações dos sensores que chegam ao *Home Assistant* do veículo possam ser utilizadas para acionar automações, esta funcionalidade do *software* não foi utilizada, pois ultrapassava o intuito do presente trabalho. Porém para trabalhos futuros seria interessante poder utilizar esta informação e devolvê-lo à ECU do carro para realizar ações no veículo ou, por exemplo, receber avisos no telemóvel sobre um veículo em excesso de velocidade.

2.3.3.2 Instalação

Neste trabalho foi utilizado um *Raspberry Pi 4* para instalação do *software Home Assistant*. Este *hardware* é o tipo de computador mais utilizado para executar o *Home Assistant* devido ao seu baixo consumo energético e elevada capacidade de processamento.

Hardware necessário para instalar o *Home Assistant*:

- *Raspberry Pi 4*,
- Fonte de alimentação para *Raspberry Pi 4*,
- Cartão Micro SD (recomenda-se um cartão de 32 GB ou maior),
- Leitor de cartão SD,
- Cabo *Ethernet*. Após a instalação, o *Home Assistant* pode funcionar com Wi-Fi, mas uma conexão *Ethernet* é mais confiável e altamente recomendada.

Procedimento de instalação:

- Obter e instalar o *Raspberry Pi Imager*,
- Abrir o *Raspberry Pi Imager* e selecionar o modelo do dispositivo,
- Escolher o sistema operativo,
- Escrever o instalador no cartão SD.

Inicialização:

- Inserir o cartão SD no *Raspberry Pi*,
- Conectar a fonte de alimentação para iniciar o dispositivo.

2.3.3.3 Configuração de rede

Para este trabalho e uma vez que os dados são recolhidos fora da rede local onde está instalado o *Home Assistant*, é necessário que a máquina que executa este *software* tenha ligação à *Internet*.

Para aceder à interface gráfica do *Home Assistant* de fora da rede local, é necessário utilizar o *Internet Protocol* (IP) público desta rede (fornecido pelo *Internet Service Provider* (ISP) ao se conectar à internet pela rede pública) e a porta específica do assistente residencial (:8123). A exposição do IP público de uma rede levanta problemas de segurança e, portanto, o uso de um *Domain Name System* (DNS) atenuará este problema. O DNS atribui um nome ou domínio (projetoteseobd2) ao IP público da rede e assim evita a sua exposição, demonstrado na Figura 17. Neste trabalho, ao invés de aceder à interface gráfica do *Home Assistant* via IP público, ela é acessada pelo endereço [https://projetoteseobd2:8123]. Além disso, para estabelecer a API entre o aplicativo *Torque Pro* (*smartphone*) e o *Home Assistant*, o router que recebe a *internet* na rede local deve redirecionar todo o tráfego recebido em uma porta específica, para o IP local do *Home Assistant* e na porta especificada. Isso é conseguido criando uma regra *Network Address Translation* (NAT) na página de configuração do *router*, esta regra é conhecida como *port forwarding*.

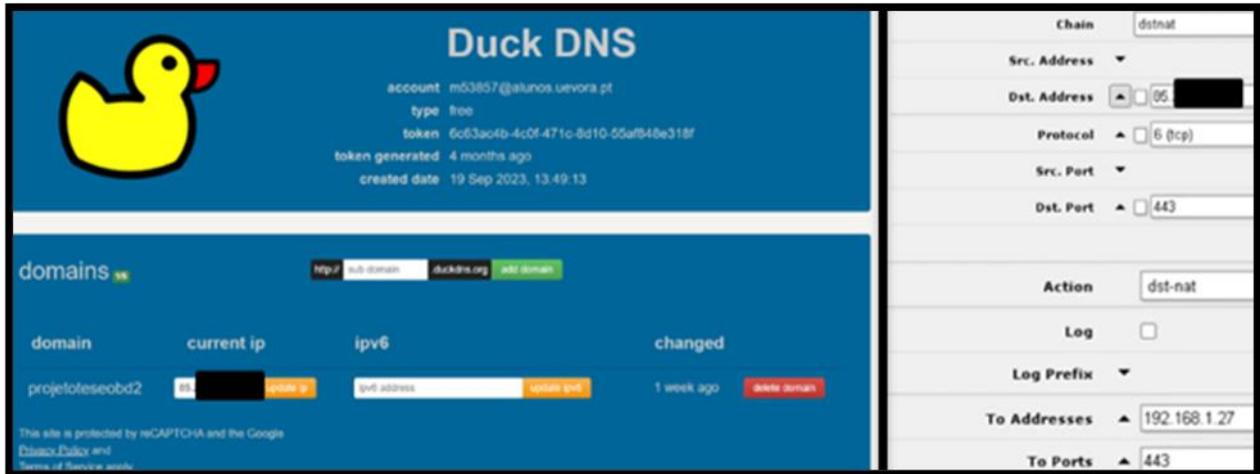


Figura 17: *Home Assistant* - Configurações da rede

2.3.3.4 Configuração da API

Para configurar a API entre o *software Home Assistant* e a aplicação *Torque*, algumas ações devem ser feitas. Dentro do arquivo, `config.yaml` do *Home Assistant*, é necessário criar os sensores provenientes da aplicação *Torque*. Isto é ilustrado na Figura 18. Após este procedimento, os sensores são exibidos no *Home Assistant* com entidades, uma para cada sensor disponível.

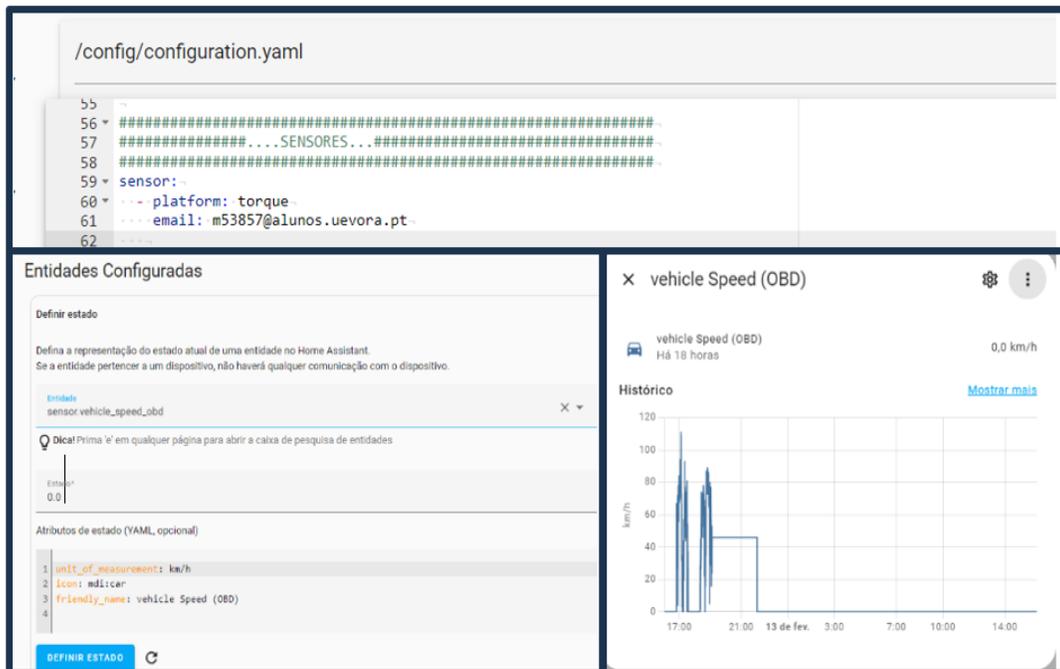


Figura 18: *Home Assistant* - Configurações da API

2.3.3.5 Visualização dos dados

Na interface gráfica do *Home Assistant* é possível visualizar os dados provenientes do sensor, ordenando-os por período. Os dados podem ser visualizados numericamente ou em gráficos. Existem aplicações que podem ser instaladas (*add-ons*) no *Home Assistant* que permitem uma análise mais detalhada dos dados. Utilizando o *add-on InfluxDB* (base de dados) vinculado ao *add-on Grafana*, é possível obter gráficos detalhados como os mostrados na Figura 19. Neste caso a velocidade é mostrada em função das coordenadas durante um período.



Figura 19: *Home Assistant* - Interface gráfica

2.3.3.6 Companion APP

Companion APP é uma aplicação do *software Home Assistant* para plataformas *Android*, *IOS* e *Wear OS* (*smartwatches* Samsung). Permite visualizar no dispositivo onde está instalado, informações sobre a conta do *Home Assistant* ao qual está conectado. Uma grande vantagem desta aplicação é que disponibiliza os sensores do aparelho onde está instalado, para a conta do *Home Assistant*. Neste trabalho, tentou-se utilizar a informação do sensor de frequência cardíaca de um relógio Samsung, com a *Companion APP* instalada. O objetivo era relacionar a frequência cardíaca com os perfis de condução, mas a frequência de atualização do sensor era muito baixa, inviabilizando a ideia para este trabalho. A *Companion APP*, quando instalada num dispositivo *Android*, também permite a integração com o *Android Auto* e, assim, os dados dos sensores podem ser visualizados no sistema de infoentretenimento do próprio veículo, a Figura 20 é demonstrativa do que foi desenvolvido.



Figura 20: *Home Assistant - Companion APP*

CAPÍTULO III: EXTRACÇÃO DE INFORMAÇÃO DOS DADOS DISPONIBILIZADOS PELO SISTEMA DE RECOLHA

3.1 Análise de perfis de condução

Um perfil de condução refere-se a um padrão de comportamentos realizados pelo condutor, que influencia fatores tão variados como: a segurança dos utentes da estrada, os consumos de combustível e conseqüentemente as emissões de CO₂, e a durabilidade de alguns componentes do veículo. Um perfil de condução controlado pode ajudar na segurança das estradas e em cidades mais saudáveis (Tselentis et al., 2021). A adoção de um comportamento de condução ecológico leva a uma redução no consumo de combustível o que limita emissões nocivas (Adamidis et al., 2020). A forma como é praticada a condução é também representativa da personalidade de cada condutor ou do seu estado emocional. A agressividade deve ser medida por quão rápido o condutor acelera e desacelera (Murphey et al., 2009). Neste trabalho considera-se que para o estabelecimento de um determinado perfil de condução contribuem três características: a característica ecológica, que está relacionada com o consumo energético e a poluição, a característica de conforto, que se relaciona com a agressividade da condução (variações rápidas do movimento do veículo) e uma característica de desgaste. Para a análise e quantificação de cada uma destas características podem definir-se conjuntos de parâmetros medidos ou calculados a partir dos dados recolhidos da rede CAN do veículo. Da sua comparação podem eleger-se métricas que auxiliem o estabelecimento de um conjunto de perfis de condução e uma classificação dos condutores de acordo com estes.

Foram recolhidos valores experimentais em estrada para dois conjuntos de ensaios. Um dos ensaios consistiu na realização de um mesmo percurso adotando diferentes estilos de condução, permitindo obter valores e estabelecer algumas comparações para parâmetros das características ecológicas e de conforto. Para estudar a característica de desgaste, e dada a dificuldade em conseguir recolher dados da ECU do veículo relativamente parâmetros de manutenção (erros, avarias, funcionamento fora de limites), considerou-se que o mais acessível era tentar avaliar o desgaste de componentes consumíveis, como é o caso dos componentes do sistema de travagem. Para isso realizou-se um teste de travagem em estrada nivelada.

O veículo utilizado foi um Mini Clubman SD (F54) de 2017. Importa referir que a marca deste automóvel pertence ao grupo BMW e assim foi possível utilizar a aplicação Bimmer Link nos testes de desgaste do veículo.

3.1.1 Percurso para a análise das características ecológicas e de conforto

Para efetuar os testes do parâmetro ecológico e de conforto, foi delineado um percurso, e este percorrido três vezes com formas de condução distintas. A volta denominada eco, fez-se de uma forma suave, a velocidades reduzidas e passagens de caixa de velocidades com velocidades angulares do motor reduzidas. Esta abordagem representa uma forma de condução que visa reduzir o consumo de combustível. A volta normal, representa um estilo de condução similar ao praticado diariamente, nesta não houve uma preocupação veemente de efetuar poupança de combustível e realizou-se uma condução serena, mas despreocupada. As trocas de relação de caixa de velocidade, feitas a regimes de rotação mais elevados que na volta eco, mas ainda assim sem provocar stress mecânico no veículo. Por último a volta desportiva, realizou-se de uma forma mais agressiva onde não houve a preocupação de salvaguardar os consumos de combustível nem de minimizar o desgaste das diferentes peças do veículo. Foram realizadas acelerações/desacelerações vigorosas e descreveram-se curvas com velocidades elevadas. Para realizar o estudo do parâmetro de desgaste do veículo o teste foi realizado numa autoestrada, devida à necessidade de impelir velocidades elevadas à viatura para realizar o teste de uma travagem severa, e por forma a preservar ao máximo a segurança. Os testes para a recolha de dados para estudar os parâmetros ecológico e de conforto foram realizados nas vias públicas circundantes ao estádio do Algarve, e houve o cuidado de escolher uma hora do dia onde a afluência de veículos era praticamente inexistente como forma de preservar a segurança de todos os utilizadores da via. A altimetria do terreno varia entre os 85 e os 105 metros, relativamente ao nível médio do mar, conforme se pode visualizar na Figura 21 com recurso às capacidades gráficas do *software* MATLAB e com os dados recolhidos do GPS do telemóvel durante os testes. O percurso delineado é constituído por três rotundas que se encontram interligadas por traçados retilíneos com duas faixas de rodagem, com duas vias de trânsito cada. Nas retas a sul do estádio existem lombas reductoras de velocidade que obrigaram em todas as abordagens a reduzir a velocidade a fim de forma manter a integridade do veículo e a segurança de condução. O piso é asfaltado em todo o percurso e apresenta boas condições de circulação. A temperatura ambiente rondava os 20°C e os testes foram

realizados com respeito às temperaturas de funcionamento dos fluidos do veículo, nomeadamente do lubrificante do motor e do líquido de refrigeração.



Figura 21: Percurso utilizado para testes

Na Figura 22 mostram-se as principais especificações do veículo algumas delas utilizadas nos cálculos deste projeto.

Power	190 Hp @ 4000 rpm.
Power per litre	95.2 Hp/l
Torque	400 Nm @ 1750-2500 rpm. 295.02 lb.-ft. @ 1750-2500 rpm.
Engine layout	Front, Transverse
Engine Model/Code	B47C20A
Engine displacement	1995 cm ³ 121.74 cu. in.
Number of cylinders	4
Engine configuration	Inline
Cylinder Bore	84 mm 3.31 in.
Piston Stroke	90 mm 3.54 in.
Compression ratio	16.5
Number of valves per cylinder	4
Fuel injection system	Diesel Commonrail
Engine aspiration	Twin-power turbo, Intercooler

Figura 22: Especificações técnicas do motor do veículo

3.1.2 Análise da característica ecológica

A característica ecológica de um perfil de condução pode ser caracterizada por menor consumo energético e emissão de poluentes, que se consegue em geral conduzindo de forma suave, abaixo do limite de velocidade, trocando de mudança numa rotação de motor ótima e no evitar de acelerações súbitas (Singh & Kathuria, 2021). De forma a estudar a característica ecológica este trabalho foca-se em variáveis relacionadas com a queima de combustível do veículo. Os hábitos de condução de um veículo influenciam o consumo de combustível e da análise das variáveis, para os dados das três voltas, que correspondem a três tipos de condução distintas, irão ser demonstradas numericamente, diferenças que ocorrem mediante cada tipo de abordagem.

Para que o processo de combustão ocorra, determinadas quantidades de ar e de combustível tem de ser fornecidas na camara de combustão. A relação de ar-combustível é afetada pela taxa de fluxo de ar do motor e pela carga deste (Xin, 2011). A velocidade a que o veículo se desloca está diretamente relacionada com a velocidade angular do motor, e esta depende da forma como o condutor atua sobre o acelerador do carro. O modo como é atuado o acelerador, com suavidade ou com agressividade, irá então estar relacionado com o consumo de combustível e de ar do veículo. Várias informações podem ser extraídas da rede CAN e analisadas, para reunir informação que possa expor informações menos usuais de se encontrarem nos computadores de bordo dos veículos. Foi realizada uma análise a algumas variáveis disponibilizadas na rede CAN do veículo. Depois de analisadas as variáveis foram comparados dados com os gráficos de forma a ser perceptível visualmente o significado desses mesmos dados. A Tabela 1 apresenta o nome das variáveis utilizadas para a realização desta análise da característica ecológica bem como as suas unidades, referência no protocolo OBD2 e descrição do que estas representam. A fonte dos dados mostrados na Tabela 1 é a norma ISO 15031-5:2006, que uniformiza e regulamenta a comunicação entre os veículos e equipamentos externos de diagnóstico de emissões.

Tabela 1: Descrição dos PID

Nome	Unidade	PID	Descrição
<i>Vehicle speed sensor</i>	(km h ⁻¹)	(PID 0d)	Deve reportar a velocidade de circulação se for utilizado pelo módulo de controlo. A velocidade do veículo pode derivar de um sensor de velocidade do veículo, calculado pelo <i>Powertrain Control Module</i> (PCM), utilizando outros sensores de velocidade ou obtido da rede de comunicação de dados <i>serial</i> .
<i>Engine RPM</i>	(rpm)	(PID 0c)	Deve reportar as rotações por minuto do eixo de manivelas do veículo.
<i>Calculated LOAD Value</i>	(%)	(PID 04)	Estimativa da potência que está a ser desenvolvida pelo motor, usualmente derivada do caudal de ar na admissão.
<i>Air Flow Rate from Mass Air Flow (MAF)</i>	(g s ⁻¹)	(PID 10)	Deve fornecer uma leitura do fluxo de ar medido por um veículo que utilize um sensor de massa de ar ou um sensor similar. Se o motor está desligado e a ignição ligada, o valor lido deve ser disponibilizado.
<i>Fuel consumption</i>	(L/100 km)	(PID ff1207)	Estes PID são disponibilizados pela própria aplicação torque. Eles utilizam os valores da rede CAN de outros PID para realizar o cálculo.

3.1.2.1 Parâmetros relativos à característica ecológica

As unidades das variáveis apresentadas na Tabela 1 foram convertidas a fim de serem apresentadas de forma elucidativa sobre o que realmente representa a medida e se é adequada ao percurso efetuado. Após a realização dos ensaios e através da análise dos dados registados na Tabela 2 constata-se que o total da distância para cada uma das voltas o percurso delineado tem entre 2600.80 m e 2774.70 m. Esta flutuação no valor da distância total reflete as ligeiras variações nas trajetórias realizadas durante o percurso. Pelo atrás referido, e visto que a extensão do percurso é reduzida, decidiu-se converter o valor da velocidade recebida da rede CAN de km h^{-1} em m s^{-1} , o que neste caso representa uma unidade SI. No seguimento da mesma linha de pensamento, o consumo de combustível instantâneo lido e registado em L/100 km foi convertido para mL m^{-1} , as unidades de emissões de CO_2 transformadas de g km^{-1} em g m^{-1} . O valor total das variáveis assinaladas a amarelo na tabela 2 serão relacionados de forma que se perceba como se influenciam mutuamente. Em relação às unidades que em vez do espaço percorrido utilizam o tempo como variável independente foram convertidas as unidades de rotação do motor de rotações por minuto para rotações por segundo. Um dos propósitos deste trabalho é a sensibilização para as consequências da forma como conduzimos, e pensa-se ser mais impactante o condutor verificar que o motor fez 65 rotações num segundo do que visualizar a informação como 3900 rpm. A volta que demorou mais tempo a realizar foi a Volta Eco onde os 295 segundos representam aproximadamente cinco minutos pelo que se considerou mais lógico utilizar como unidade de tempo o segundo, em toda a análise. Nos dados da Volta Normal e da Volta Desportiva foi realizada uma percentagem relativa à Volta Eco como se demonstra na tabela 3. Na Figura 23 estão representadas de forma gráfica as médias de cada variável e a média referente a cada volta efetuada ao percurso.

Com o objetivo de facilitar a elaboração e leitura dos gráficos, em todos eles as variáveis são designadas pela sua abreviatura tal como: Consumo de combustível (cc), Rotações do motor (rm), Consumo de ar (ca), Emissões de CO_2 (e), Distância (d), Tempo (t), Carga motor (cm), Velocidade (v).

3.1.2.2 Análise de dados

Tabela 2: Resumo estatístico das variáveis por volta

	Unidades		Volta Eco	Volta Normal	Volta Desportiva
Tempo	(s)	Total	295,00	190,00	136,00
Distância	(m)	Total	2774,70	2608,10	2600,80
Velocidade	(m/s)	Máxima	16,00	24,01	36,01
		Mínima	0,00	0,00	0,00
		Média	9,41	13,74	19,13
Carga do motor	(%)	Máxima	99,61	100,00	100,00
		Mínima	0,39	0,39	0,39
		Média	48,45	60,99	61,07
Consumo de combustível	(ml/m)	Máximo	0,57	1,51	1,44
		Mínimo	0,00	0,00	0,00
		Média	0,06	0,14	0,24
	(ml)	Total	186,10	273,20	617,90
Emissões de CO2	(g/m)	Máximo	0,53	1,15	1,76
		Mínimo	0,00	0,00	0,00
		Média	0,12	0,21	0,48
	(g)	Total	341,14	498,26	1127,80
Consumo de ar	(g/s)	Máximo	22,77	59,58	169,80
		Mínimo	0,00	0,00	0,00
		Média	12,56	25,41	75,48
	(g)	Total	3706,10	4828,70	10266,00
Rotações do motor	(rps)	Máximo	30,73	39,73	65,43
		Mínimo	14,58	14,58	14,58
		Média	18,78	27,40	39,99
	(rot)	Total	5539,00	5205,30	5438,00

Tabela 3: Diferenças entre voltas das variáveis

	Unidades		Diferença em relação à volta eco			
			Volta Normal		Volta Desportiva	
			Unidades	%	Unidades	%
Tempo	(s)	Total	-105,00	-35,59	-159,00	-53,90
Distância	(m)	Total	-166,60	-6,00	-173,90	-6,27
Velocidade	(m/s)	Máxima	8,01	50,03	20,01	125,03
		Mínima	0,00	0,00	0,00	0,00
		Média	4,33	46,01	9,72	103,29
Carga do motor	(%)	Máximo	0,39	0,39	0,39	0,39
		Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00
		Média	12,54	25,88	12,62	26,05
Consumo de combustível	(ml/m)	Máximo	0,93	162,39	0,87	150,85
		Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00
		Média	0,08	127,95	0,18	310,10
	(ml)	Total	87,10	46,80	431,80	232,03
Emissões de CO2	(g/m)	Máximo	0,62	117,94	1,23	231,38
		Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00
		Média	0,09	79,35	0,36	308,19
	(g)	Total	157,12	46,06	786,66	230,60
Consumo de ar	(g/s)	Máximo	36,81	161,66	147,03	645,72
		Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00
		Média	12,85	102,31	62,92	500,96
	(g)	Total	1122,60	30,29	6559,90	177,00
Rotações do motor	(rps)	Máximo	9,01	29,32	34,71	112,96
		Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00
		Média	8,62	45,91	21,21	112,96
	(rot)	Total	-333,70	-6,02	-101,00	-1,82

Como se pode ver na tabela 2 e 3 as variáveis definidas, na volta eco apresentam valores de Emissões de CO₂, Velocidade, Consumo de combustível e de ar, e Rotações inferiores aos registados nas outras duas voltas. No que diz respeito ao número de rotações do motor a semelhança entre os valores das voltas resultam da relação direta que existe entre esta variável e a distância percorrida, sendo que as ligeiras discrepâncias se devem à relação de caixa que se encontra engrenada e ao tempo que esta assim se manteve. A variável consumo de combustível, consumo de ar e produção de CO₂ são determinantes para o objetivo desta análise. Adiante calculam-se razões entre as mesmas para melhor se perceber a influencia de cada variável.

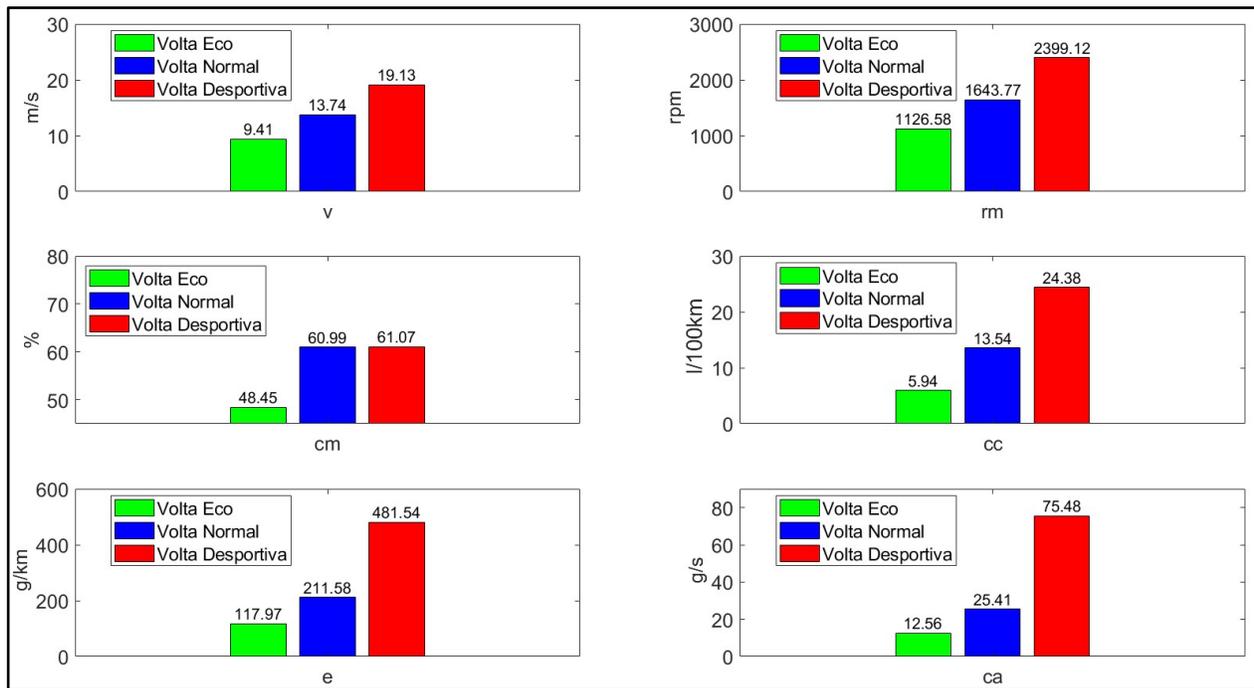


Figura 23: Valores médios por volta

Nos dados das tabelas verifica-se que a volta eco demorou 35.59 % e 53.90 % mais tempo a realizar que a volta normal e que a volta desportiva respetivamente. Em relação à velocidade máxima registada verifica-se que na volta ecológica o valor registado de 16 m s⁻¹ é 50.03 % e 125.03 % inferior aos registados na volta normal e desportiva respetivamente, onde os valores registados foram de 24.01 m s⁻¹ e 36.01 m s⁻¹. O consumo de combustível máximo registado na volta eco foi de 0.57 mL m⁻¹ e nas voltas seguintes o registo aumentou 162 % na volta normal e 150.95 % na volta desportiva. Se se atentar à média de consumo então existe uma maior discrepância entre os valores registados, sendo que a média de consumo de combustível da volta ecológica foi de 0.06 mL m⁻¹ e

este valor subiu 127.95% para a Volta Normal e 318.35% para a Volta Desportiva. O valor instantâneo máximo neste caso não reflete de forma perceptível a diferença entre as Voltas Normal e Desportiva, e isto deve-se ao facto de ser nas velocidades baixas ou nulas, que o veículo necessita de vencer as inércias (aerodinâmica, rolamento, motor, e massa do veículo) presentes para conseguir obter velocidade, que se revela um maior pico no consumo de combustível. A frequência de aquisição de amostras de dados é de 1 Hz, assim verifica-se uma menor quantidade de amostras na volta mais rápida (Desportiva) e de forma oposta uma maior quantidade de amostras na volta mais lenta (Eco), assim, com o aumento da amostra, a tendência é a de registar os consumos provenientes das maiores velocidades e maiores acelerações do veículo.

O consumo total final das Voltas Eco, Normal e Desportiva foram respetivamente 147.70 mL, 283.20 mL e 617.90 mL o que é uma diferença notória de consumo. Para realizar o percurso em menos 53.90% do tempo aumenta-se o consumo de combustível médio em 310.1%. (Figura 24).

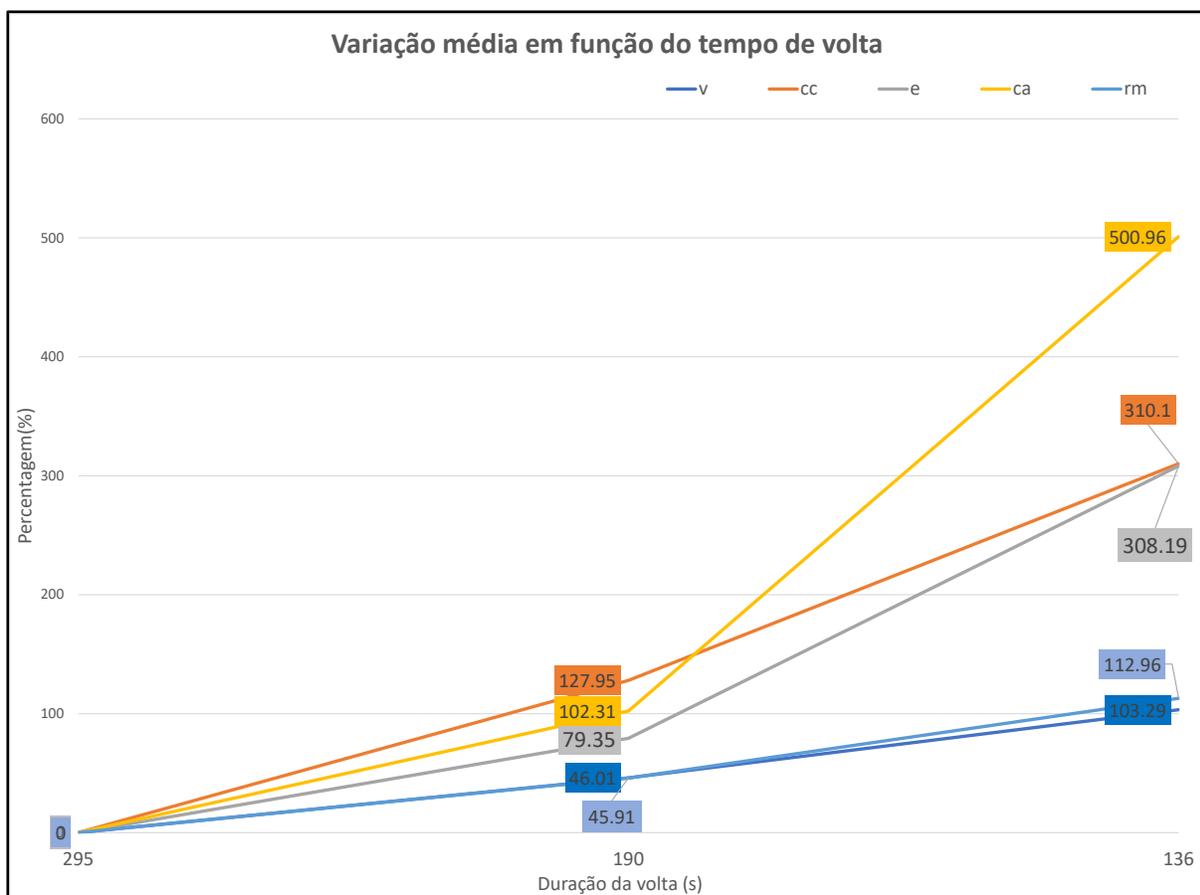


Figura 24: Variações percentuais médias relativamente à volta mais lenta

As emissões de CO₂ revelam um aumento de 79.35% e de 308.19% nas Voltas Normal e Desportiva em relação à Volta Ecológica. Destes dados referentes às emissões de CO₂ infere-se que elas aumentam de forma praticamente exponencial entre as voltas o que mostra que a forma como é realizada a condução tem um impacto direto nas questões ambientais.

A variável que maior diferencial apresenta nas três voltas (sendo que foi registado um consumo médio de 12.56, 25.41 e 75.48 g s⁻¹ respetivamente nas Voltas Eco, Normal e Desportiva) é a que mede o caudal da massa de ar do veículo. Para efetuar a queima de mais combustível será necessária uma maior quantidade de ar consumida pelo motor do veículo. O valor médio das rotações do motor entre voltas não apresenta valores muito díspares, sendo que na Volta Normal existe um incremento de 45.91% e na Volta Desportiva de 112.96% em relação aos valores registados na Volta Ecológica que são resultado de passagens de caixa em momentos díspares e se devem a uma maior gama de rotações entre passagens de mudança.

Aqui importa salientar que o motor do veículo utiliza *diesel* como combustível e como é sabido estes motores têm uma faixa de utilização de rotações bastante inferior aos automóveis propulsionados a gasolina. Se o teste tivesse sido realizado com um veículo a gasolina a relação percentual entre as voltas seria mantida, mas as rotações médias teriam certamente sido bastante superiores, uma vez que a disponibilidade de potência e de binário deste tipo de motores alimentados a gasolina se encontra numa gama de rotações mais elevada.

Nas páginas seguintes apresentam-se gráficos onde é demonstrada a relação entre os valores acumulados das diferentes variáveis e o seu possível significado na definição da característica ecológica de um perfil de condução.

Da consulta do gráfico da Figura 25, como expectável a relação entre consumo de combustível e emissões de CO₂ é semelhante nas três voltas.

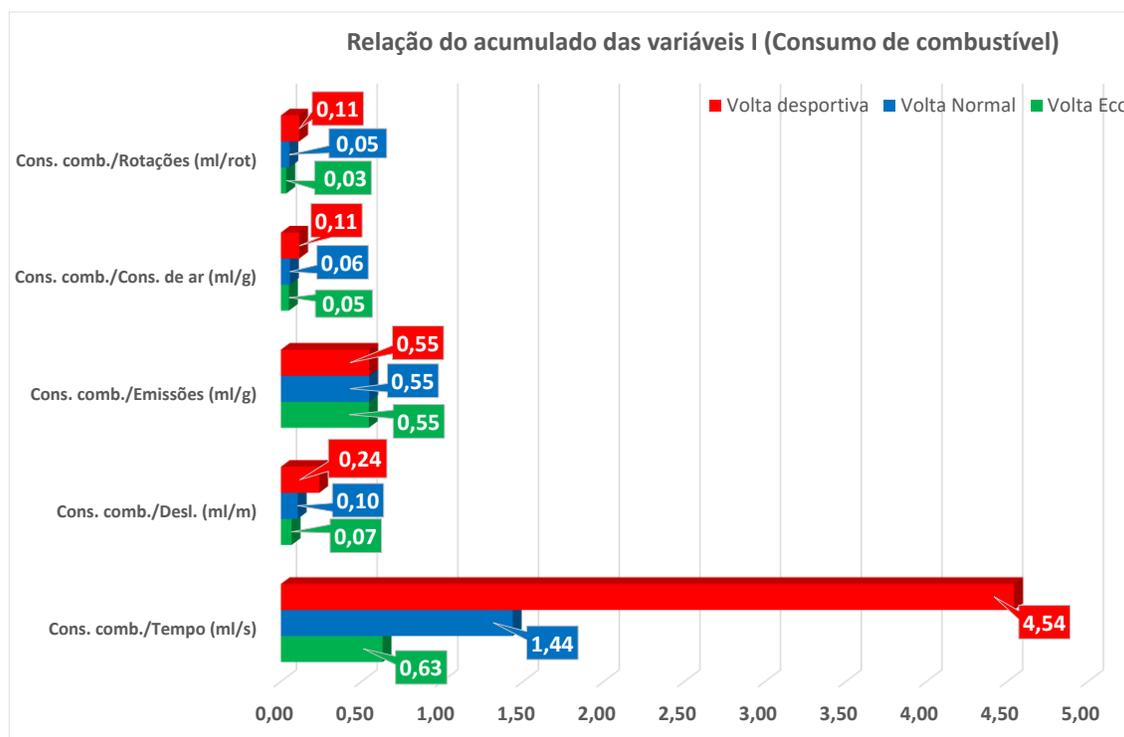


Figura 25: Relação dos acumulados totais (Consumo de combustível)

Apesar das grandes variações nas razões entre as três voltas, demonstrados no gráfico das Figuras 25 e 26, estas aparentam não ser bons indicadores. De uma forma geral a relação inversa destas variáveis apresentará mais conteúdo analisável, por exemplo a razão consumo combustível/rotação, reporta que a volta mais lenta consome menos combustível por rotação efetuada e estará correlacionado com o consumo combustível/distância visto que como se pode ver rotação ou distância são muito semelhantes.

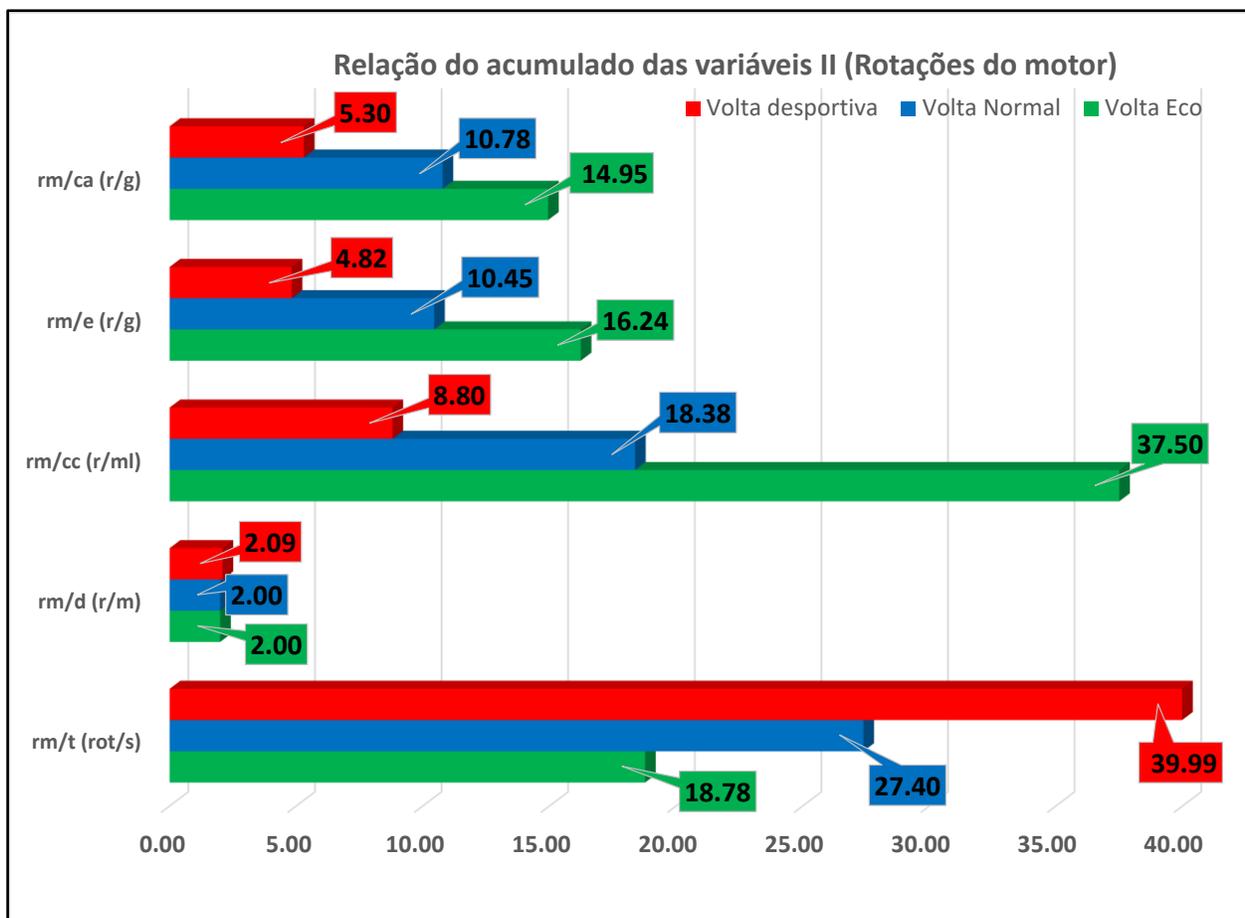


Figura 26: Relação dos acumulados totais (Rotações do motor)

No gráfico da Figura 27 constata-se que a relação de emissão por distância é representativa do parâmetro ecológico de uma volta, visto que mostra claramente a menor poluição efetuada para realizar um deslocamento entre dois pontos e que apesar de o tempo de volta poder ser superior ainda assim existirá uma menor emissão de CO₂.

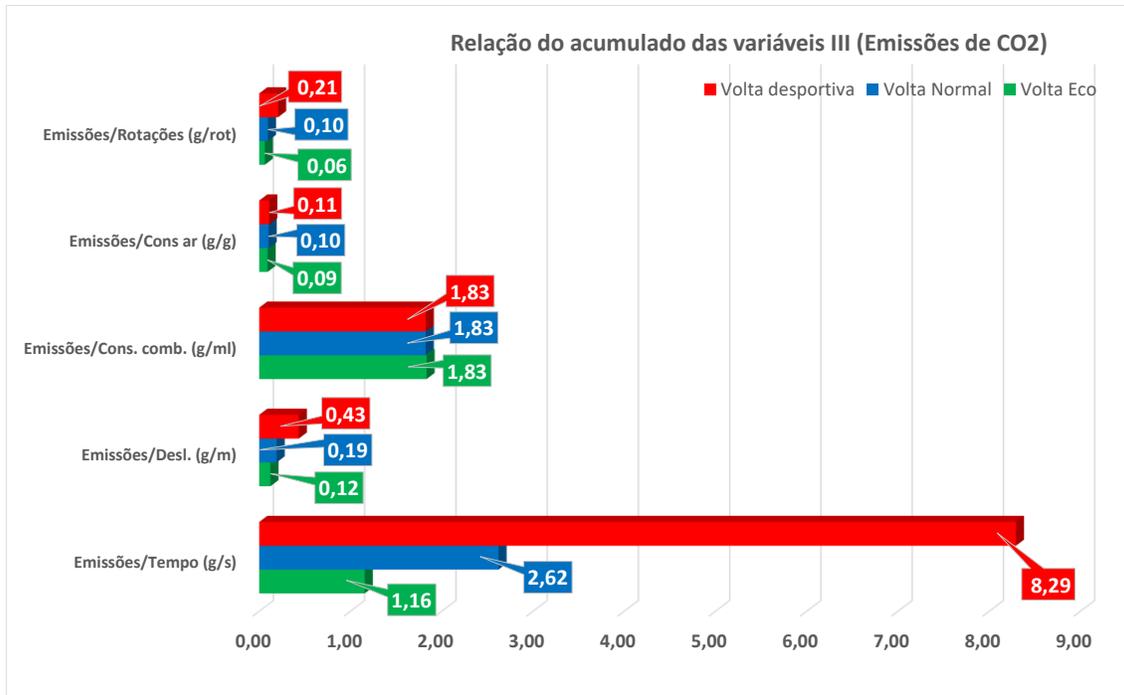


Figura 27: Relação dos acumulados totais (Emissões de CO₂)

Para que a condução seja feita de uma forma *eco-friendly*, importa que exista um menor consumo de ar por parte do motor do veículo, assim e atendendo aos dados do gráfico da Figura 28 o consumo de ar por distância percorrida é claramente menor na volta eco o que a torna a volta com um consumo de ar mais ecológico. Relativamente à razão entre consumo de ar e consumo de combustível os valores do gráfico parecem ser indicadores de uma combustão com maior excesso de ar na volta eco que é acompanhada pela maior razão entre o consumo de ar e emissões de CO₂.

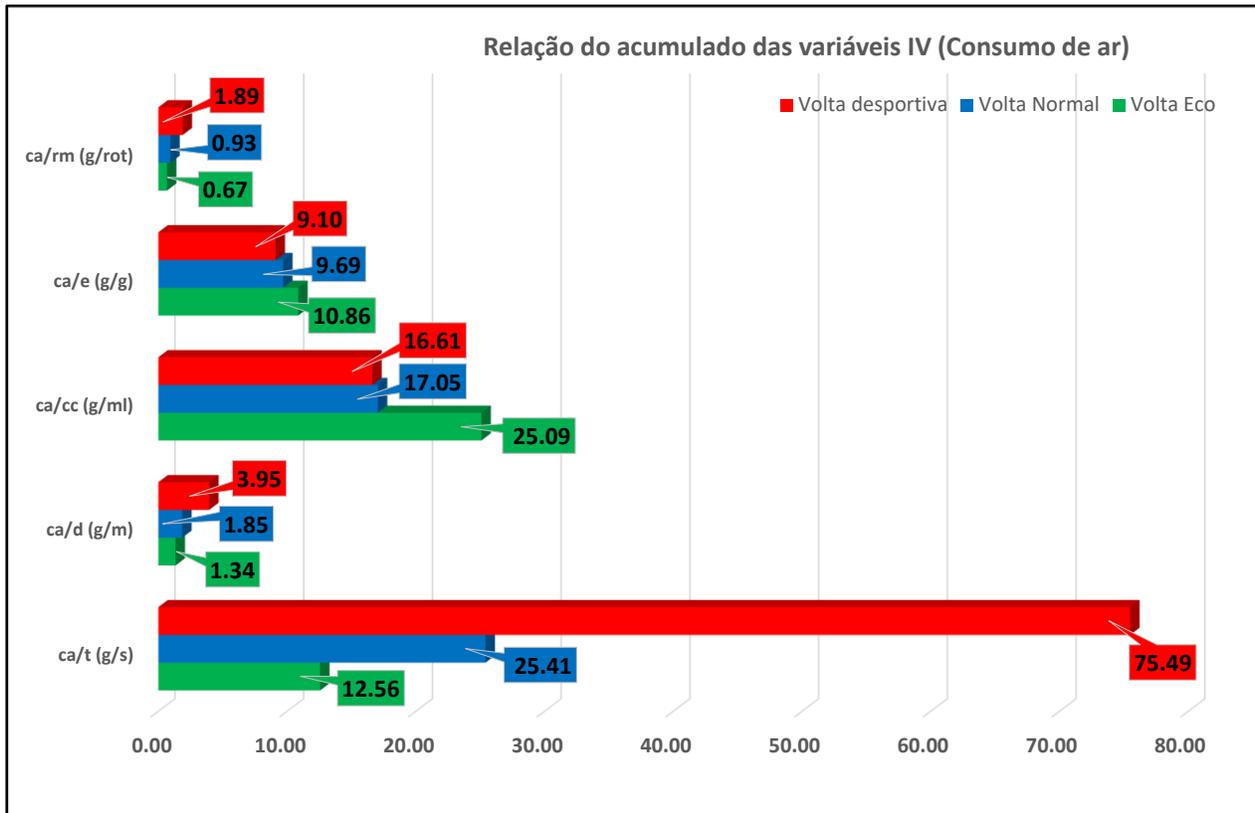


Figura 28: Relação dos acumulados totais (Consumo de ar)

3.1.3 Análise da característica de conforto

O padrão comportamental do condutor, relativamente à suavidade como exerce o ato da condução, terá influência nas acelerações do veículo e assim os dados destas podem ser tomados como parâmetros relevantes no estabelecimento da característica de conforto. .

A aceleração longitudinal de um automóvel corresponde à taxa de variação da sua velocidade tangencial. Quando nos referimos a um movimento retilíneo, a resultante da velocidade vetorial é igual à sua componente tangencial porque neste caso a sua componente normal é igual a zero. Considerando a velocidade (v) num instante (i), a aceleração longitudinal aumentará se $v_i < v_{i+1}$, e diminuirá se $v_i > v_{i+1}$. Um aumento desta aceleração tangencial corresponde a valores positivos no eixo dos YY no referencial do *smartphone* e ocorre quando o veículo sofre uma força que o impele a avançar, uma diminuição nesta aceleração tangencial corresponde a valores negativos no eixo dos YY no referencial do *smartphone*, e acontece quando o veículo sofre uma força que tem como consequência a diminuição da velocidade. Esta força que tende a diminuir a velocidade do veículo,

estará sempre presente num carro em movimento e para ela contribuem o atrito aerodinâmico, o atrito de rolamento e a força de inércia do veículo e do motor, sendo que quando existe acionamento do travão esta força aumenta consideravelmente e conseqüentemente existe um aumento proporcional do módulo da aceleração longitudinal.

O vetor aceleração é composto por duas componentes, normal e tangencial, e elas podem ser utilizadas para obter as forças atuantes em cada uma das direções pela aplicação da segunda lei de Newton. A aceleração normal será aquela medida quando se fala em aceleração lateral.

A aceleração lateral do veículo deve-se à variação da orientação do vetor velocidade. Ao descrever uma curva a posição do vetor velocidade, juntamente com as forças normais que ocorrem nos pneus do veículo, são responsáveis pela forma como se altera a trajetória do veículo lateralmente.

Neste caso quando o veículo curva para a esquerda os valores do referencial XX, serão negativos e quando o veículo curva para a direita os valores nesse referencial serão positivos. Note-se que uma vez que os referenciais estão alinhados entre veículo e *smartphone*, e que o movimento do *smartphone* se encontra solidário com o do veículo, considera-se a existência de um só referencial.

Neste trabalho o termo “vertical” associado à aceleração, é colocado entre aspas visto que esta aceleração não é exatamente vertical, mas sim perpendicular ao pavimento da estrada. Utiliza-se o termo “vertical” por forma a simplificar a escrita. A aceleração “vertical” mede essencialmente acelerações devidas à suspensão do veículo e sofrerá um incremento se a velocidade do veículo ortogonal à estrada aumenta e um decréscimo no caso contrário, e é uma consequência do movimento do veículo e das irregularidades do pavimento.

Na Figura 29 mostram-se as componentes do vetor aceleração onde no caso concreto está representada uma diminuição de velocidade e isto constata-se pela oposição do vetor velocidade à componente tangencial da aceleração.

A derivada da aceleração é a sua taxa de variação ao longo do tempo. Foi demonstrado que a derivada da aceleração de um veículo está relacionada as percepções fisiológicas do conforto do condutor e passageiros do veículo e que foi usado como uma medida de qualidade da vibração da suspensão do veículo, e das mudanças nas relações da transmissão (Feng et al., 2017). Pelo exposto parece importante estudar não só a aceleração, mas também a sua derivada, e para todas as suas componentes.

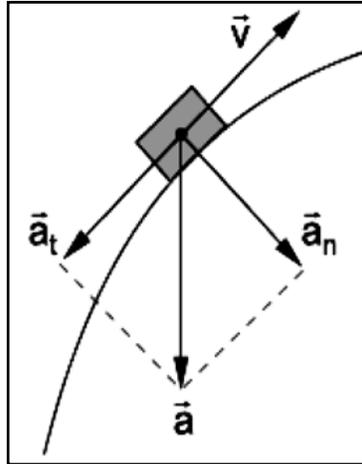


Figura 29: Componentes vetoriais da aceleração

A aplicação *Torque* permite o acesso aos dados dos acelerómetros do *smartphone* e desta forma é possível estudar os fenómenos atrás mencionados. O estudo das magnitudes destas acelerações e a frequência com que ocorrem permite então realizar uma análise ao parâmetro de conforto empregue pelo condutor no ato da condução. Para que os dados recolhidos sejam o mais precisos possível o *smartphone* foi montado no veículo em suporte próprio que se encontra no interior da consola central entre os bancos frontais do veículo, com a orientação correta segundo a demonstrada na Figura 30 e perto do centro do veículo em relação à largura, altura e comprimento. Esta montagem tenta evitar o deslocamento relativo entre o telefone e o veículo, sendo que o suporte não é infinitamente rígido e existirá sempre vibração do telefone e algum movimento relativamente ao carro. A baixa taxa de amostragem do sinal do acelerómetro do telemóvel deverá filtrar essas frequências de vibração por serem bastante mais elevadas.

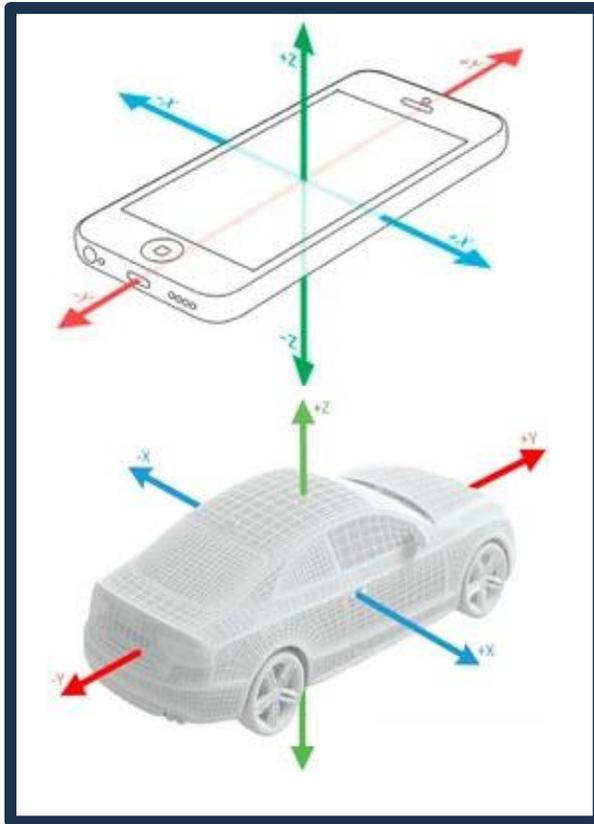


Figura 30: Alinhamento dos referenciais; (Bassetti et al., 2022)

3.1.3.1 Metodologia

De forma a analisar as três variáveis de aceleração disponibilizadas pelos acelerómetros do telemóvel e registadas pela aplicação torque, foram determinados intervalos mediante a magnitude dos valores registados para cada variável. Para uma melhor compreensão de como é sentida a aceleração (em qualquer direção) foi estudada a derivada da aceleração utilizando uma aproximação por diferenças finitas progressivas. Esta taxa de variação média da aceleração que corresponde à forma como percecionamos fisicamente a mudança de aceleração chama-se habitualmente de *jerk*, tipicamente um termo utilizado para avaliar o conforto de suspensões. Neste caso concreto e dada a baixa taxa de amostragem filtrar as altas frequências, será mais correto referir a variável como derivada da aceleração e esta indica-nos o quão suavemente ou abruptamente foi percecionada pelo condutor a sua condução. Valores elevados da derivada da aceleração indicam mudanças repentinas e de elevada magnitude na aceleração e são percecionadas pelo condutor pelas elevadas forças longitudinais,

laterais ou verticais a que o corpo fica sujeito e à frequência com que estas ocorrem. Valores da derivada da aceleração diminutos tornarão a viagem do condutor e dos passageiros mais confortável e propensa a menos ação de forças sentidas no corpo.

Os intervalos, baseados na aceleração e sua derivada percebidos pelo condutor, foram nomeados e balizados da seguinte forma:

- Suave [0.20 - 0.39] g no caso da aceleração ou $g\ s^{-1}$ no caso da sua derivada,
- Reduzida [0.4 - 0.49] g no caso da aceleração ou $g\ s^{-1}$ no caso da sua derivada,
- Normal [0.5 - 0.69] g no caso da aceleração ou $g\ s^{-1}$ no caso da sua derivada,
- Forte [0.7 - 0.79] g no caso da aceleração ou $g\ s^{-1}$ no caso da sua derivada,
- Violenta [valor >0.80] g no caso da aceleração ou $g\ s^{-1}$ no caso da sua derivada.

A ocorrência de eventos na categoria suave não será um fator de diferenciação entre as variáveis visto que é o que tem maior número de ocorrências. Aqui importa comparar os picos nas três componentes da aceleração e suas derivadas que originarão ocorrências nos intervalos Forte e Violenta. Um resumo estatístico das variáveis foi igualmente efetuado para um melhor entendimento do parâmetro de conforto. Neste caso concreto e devido à constante alternância entre valores positivos e negativos das variáveis, a média não é representativa porque os valores praticamente se anulam. O desvio padrão ou o valor eficaz (RMS) serão aqui mais representativos do que aquilo que realmente ocorreu no percurso. Neste caso, e visto que a média das variáveis é muito próxima de zero, o desvio padrão e o valor eficaz são bastante semelhantes. Também o alcance dos dados e os seus máximos e mínimos são claramente demonstrativos da forma como se abordou o percurso. Com a segmentação das ocorrências entre positivas e negativas pode-se também, por exemplo, constatar se um condutor realiza as curvas para um lado com mais agressividade do que para o lado oposto.

Para todas as variáveis estudadas foram elaborados gráficos em função do tempo adimensionalizado por forma que todas as voltas se encontrassem na mesma escala temporal. Isto permite que as ocorrências das voltas se sobreponham podendo visualizar-se melhor as ocorrências menos habituais. De igual forma foram também elaborados gráficos que usam a distância como variável dependente sendo que aqui as ocorrências entre voltas ficam ainda mais próximas. Algumas ocorrências são mostradas no gráfico para um melhor entendimento.

Nas Figuras 31, 32 e 33 com representações geográficas estão representadas as magnitudes de velocidade linear do OBD e acelerações do *smartphone*.



Figura 32: Posição geográfica da magnitude da velocidade em função do tempo (Volta Normal)

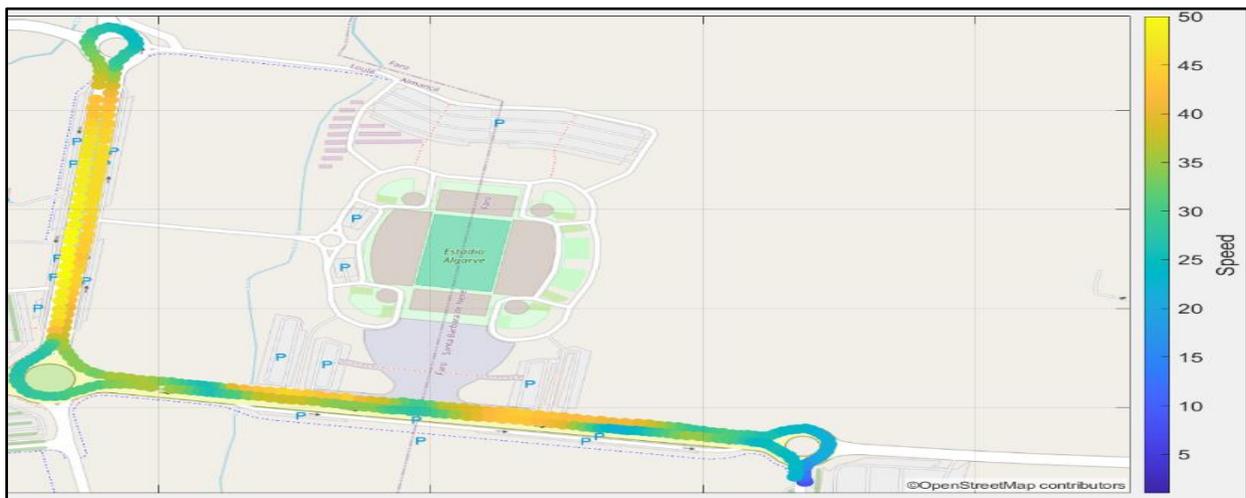


Figura 31: Posição geográfica da magnitude da velocidade em função do tempo (Volta Eco)



Figura 33: Posição geográfica da magnitude da velocidade em função do tempo (Volta Desportiva)

3.1.3.2 Análise de dados

Aceleração lateral (XX)

Da análise conjunta das imagens seguintes, (Figuras 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 e 42, e, tabelas 4 e 5), consegue-se estabelecer um paralelismo dos acontecimentos, e dois destes encontram-se referenciados onde se mostra uma curva para a esquerda e outra para a direita.

Existe uma clara predominância de ocorrência de valores da derivada da aceleração elevados na volta desportiva visto que a velocidade a que as curvas foram feitas e as mudanças de direção lateral foram realizadas de forma mais abrupta.

Estas mudanças de direção súbita e abrupta explicam a razão por que existe mais ocorrência de eventos da derivada da aceleração no intervalo violento do que ocorrências de aceleração. Nas rotundas existe uma alternância entre valores positivos e negativos de aceleração lateral e isso tem como consequência um valor elevado na magnitude da derivada da aceleração e o condutor percebe esse facto com o balancear lateral que sente ao descrever uma rotunda ao efetuar o contorno da mesma a velocidades elevadas, sobretudo na entrada da rotunda e na saída da rotunda.

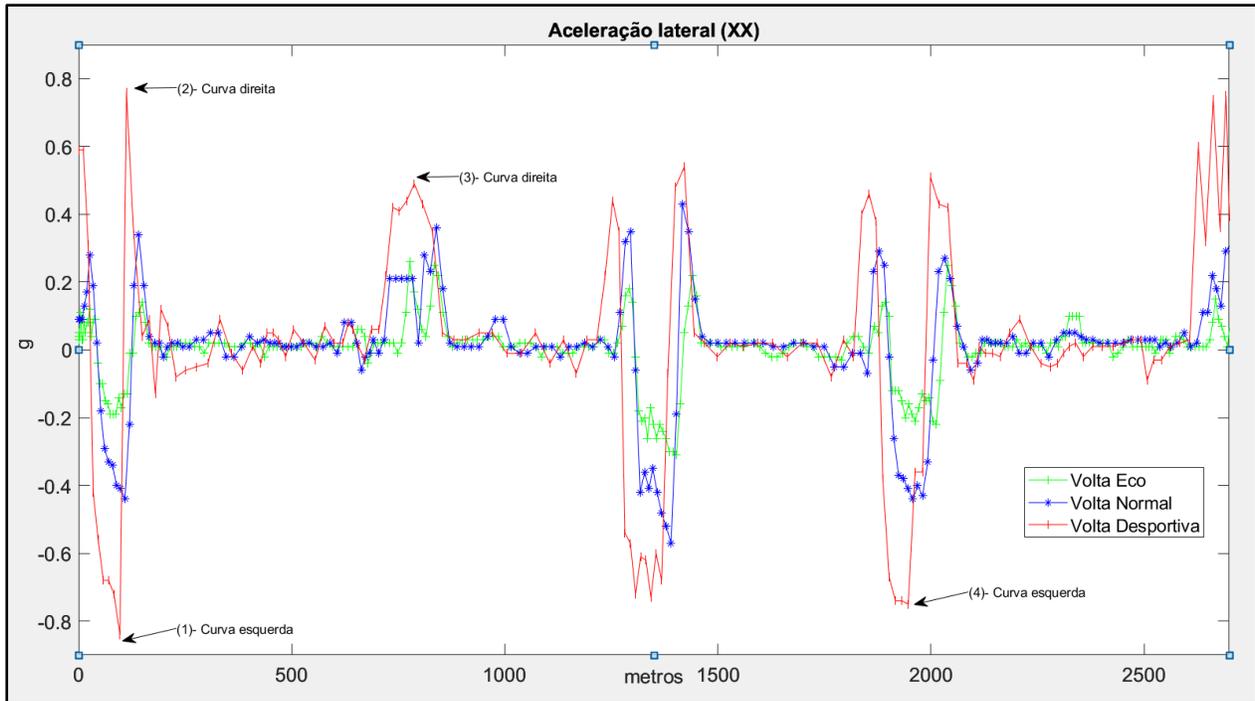


Figura 34: Magnitude da aceleração lateral em função da distância



Figura 35: Posição geográfica da magnitude da aceleração lateral (Volta Desportiva)

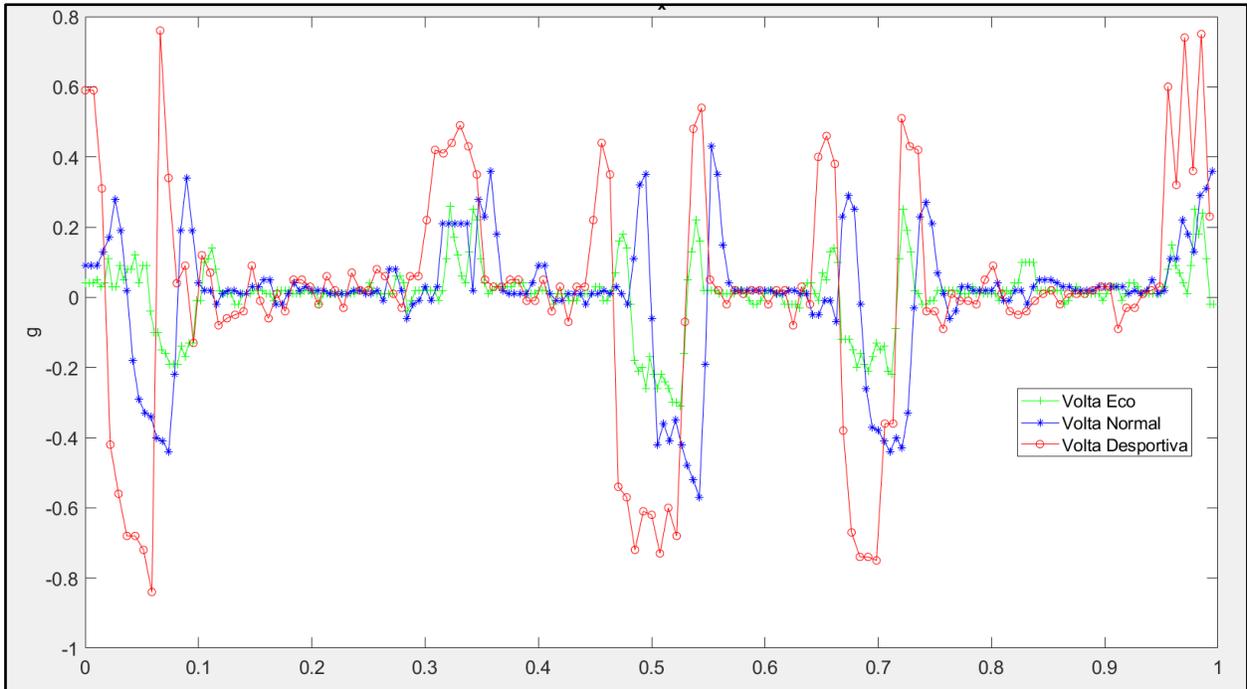


Figura 36: Magnitude da aceleração lateral em função do tempo adimensionalizado

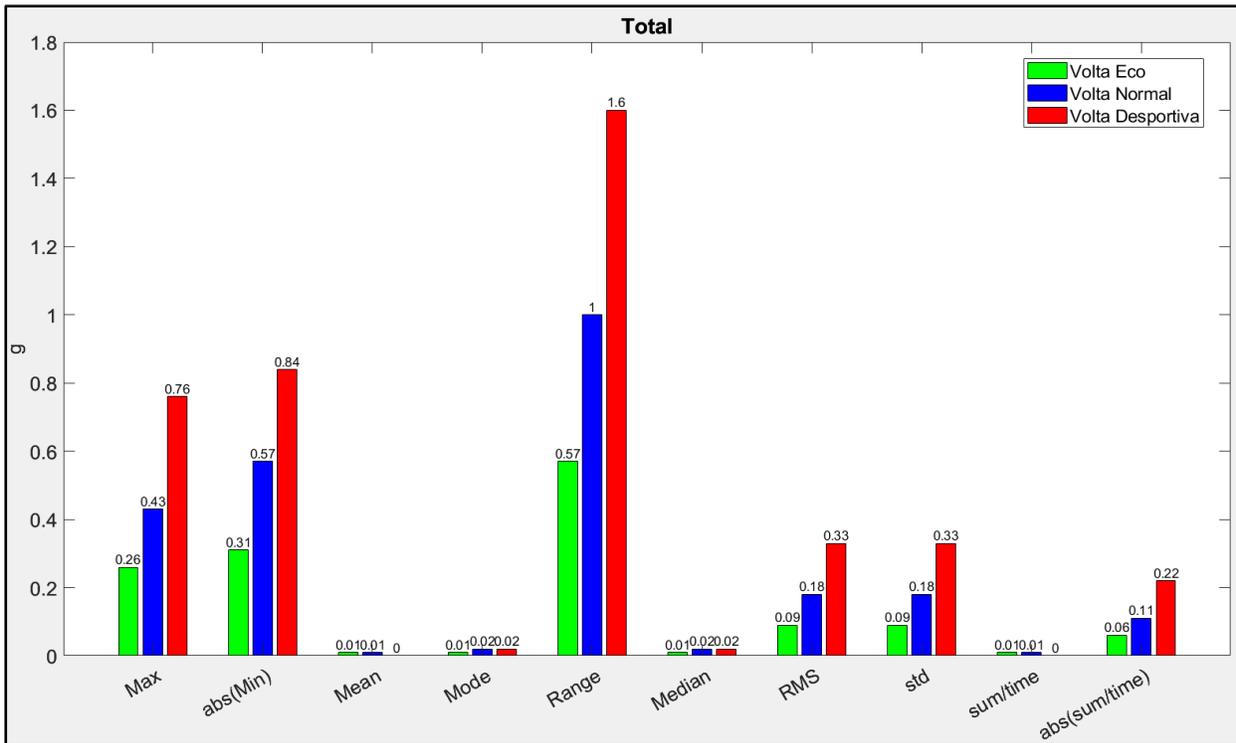


Figura 37: Resumo estatístico da aceleração lateral

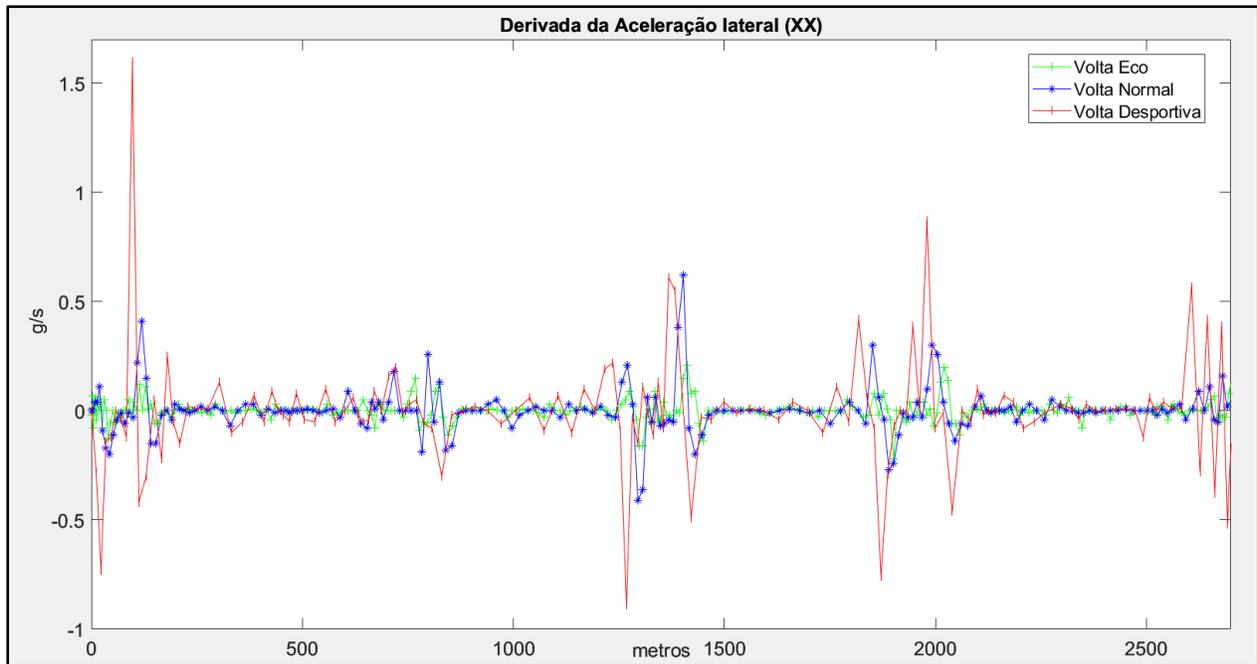


Figura 38: Magnitude da derivada da aceleração lateral em função da distância

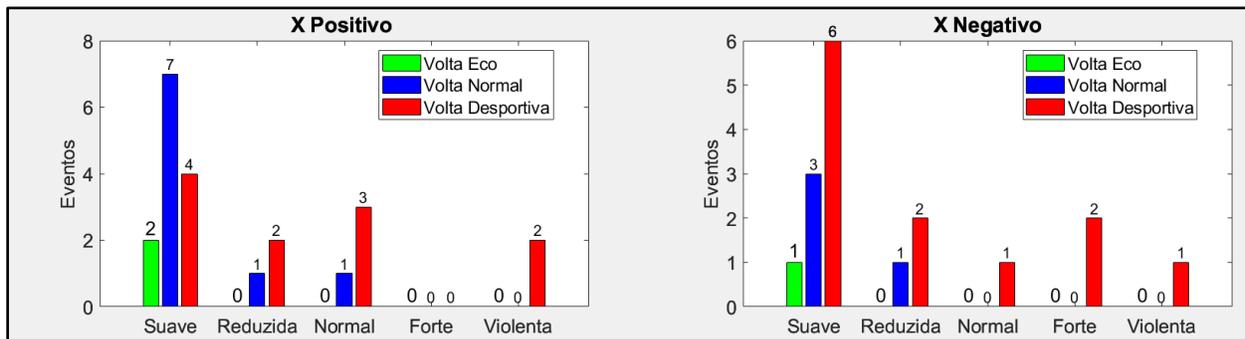


Figura 39: Classificação intervalar da aceleração lateral com separação de eventos

Tabela 4: Classificação intervalar da aceleração lateral total de eventos

Eventos totais	Suave	Reduzida	Normal	Forte	Violenta
Volta Eco	3	0	0	0	0
Volta Normal	10	2	1	0	0
Volta Desportiva	10	4	4	2	3

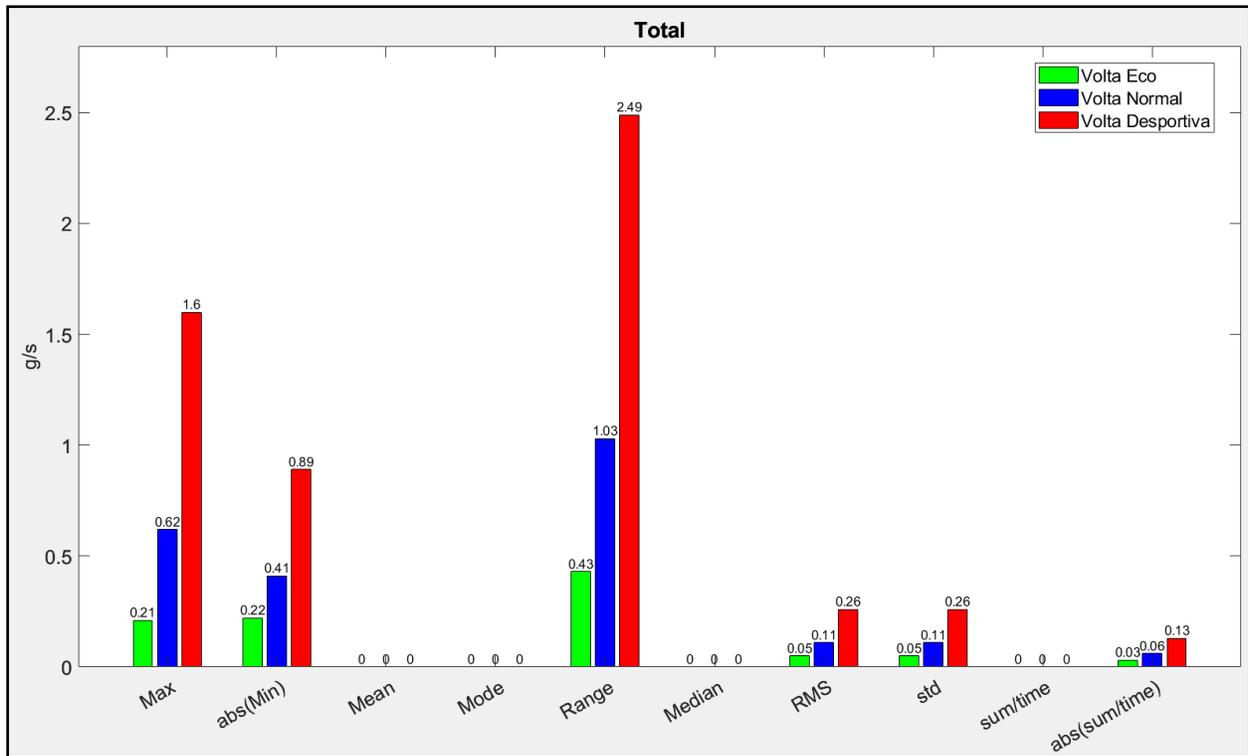


Figura 40: Resumo estatístico da derivada da aceleração lateral

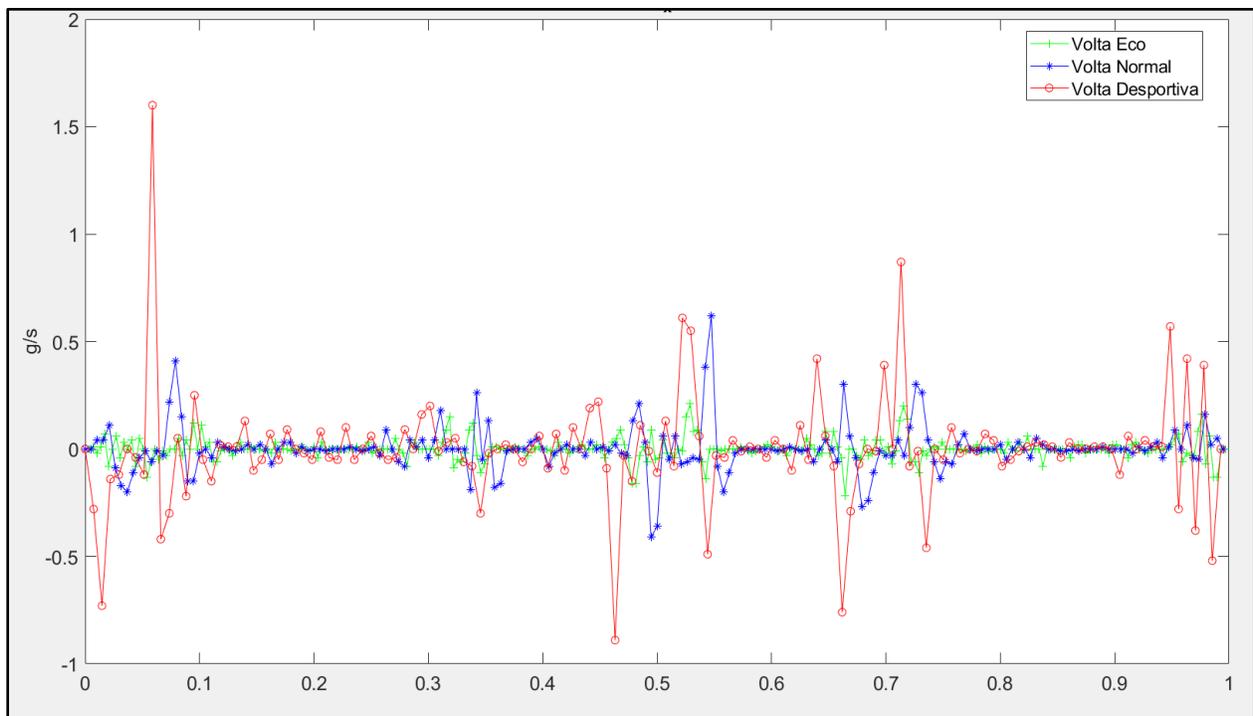


Figura 41: Magnitude da derivada da aceleração lateral em função do tempo adimensionalizado

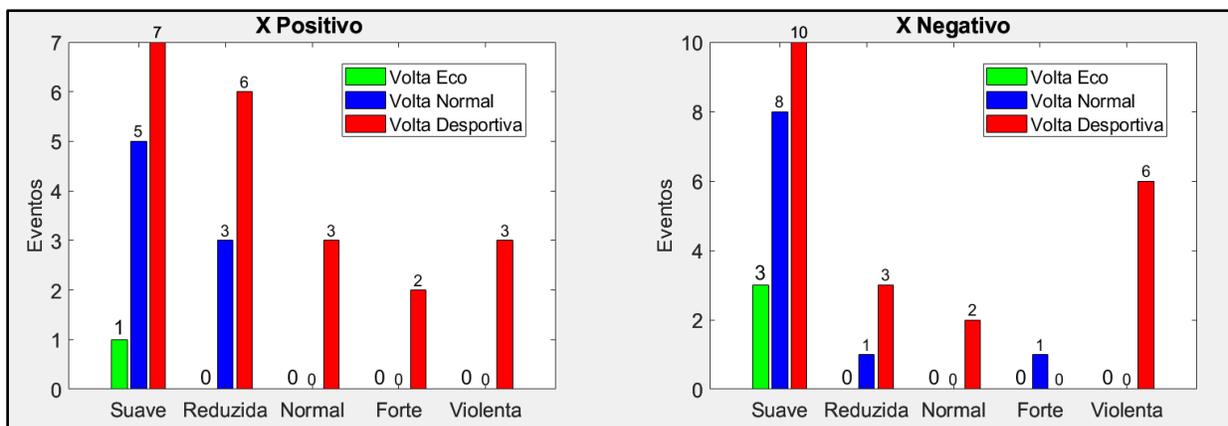


Figura 42: Classificação intervalar da derivada da aceleração lateral com separação de eventos

Tabela 5: Classificação intervalar da derivada da aceleração lateral (total de eventos)

Eventos totais	Suave	Reduzida	Normal	Forte	Violenta
Volta Eco	4	0	0	0	0
Volta Normal	13	4	0	1	0
Volta Desportiva	17	9	5	2	9

Aceleração no eixo dos YY (Longitudinal)

A aceleração longitudinal respeita à variação da velocidade tangencial do veículo no deslocamento em linha reta. Os valores positivos da aceleração longitudinal correspondem a variações positivas na velocidade e são resultantes do trabalho do motor a impelir o veículo a avançar. Os valores de aceleração longitudinal negativos são resultantes da oposição ao avanço do veículo proveniente das inercias atuantes ou do trabalho resultante do sistema de travagem do veículo.

Da categorização dos dados recolhidos da aceleração longitudinal e da sua análise verifica-se que não houve registos nesta gama de valores para a volta ecológica visto que a velocidade foi reduzida e a forma como esta variou também o foi igualmente.

A ocorrência de “*jerk*” categorizado como forte na volta desportiva decorre das travagens fortes realizadas ao abordar as lombas de redução de velocidade, para não provocar dano ao veículo e das acelerações veementes realizadas nas retas que impelem o carro a deslocar-se para a frente.

De salientar o facto de os valores de aceleração longitudinal registados serem inferiores aos de aceleração lateral do veículo, o que demonstra que existe uma boa capacidade de aderência do veículo à estrada quando descreve as curvas e também mostra que o motor do veículo não tem potência suficiente para imprimir acelerações mais vigorosas. As Figuras 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 e 51, e, tabelas 6 e 7, demonstram os valores obtidos.

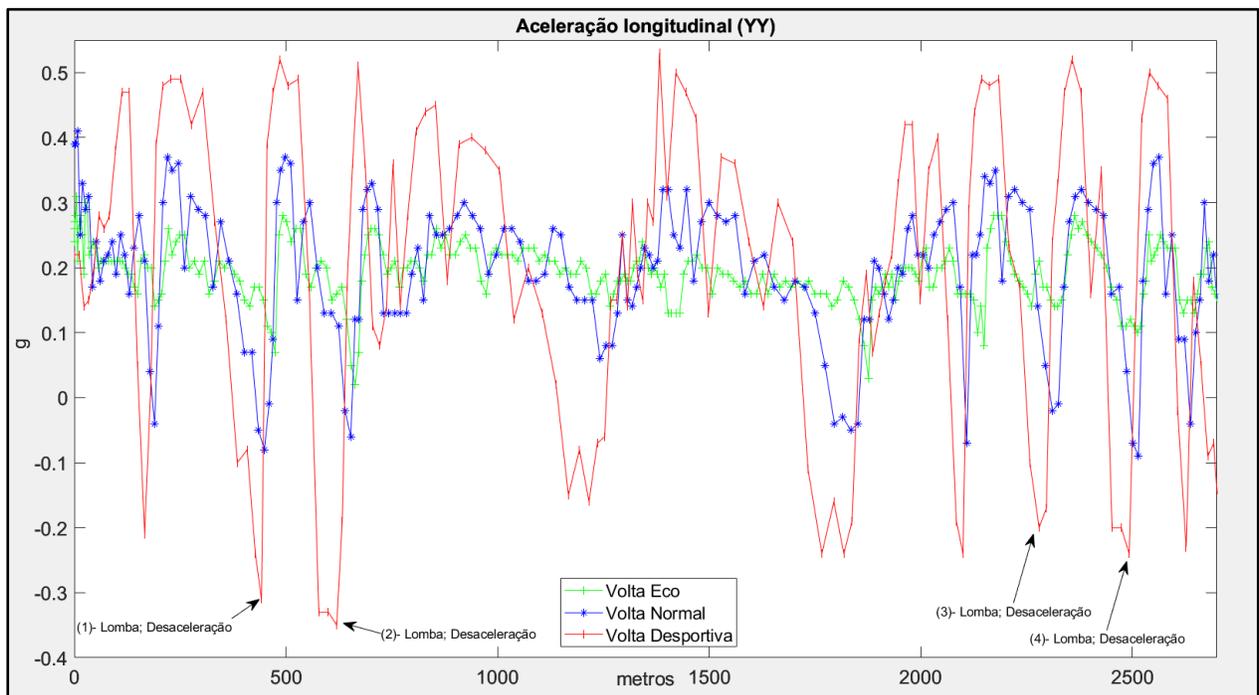


Figura 43: Magnitude da aceleração longitudinal em função da distância

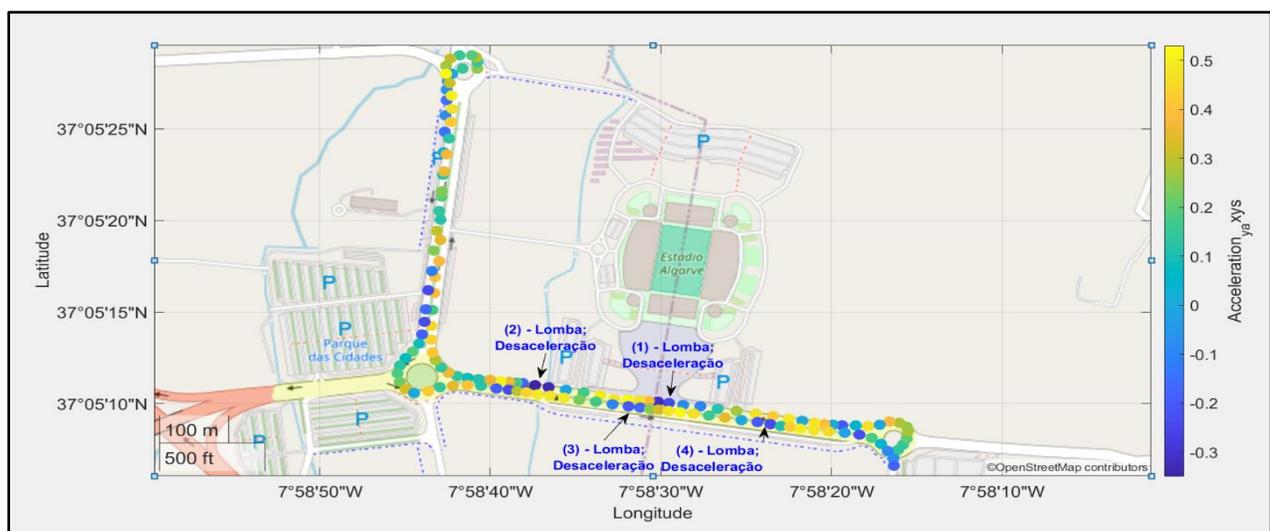


Figura 44: Posição geográfica da magnitude da aceleração longitudinal (Volta Desportiva)

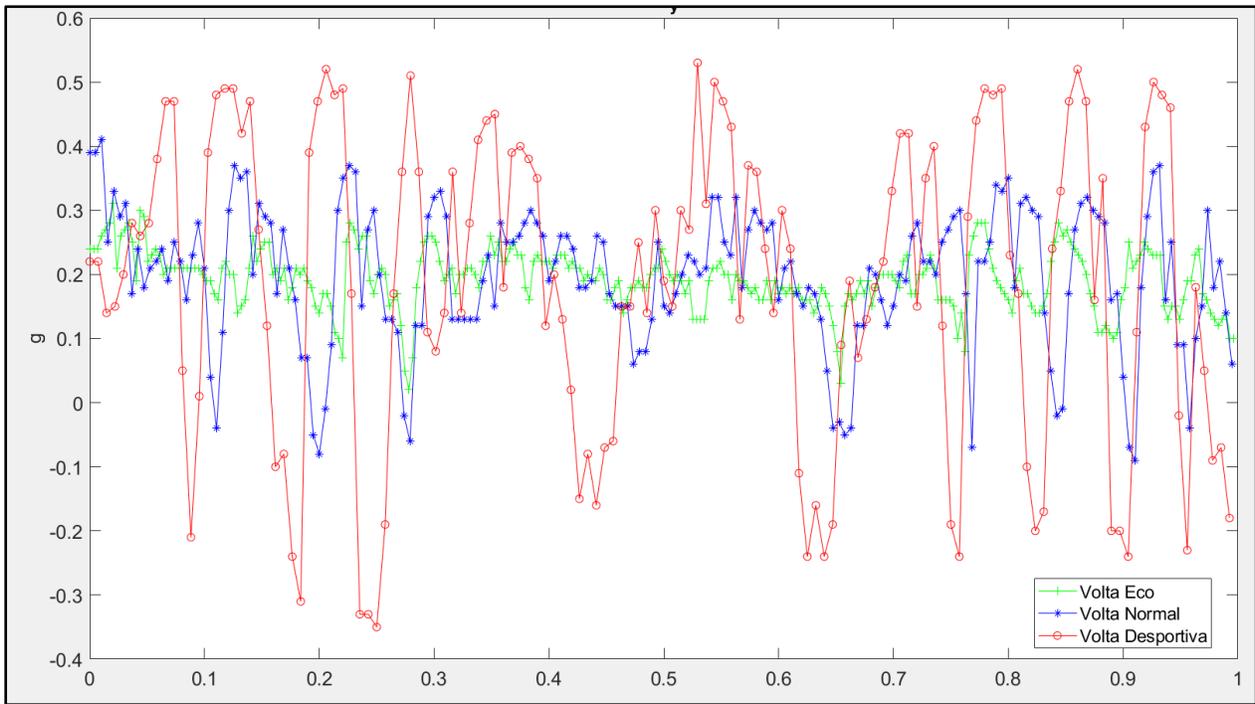


Figura 46: Magnitude da aceleração longitudinal em função do tempo adimensionalizado

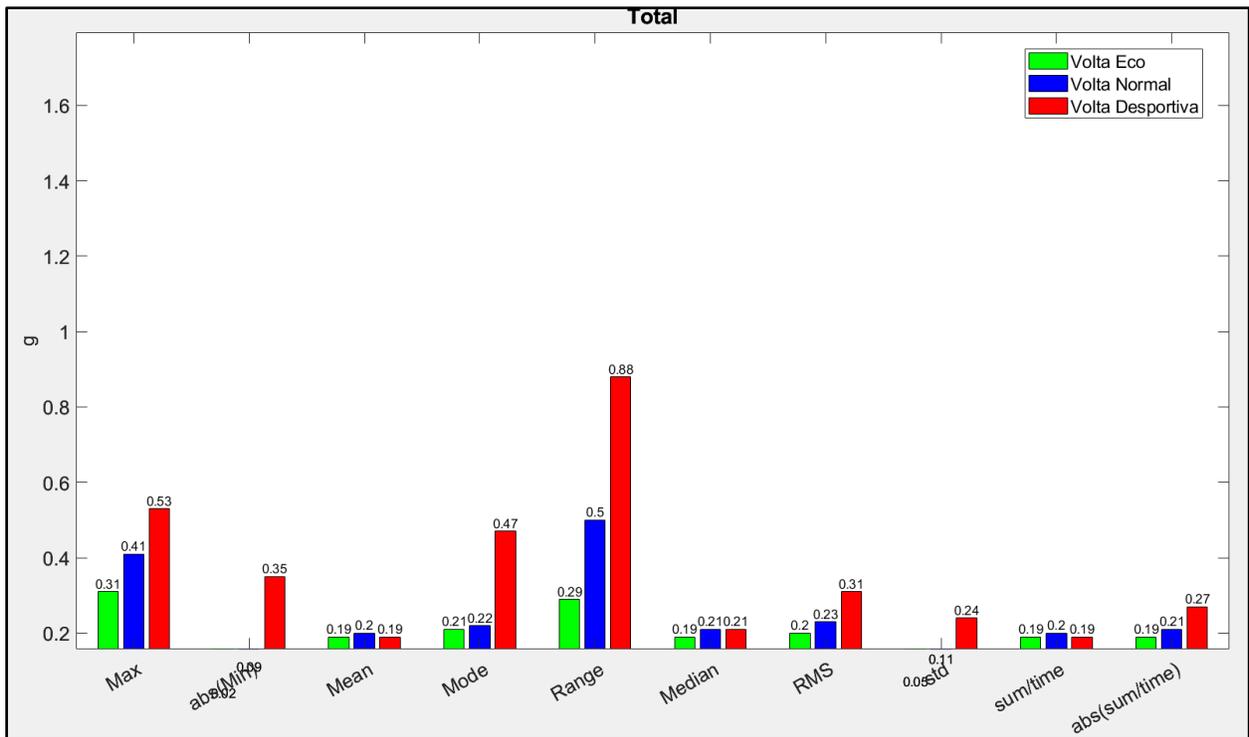


Figura 45: Resumo estatístico da aceleração longitudinal

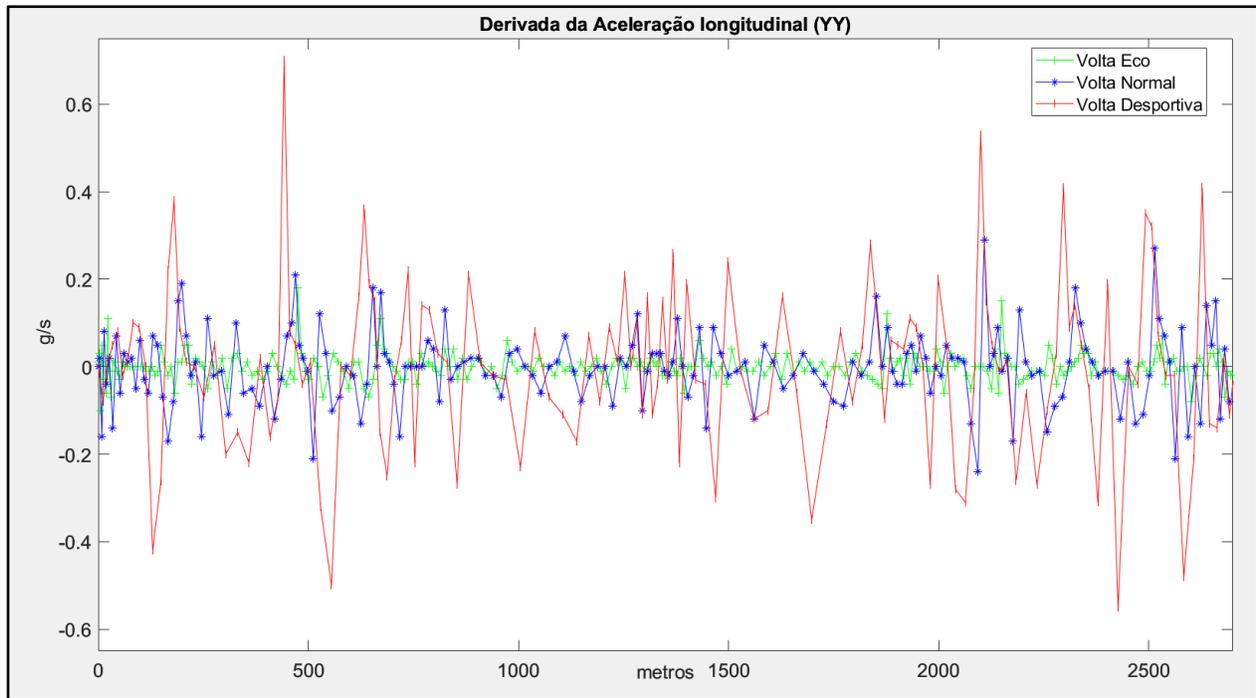


Figura 47: Magnitude da derivada da aceleração longitudinal em função da distância

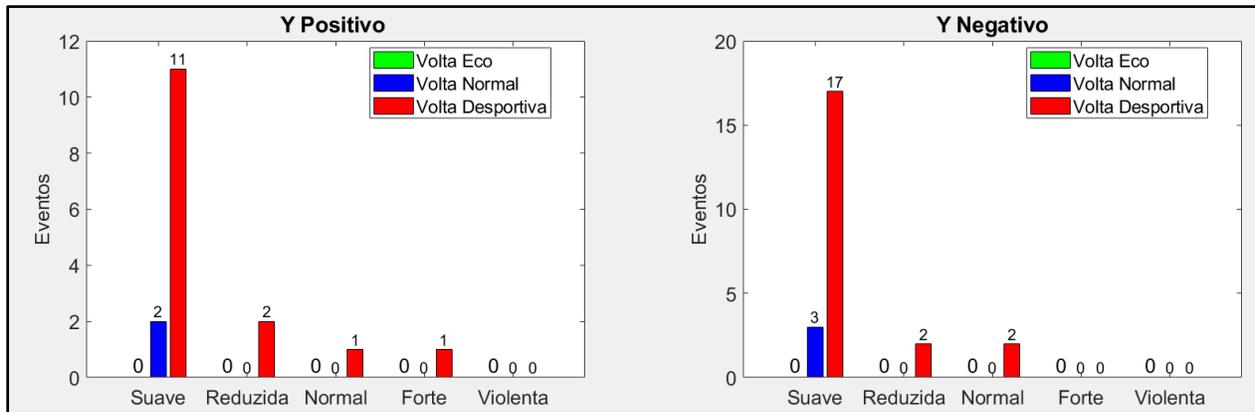


Figura 48: Classificação intervalar da aceleração longitudinal com separação de eventos

Tabela 6: Classificação intervalar da aceleração longitudinal (total de eventos)

Eventos totais	Suave	Reduzida	Normal	Forte	Violenta
Volta Eco	0	0	0	0	0
Volta Normal	5	0	0	0	0
Volta Desportiva	28	4	3	1	0

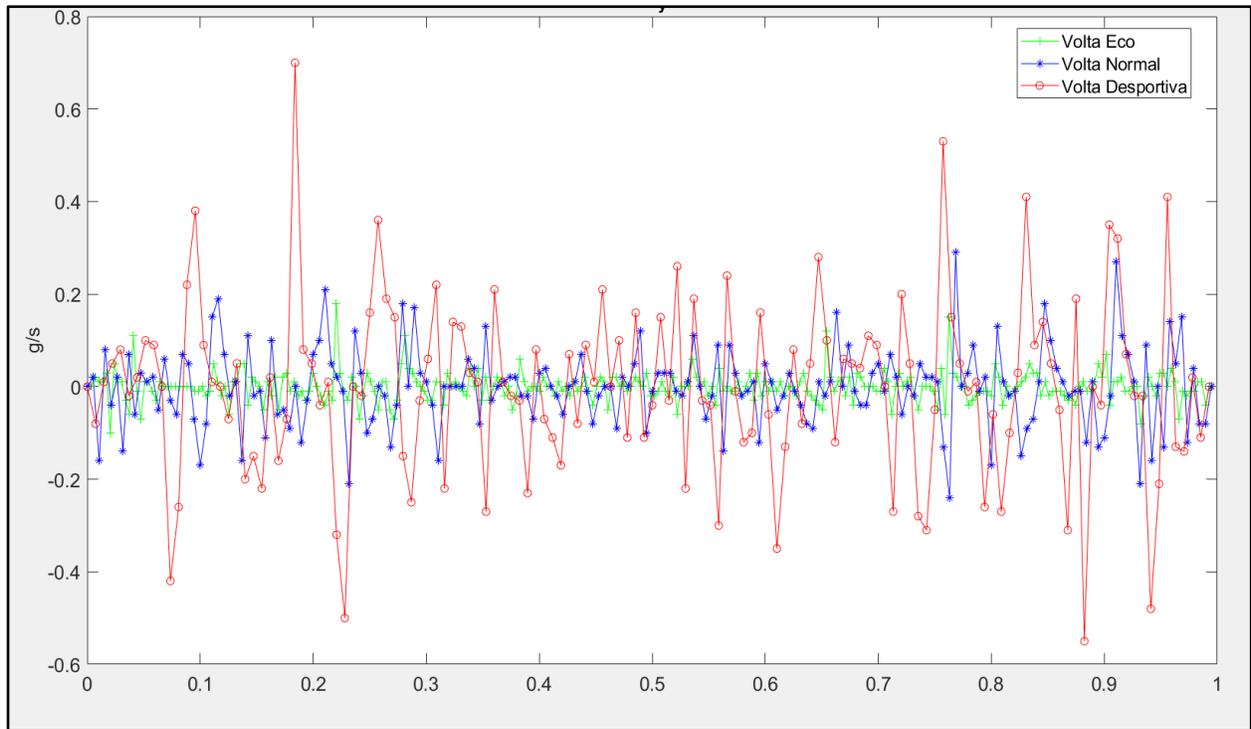


Figura 49: Magnitude da derivada da aceleração longitudinal em função do tempo adimensionalizado

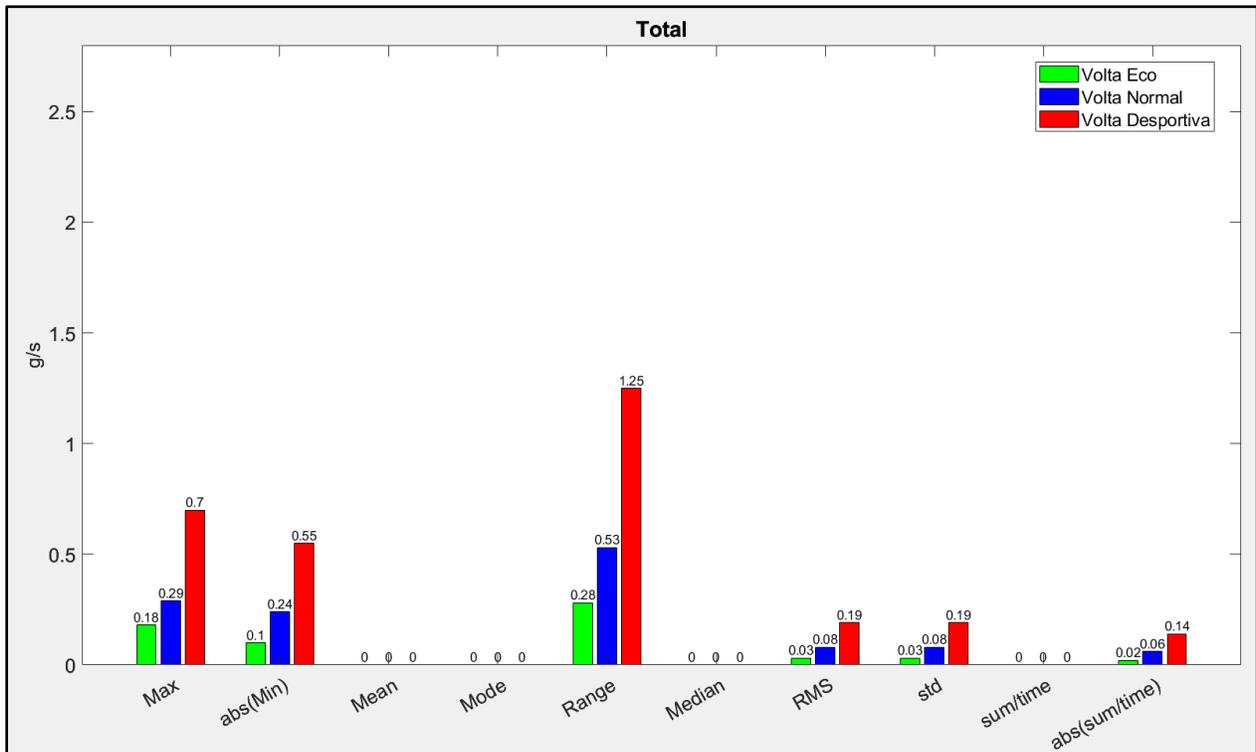


Figura 50: Resumo estatístico da derivada da aceleração longitudinal

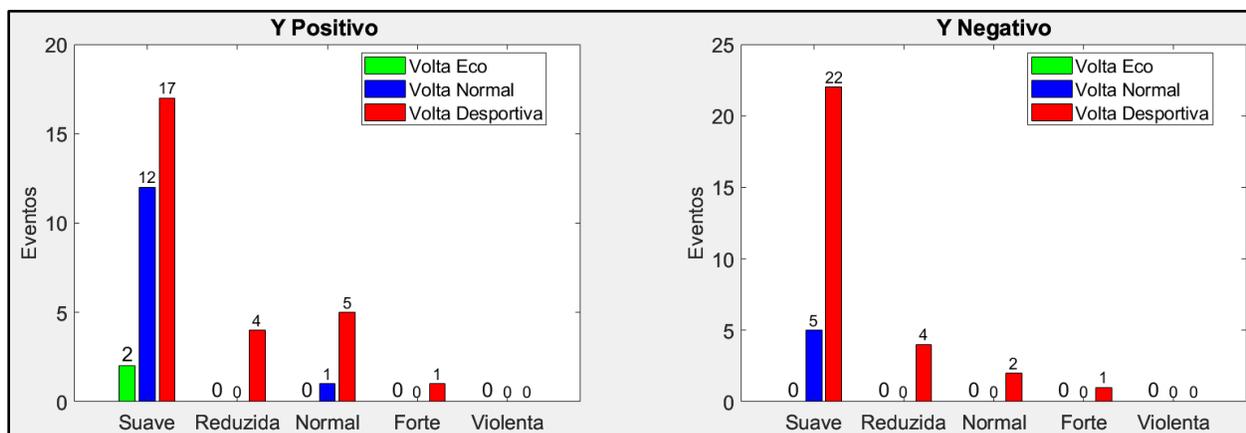


Figura 51: Classificação intervalar da derivada da aceleração longitudinal com separação de eventos

Tabela 7: Classificação intervalar da derivada da aceleração longitudinal (total de eventos)

Eventos totais	Suave	Reduzida	Normal	Forte	Violenta
Volta Eco	2	0	0	0	0
Volta Normal	17	0	1	0	0
Volta Desportiva	39	8	7	2	0

Aceleração no eixo dos ZZ (“Vertical”)

A aceleração “vertical” refere-se à variação da velocidade de deslocamento ascendente ou descendente. Esta aceleração será menos sentida se o sistema de suspensão do automóvel estiver em boas condições visto que as molas limitam a amplitude deste deslocamento e os amortecedores são responsáveis por diminuir gradualmente a velocidade desse deslocamento. Dependendo da rigidez das molas e da força dinâmica exercida pelos amortecedores estes podem aumentar a sensação de rigidez porque limitam esse deslocamento vertical de forma abrupta, como ocorre nos veículos desportivos. Normalmente existe uma preocupação das marcas para efetuarem uma afinação da suspensão intermédia a fim de obter o melhor compromisso entre conforto e eficiência.

Os valores de aceleração positiva correspondem ao deslocamento ascensional do veículo que provoca uma menor compressão nas molas e nos amortecedores e os valores negativos correspondem a movimentos descensionais que provocam uma maior compressão nas molas e nos amortecedores. Verifica-se uma clara predominância para ocorrência de valores de aceleração e “jerk” elevados na volta desportiva e isto deve-se aos momentos das travagens fortes que tendem a provocar o

“agachamento” do veículo e também da velocidade mais elevada à qual é efetuada a passagem nas lombas redutoras de velocidade.

Na recolha dos dados da aceleração vertical, a aplicação torque regista os dados considerando permanente a aceleração gravítica. Assim nos gráficos 54 e 55 , referentes a aceleração vertical os valores do eixo da variável dependente iniciam-se sempre no valor 0.9 ao invés de 0.0, o que mostra a representação da aceleração gravítica constantemente durante a aquisição dos dados.

As Figuras 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, e, tabelas 8 e 9.



Figura 52: Posição geográfica da magnitude da aceleração “vertical” (Volta Desportiva)

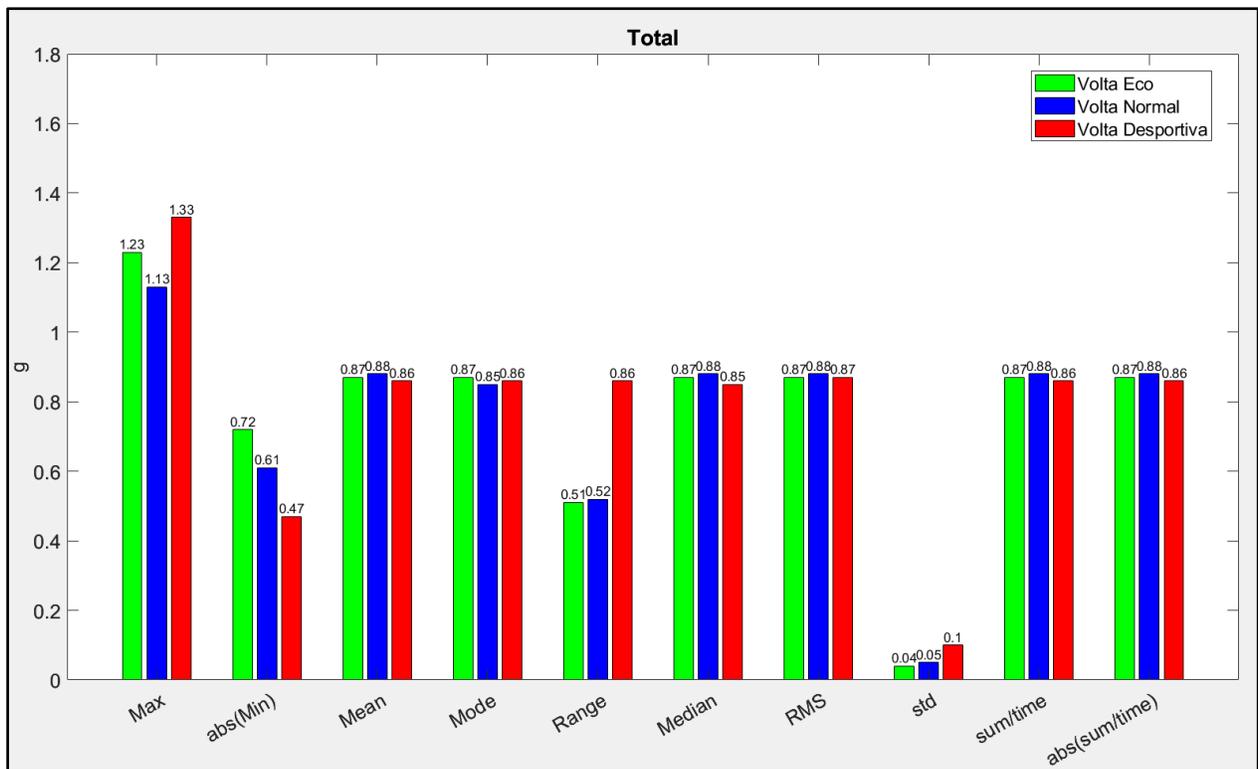


Figura 53: Resumo estatístico da aceleração “vertical”

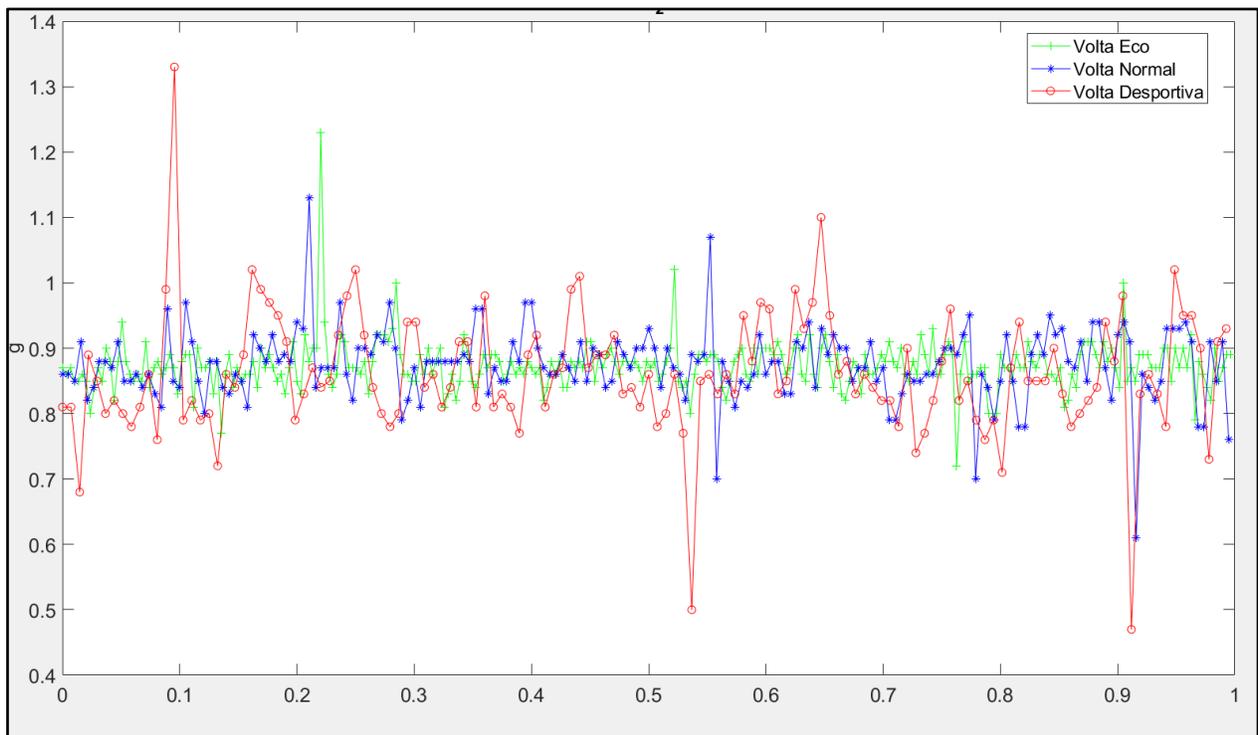


Figura 54: Magnitude da aceleração “vertical” em função do tempo adimensionalizado

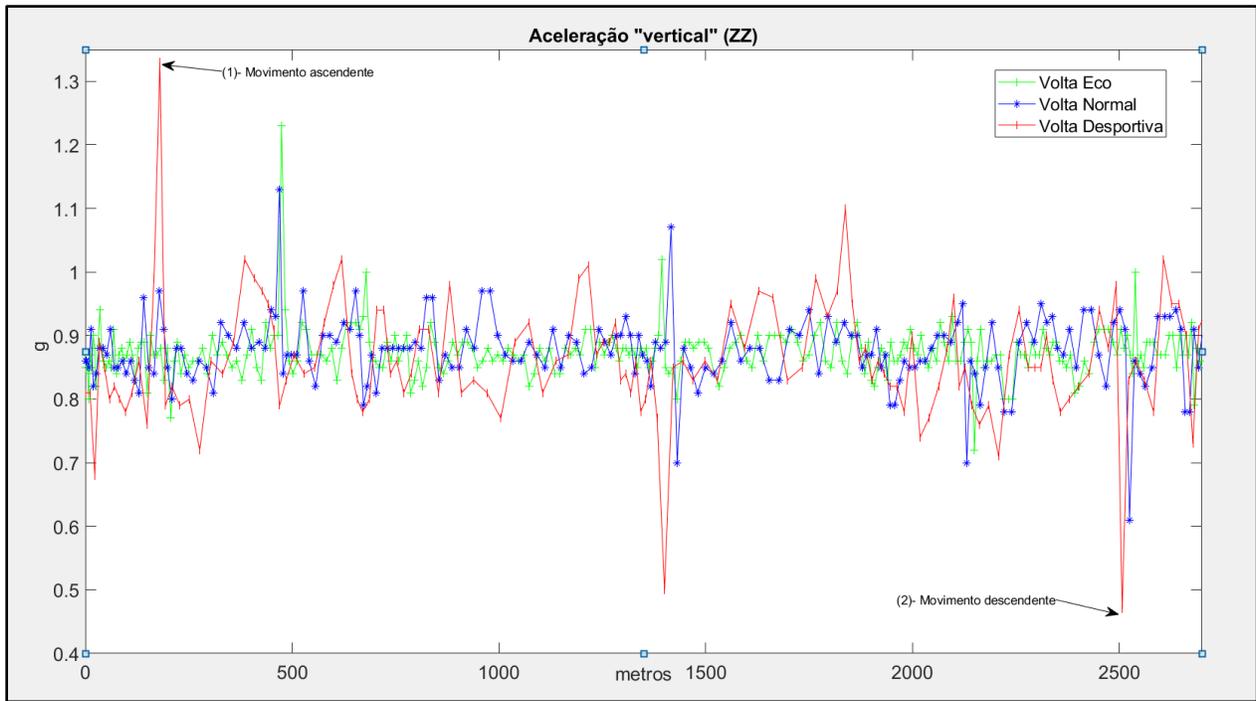


Figura 55: Magnitude da aceleração “vertical” em função da distância

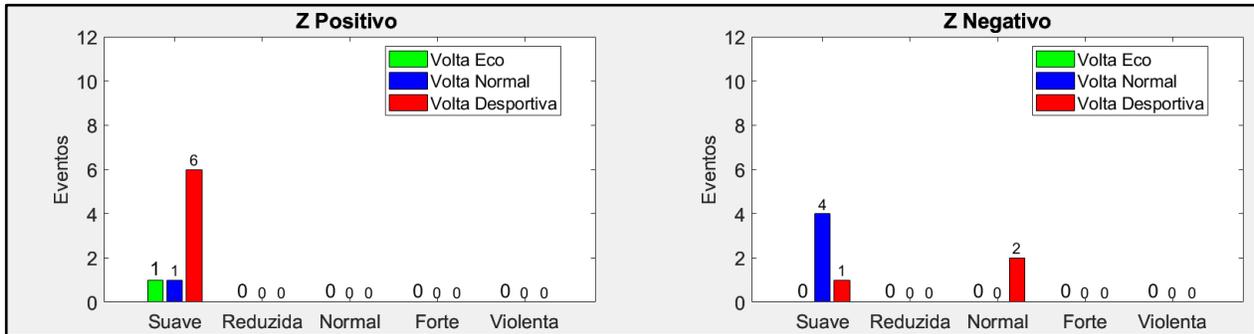


Figura 56: Classificação intervalar da aceleração “vertical” com separação de eventos

Tabela 8: Classificação intervalar da aceleração “vertical” (total de eventos)

Eventos totais	Suave	Reduzida	Normal	Forte	Violenta
Volta Eco	1	0	0	0	0
Volta Normal	5	0	0	0	0
Volta Desportiva	7	0	2	1	0

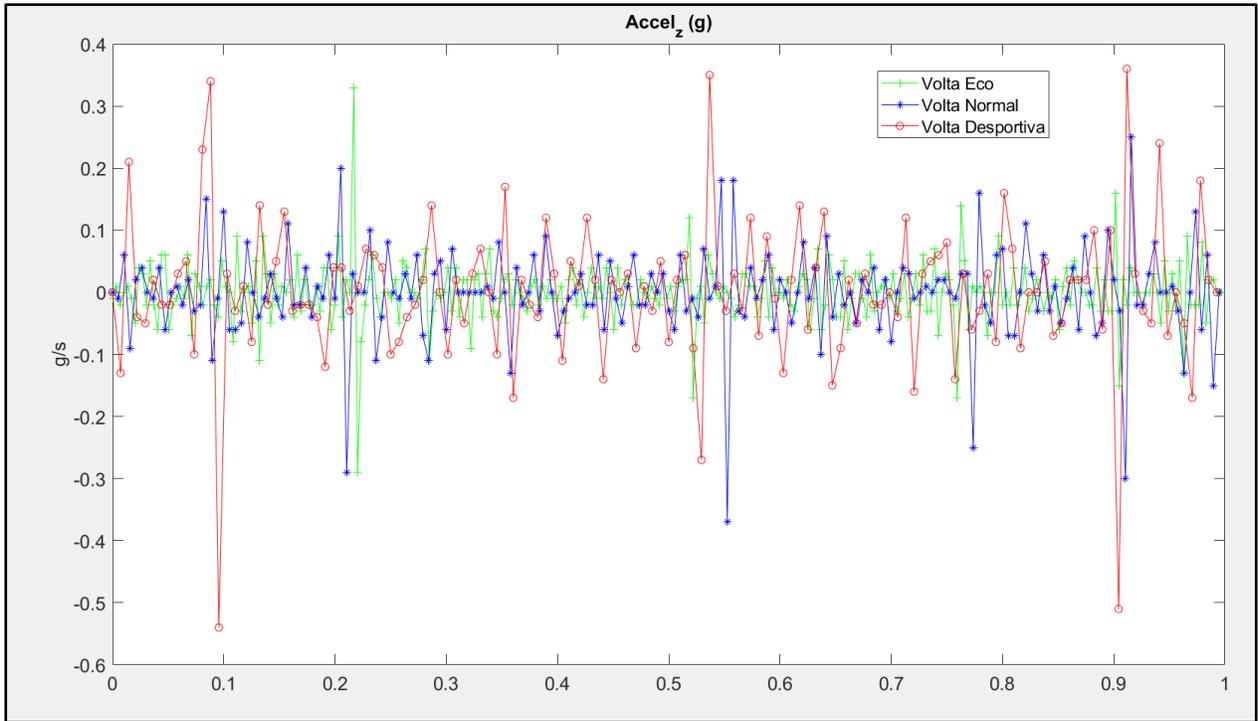


Figura 57: Magnitude da derivada da aceleração “vertical” em função do tempo adimensionalizado

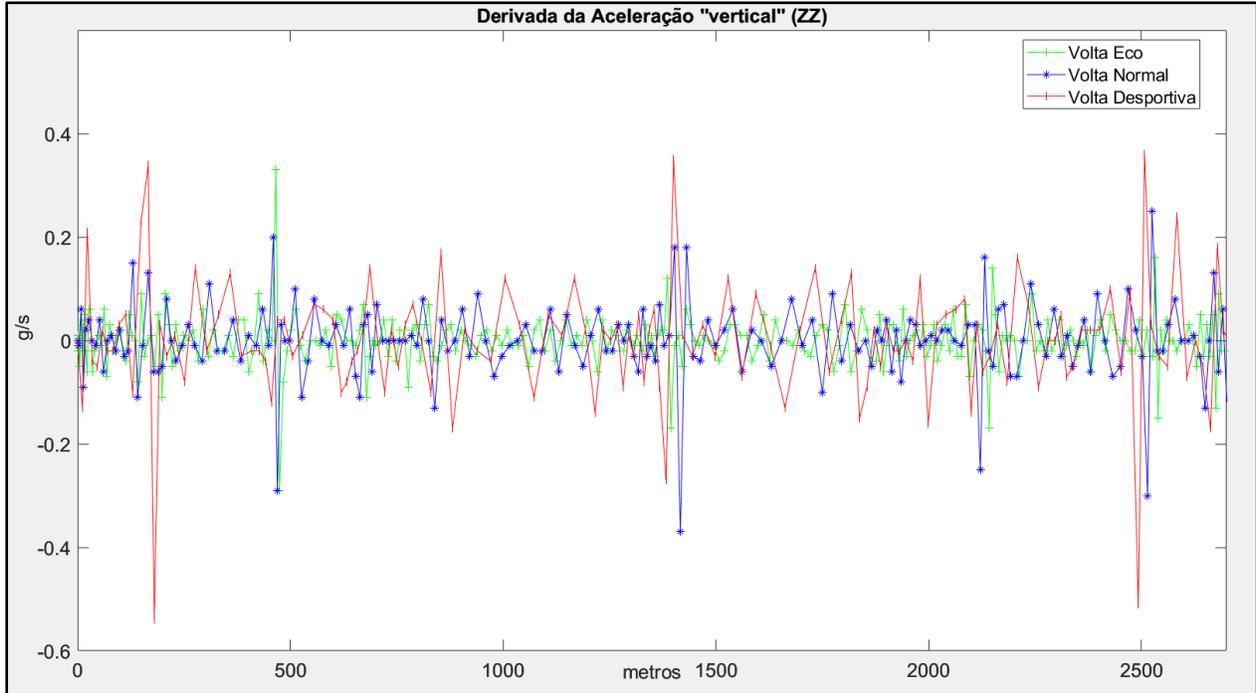


Figura 58: Magnitude da derivada da aceleração “vertical” em função da distância

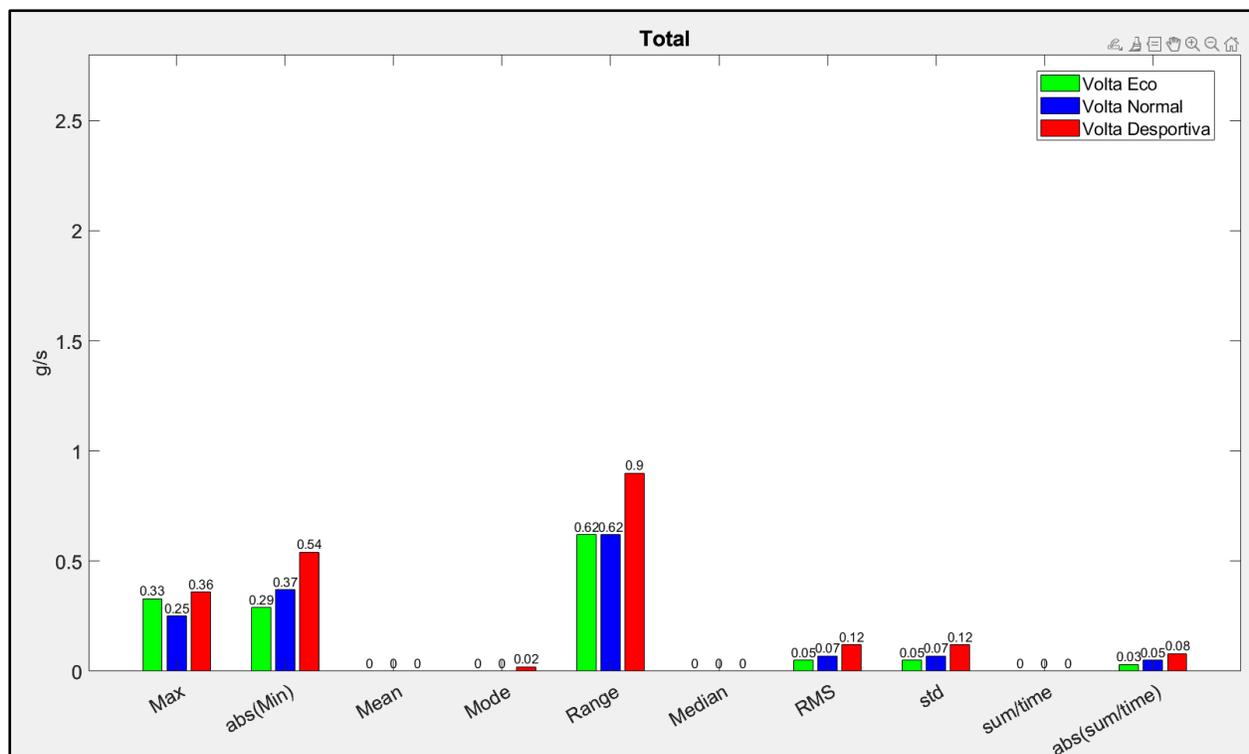


Figura 59: Resumo estatístico da derivada da aceleração "vertical"

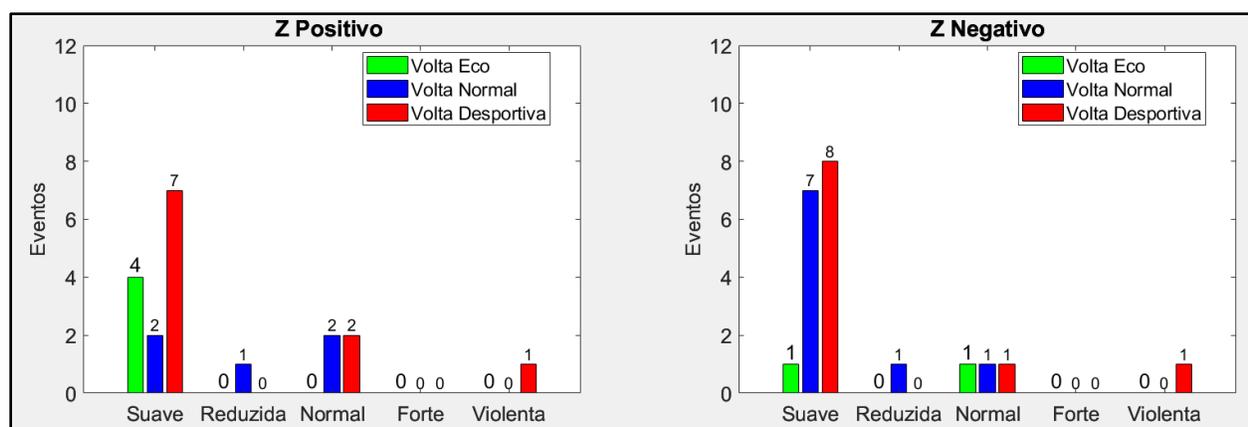


Figura 60: Classificação intervalar da derivada da aceleração "vertical"

Tabela 9: Classificação intervalar da derivada da aceleração "vertical" (total de eventos)

Eventos totais	Suave	Reduzida	Normal	Forte	Violenta
Volta Eco	5	0	1	0	0
Volta Normal	9	2	3	0	0
Volta Desportiva	15	0	3	0	2

3.1.4 Característica de desgaste do veículo

Os dados recolhidos para realizar a análise do parâmetro de desgaste do veículo foram realizados pela aplicação *Bimmer Link*. Esta tem o mesmo procedimento de funcionamento da aplicação *Torque*, mas foi concebida especificamente para veículos do grupo BMW. Esta aplicação tem pré-programados vários PID específicos da marca além dos que são obrigatórios disponibilizar no protocolo OBD. Para esta recolha foram usados os seguintes PID:

Tabela 10: PID *Bimmer Link*

Nome	Unidade	PID	Descrição
<i>Vehicle speed sensor</i>	(km h ⁻¹)	(PID 0d)	Deve reportar a velocidade de circulação se for utilizado pelo módulo de controlo. A velocidade do veículo pode derivar de um sensor de velocidade do veículo, calculada pelo <i>Powertrain Control Module</i> (PCM), utilizando outros sensores de velocidade ou obtido da rede de comunicação de dados serial.
<i>Engine RPM</i>	(rpm)	(PID 0c)	Deve reportar as rotações por minuto do eixo de manivelas do veículo.
<i>Message Brake Applied</i>	Númerico	Oculto pelo construtor	A mensagem é 3 quando o pedal do travão é acionado e é 0 quando o pedal do travão está em repouso.
<i>Total Braking Torque</i>	(Nm)	Oculto pelo construtor	Indica a totalidade do torque de travagem das 4 rodas do veículo.

3.1.4.1 Metodologia

Procuraram estimar-se as diversas forças que atuam o veículo durante uma travagem. Para esta análise assume-se que o modelo é bidimensional, o movimento é retilíneo e horizontal, e que o veículo (suspensão incluída) é um corpo indeformável. Na Figura 61 mostra-se um diagrama de corpo livre do veículo com as correspondentes forças aplicadas.

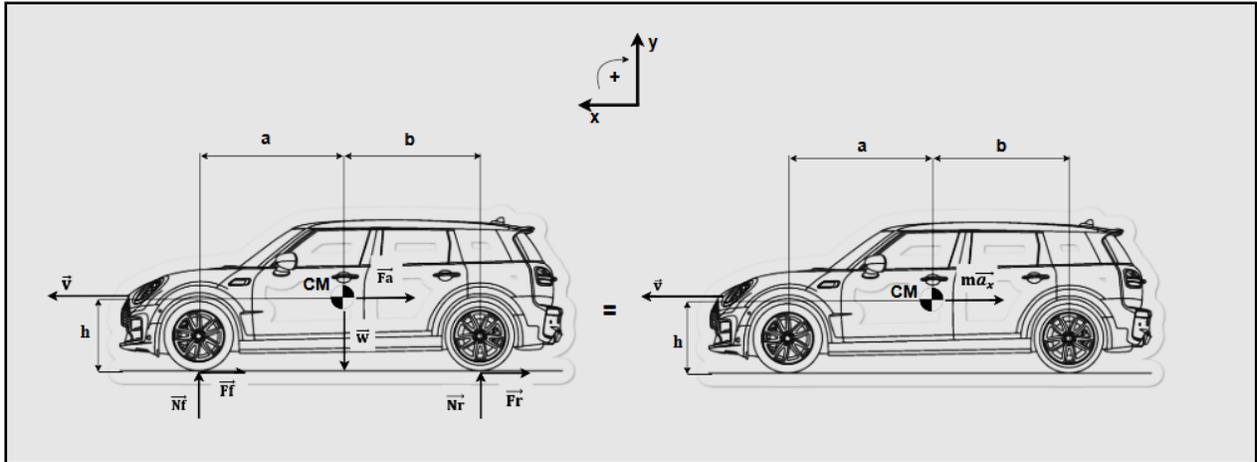


Figura 61: Forças dinâmicas atuantes, movimento retilíneo.; (Artlines Design, n.d.)

\vec{F}_a → Força aerodinâmica (N), para simplificação assume-se atuante no Centro de Massa.

\vec{a}_x → Componente tangencial da aceleração (g).

\vec{g} → Aceleração gravítica (g).

m → Massa do veículo (kg).

\vec{F}_f → Força dianteira, resultante da força de atrito e resistência ao rolamento (N).

\vec{F}_r → Força traseira, resultante da força de atrito e resistência ao rolamento (N).

\vec{N}_f → Força reação dianteira (N).

\vec{N}_r → Força reação traseira (N).

\vec{W} → Peso da viatura (N).

CM → Centro de Massa

a → distância do eixo frontal ao centro de massa.

b → distância do eixo traseiro ao centro de massa.

h → distância do centro de massa ao solo.

Escrevendo as equações do movimento do veículo na situação de travagem obtêm-se que:

$$\sum F_x = ma_x \Leftrightarrow -F_r - F_f - F_a = -ma_x \quad (1)$$

$$\sum F_y = m\vec{a}_y \Leftrightarrow N_r + N_f - W = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_f = \sum M_{f_{effect}} \Leftrightarrow bW - hF_a - (a + b)N_f = hma_x \quad (3)$$

$$N_f = \frac{h(ma_x - F_a)}{(a + b)} + \frac{bW}{(a + b)} \quad (4)$$

Ou se quisermos a expressão para a força normal de contacto nas rodas traseiras:

$$\sum M_R = \sum M_{R_{effect}} \Leftrightarrow aW + hF_a - (a + b)N_r = hma_x \quad (5)$$

$$N_r = \frac{h(F_a - ma_x)}{(a + b)} + \frac{aW}{(a + b)} \quad (6)$$

Para realizar a estimativa das forças resistivas ao movimento de avanço foram realizados três testes, todos realizados em piso aproximadamente plano, e em todos o procedimento foi impelir uma velocidade inicial ao veículo de cerca de 80 km h⁻¹ e deixá-lo desacelerar até velocidades diminutas. O primeiro dos testes realizado (Teste 1), visou determinar três forças resistentes à movimentação do veículo, como foi o caso da força aerodinâmica (F_a) que é essencialmente a resistência que o ar faz na superfície de contacto com o automóvel, e a resultante da força de resistência ao rolamento que ocorre entre os pneus e o solo e as forças de atrito que existem em partes do sistema de transmissão e chumaceiras do veículo, que nesta situação correspondem à soma de F_f e F_r . O propósito deste teste foi estimar valores de F_a e do conjunto das forças $F_f + F_r$ ao assumir que a uma velocidade menor a um determinado valor, a resistência aerodinâmica poderá ser desprezada visto que esta assume valores diminutos e assim pode ser desprezada. Em dinâmica dos fluidos a equação da força aerodinâmica (Wikipedia contributors, 2024f) assume a forma:

$$F_a(N) = \frac{1}{2} \rho v^2 c_a A \quad (7)$$

Onde ρ é a densidade volúmica do fluido, v a velocidade de escoamento do fluido em relação ao objeto, c_a o coeficiente adimensional aerodinâmico relativo à geometria do objeto atravessado pelo fluido e A a área de contacto do fluido com o objeto. Assim e analisando a equação pode-se constatar que a velocidade afeta de forma exponencial a força aerodinâmica. A velocidades elevadas esta terá uma grande influência e a velocidades diminutas esta não será muito influente, na oposição ao movimento de avanço do veículo.

Neste teste deixou-se o veículo desacelerar naturalmente, sem a embraiagem estar solidária com o movimento do motor, não existindo assim transmissão de força do motor às rodas e sem utilizar o sistema de travagem do veículo. Assim, as únicas forças que resistiam ao movimento do veículo eram F_a e $F_f + F_r$. Abaixo da velocidade assumida para não contabilizar a força aerodinâmica, só existe $F_f + F_r$, ambas impossíveis de medir de uma forma independente neste trabalho, mas de uma forma conjunta é possível estimar o seu valor.

No segundo teste (Teste 2), visou-se estimar a força resistiva ao movimento de avanço do veículo provocada pelo motor do automóvel. Tentando reproduzir as condições do Teste 1 e assumindo as mesmas estimativas de F_a e $F_f + F_r$, deixou-se o veículo desacelerar mantendo o motor embraiado e sempre com uma velocidade angular acima das 1200 rpm, realizando as passagens de caixa necessárias para que tal aconteça, e não houve acionamento do sistema de travagem do veículo.

Fazendo a diferença para o Teste 1 é possível estimar a força de travagem do motor F_{mb} . Neste teste deixou-se o veículo desacelerar mantendo o motor embraiado e sempre com uma velocidade angular acima das 1200 rpm, realizando as passagens de caixa necessárias para que tal aconteça, e não houve acionamento do sistema de travagem do veículo.

No terceiro teste (Teste 3) pretendia-se conhecer a força que é dissipada ao acionar o sistema de travagem do veículo. O veículo neste teste desacelerou por ação de F_a e $F_f + F_r$ estimadas no Teste 1, pela ação de F_{mb} , estimada no Teste 2 e pelo acionamento do sistema de travagem. Subtraindo as forças estimadas nos testes anteriores e recorrendo à segunda Lei de Newton é agora possível conhecer a força de travagem (F_d). Para realizar este teste o motor foi mantido embraiado nas mesmas condições do Teste 2, e adicionalmente foi acionado o sistema de travagem do veículo.

Para obter uma estimativa da posição (a, b) do centro de massa, utilizou-se a informação dos pesos máximos admissíveis por eixo, constantes no manual do veículo (Figura 62) e foi assumida uma altura (h) que é a distância desde o solo ao centro de massa, através da Figura 63.

MINI Cooper SD CLUBMAN		
Peso em vazio pronto para rodar, com 75 kg de carga, abastecido a 90 %, sem equipamento opcional		
Caixa de velocidades manual	kg	1460
Caixa de velocidades Steptronic	kg	1480
Peso bruto admissível		
MINI Cooper SD CLUBMAN		
Caixa de velocidades manual	kg	1960
Caixa de velocidades Steptronic	kg	1980
Carga	kg	530
Peso admissível no eixo dianteiro		
Caixa de velocidades manual	kg	1030
Caixa de velocidades Steptronic	kg	1050
Peso admissível no eixo traseiro	kg	960
Carga máx. no tejadilho	kg	75

Figura 62: Dados técnicos Mini F54 SD.



Figura 63: Dimensões do veículo em mm.; (Caetano Baviera, 2023)

Para efetuar o cálculo do desgaste recorreu-se à equação de desgaste de Archard. Esta equação descreve o desgaste por deslize e é baseada na teoria da aspereza do contacto. A equação mostra que o volume de detritos removidos devido ao desgaste é proporcional ao trabalho realizado pelas forças de fricção. A expressão matemática (Wikipedia contributors, 2023) que descreve a equação é:

$$Q(m^3) = K \frac{W(N)L(m)}{H(pa)} \quad (8)$$

Na equação Q representa o volume total dos detritos produzidos K é uma constante adimensional, W é a força normal produzida pelo atrito, L refere-se à distância de deslizamento e H é a dureza da mais suave das duas superfícies em contacto. Para aplicar a equação são necessárias relações entre o raio do pneu e o raio da linha média da pastilha de travão. Para tal recorreu-se a manuais com características técnicas das peças do sistema de travagem instalado no veículo, Figura 64

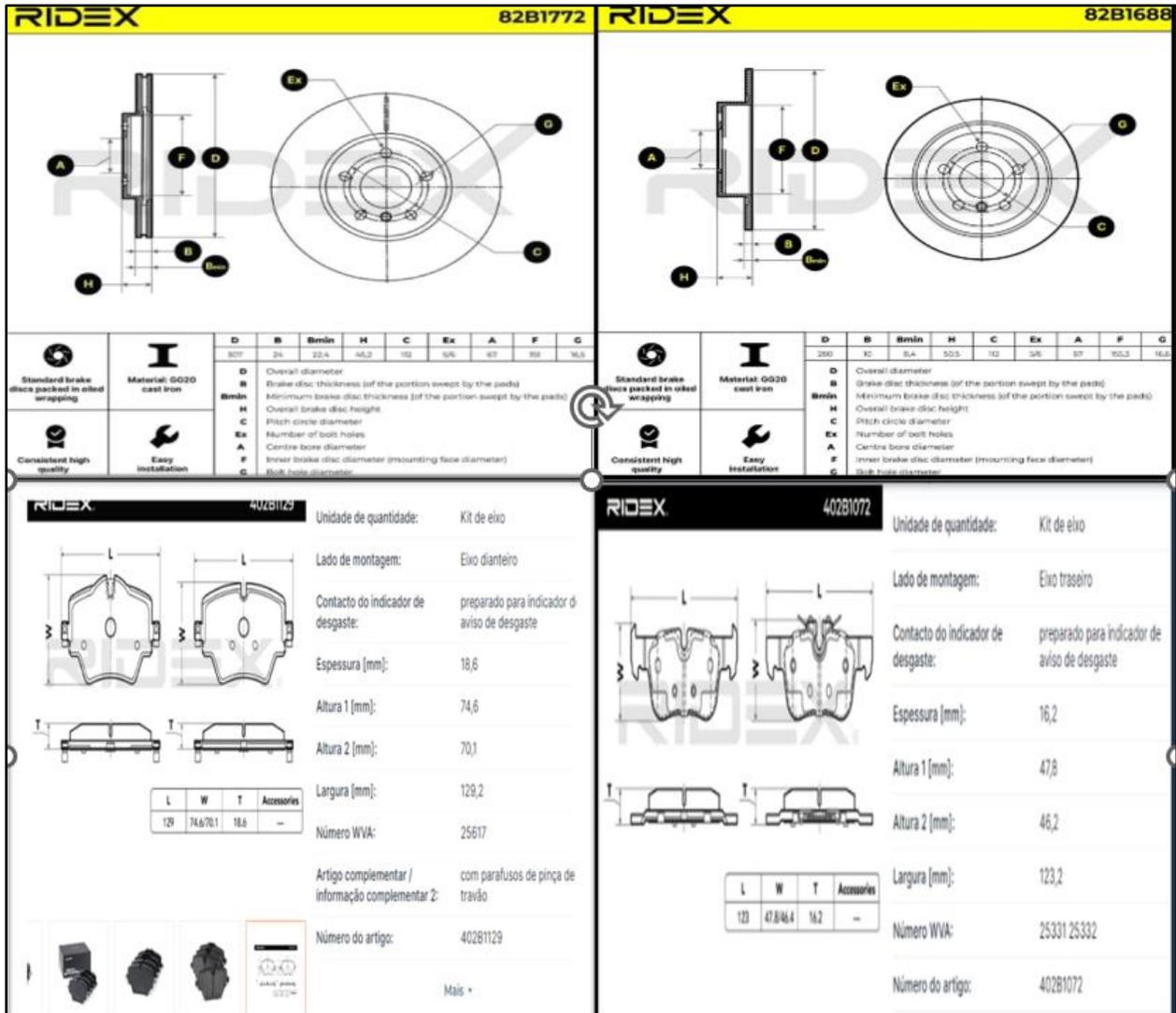


Figura 64: Dimensões de pastilhas e discos Mini F54 SD.; (AUTODOC, 2024)

3.1.4.2. Análise de dados

Para poder alocar as respetivas forças de travagem a cada roda e cada componente do sistema de travagem (disco e pastilhas) torna-se necessário estimar a posição do centro de massa do veículo, já

que não se encontrou esta informação exata, realizaram-se estimativas “cruas” e simples, com os dados disponibilizados no manual do veículo para obter uma ordem de grandeza dos valores.

Para estimar a posição do centro de massa do veículo sabemos que a distância entre eixos do veículo é $d = 2670 \text{ mm}$. Sendo a a distância do centro de massa ao eixo da frente e b a distância do centro de massa ao eixo traseiro então, $d(\text{mm}) = a + b$. Seja $h(\text{mm}) = r + 180$, o valor assumido da altura do centro de massa ao piso, sendo r o raio da roda.

Os pneus que se encontram instalados no veículo, iguais nos dois eixos, tinham a medida 225/40R18. Para extrair a informação desta referência é necessário conhecer o seu significado. O valor 225 representa a largura da banda de rodagem, ou seja, o comprimento do pneu que se encontra em contacto com a superfície, e a sua unidade é fornecida em mm. O número 40 representa a altura de borracha na lateral do pneu, desde a superfície até à jante do veículo, e é referida em percentagem. Neste caso, a altura deste pneu tem 40% da sua largura. O valor 18 representa o diâmetro da jante onde está montado o pneu e é dado em polegadas. Assim, tendo em conta a Figura 66 e nomeando o diâmetro total do pneu como D_{tp} , a sua largura por L_p e o diâmetro da roda (jante) por D_r temos que:

$$D_{tp}(m) = D_r + 2L_p * 0.4 \quad (9)$$

Finalmente o raio do pneu r_{tp} é dado por:

$$r_{tp}(m) = \frac{D_{tp}}{2} \quad (10)$$

Assim da equação 13:

$$D_{tp} = 18 * 0.0254 + 2 * 0.225 * 0.4 = 0.637(m)$$

e da equação 14:

$$r_{tp} = \frac{D_{tp}}{2} = \frac{0.637}{2} = 0.319(m)$$

Finalmente:

$$h = r + 180 = 319 + 180 = 499 (mm)$$

$$a = d * N_r W^{-1} \Leftrightarrow a = 2670 * 960 * 1960 \Leftrightarrow a = 1307.7 (mm)$$

$$d = a + b \Leftrightarrow 2670 \text{ (mm)} = 1307.7 + b \Leftrightarrow b = 1362.3 \text{ (mm)}$$

Assumindo então que a carga máxima ronda os 530 kg e que essa posição seria de 800 mm à esquerda do centro de massa do veículo sem carga, adicionar essa carga ao veículo e tomando como origem o centro de massa com o peso do veículo em vazio (1460 kg), ocorreria um desvio para a parte traseira do veículo, do centro de massa de:

$$x = \frac{530 * 800 + 1460 * 0}{1990} = 234.4 \text{ mm}$$

Considerando o peso em vazio, o centro de massa, neste caso sem carga adicional desloca-se no sentido do eixo dianteiro e fica:

$$a_{final} = a - x = 1307.7 - 234.4 = 1073.3 \text{ mm}$$

e:

$$b_{final} = b + x = 1362.3 + 234.4 = 1596.7 \text{ mm}$$

Durante uma desaceleração, e de acordo com as equações 4 e 6 o eixo dianteiro deverá possuir maior fração do peso do carro.

Da equação 2, podemos escrever que:

$$\begin{aligned} N_r + N_f - W &= 0 \Leftrightarrow N_r + N_f = W \Leftrightarrow \\ \frac{N_r}{W} + \frac{N_f}{W} &= 1 \end{aligned} \quad (11)$$

Da equação 4 vem que.

$$\begin{aligned} \frac{N_f}{W} &= \frac{h(ma_x - F_a)}{(a + b)mg} + \frac{bW}{(a + b)mg} = \frac{hma_x}{(a + b)mg} - \frac{hF_a}{(a + b)mg} + \frac{b}{(a + b)} \Leftrightarrow \\ \frac{N_f}{W} &= \frac{ha_x}{(a+b)g} + \frac{b}{(a+b)} \end{aligned} \quad (12)$$

Da equação 6.

$$\begin{aligned} \frac{N_r}{W} &= \frac{h(F_a - ma_x)}{(a + b)mg} + \frac{aW}{(a + b)mg} = \frac{hF_a}{(a + b)mg} - \frac{hma_x}{(a + b)mg} + \frac{a}{(a + b)} \Leftrightarrow \\ \frac{N_r}{W} &= -\frac{ha_x}{(a+b)g} + \frac{a}{(a+b)} \end{aligned} \quad (13)$$

Assumindo que a distribuição da força de desaceleração $F_f + F_r$ pelos eixos dianteiros segue a mesma proporção das distribuições de N_f e N_r dadas pelas equações 16 e 17, temos que:

$$F_f = \frac{N_f}{W} * (F_f + F_r) \quad (14)$$

$$F_r = \frac{N_r}{W} (F_f + F_r) \quad (15)$$

No Teste 1 apenas são consideradas as forças exteriores ao sistema. Existe resistência ao rolamento da roda e atrito nos rolamentos, mas tudo isso se manifestará em F_r e F_f , que são as resultantes equivalentes destes efeitos. O veículo movia-se a uma velocidade inicial v_i de 20.83 m s⁻¹, encontrava-se desengatado e não houve acionamento do travão, em piso praticamente nivelado, e deixou-se a velocidade regredir até uma velocidade de 2.78 m s⁻¹. A massa do veículo considerada foi de 1460 kg. Este teste permitiu medir em cada instante como demonstrado na Figura 65:

$$F_r + F_f + F_a = -ma_x = F_{R1}(t) \quad (16)$$

Os dados da velocidade linear recolhidas apresentaram algum ruído proveniente da digitalização dos dados e da amostragem dos valores. Assim para diminuir a influência deste ruído aplicou-se uma média movel de 9 pontos aos dados da velocidade e o cálculo da aceleração tangencial foi feito através de um método de diferenças finitas progressivas de 1 ordem.

A velocidades inferiores a 8.30 m s⁻¹ (30 km h⁻¹) a influência de F_a , parece diminuir significativamente, como se pode constatar na Figura 67, à direita da linha preta vertical que representa o instante onde o veículo circulou a 8.30 m s⁻¹ existe uma redução no declive da curva a azul, que se deve à redução significativa da influência de F_a no total da força resultante.

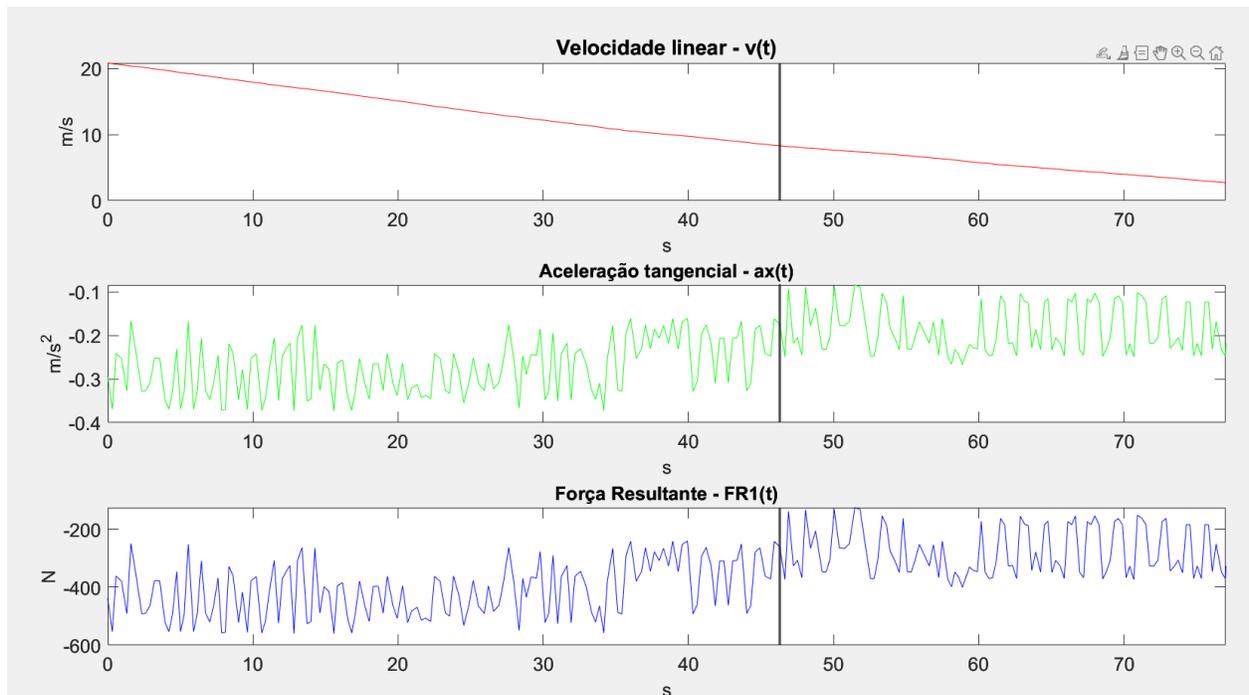


Figura 65: Teste 1

No Teste 2, houve o intuito de estimar as forças conjuntas atuantes no veículo, compostas por: força aerodinâmica + força de atrito nos rolamentos + força de resistência ao rolamento + força de travagem do motor. O veículo movia-se a uma velocidade inicial v_i de 21.11 m s^{-1} , foram realizadas trocas de mudança a fim de manter o regime de rotação do motor sempre acima das 1200 rpm, e não houve acionamento do travão, em piso com declive próximo de nulo, e deixou-se a velocidade regredir até uma velocidade de 2.22 m s^{-1} , demonstrado na Figura 66:

$$F_r + F_f + F_a = F_{R2}(t) = m a_{x2}(t) \quad (17)$$

Assim a força de travagem do motor será a diferença entre as forças resultantes dos dois testes:

$$F_{mb} = F_{r2} + F_{f2} + F_{a2} - (F_r + F_f + F_a) \Leftrightarrow F_{mb} = m(a_{x2}(t) - a_x(t)) \quad (18)$$

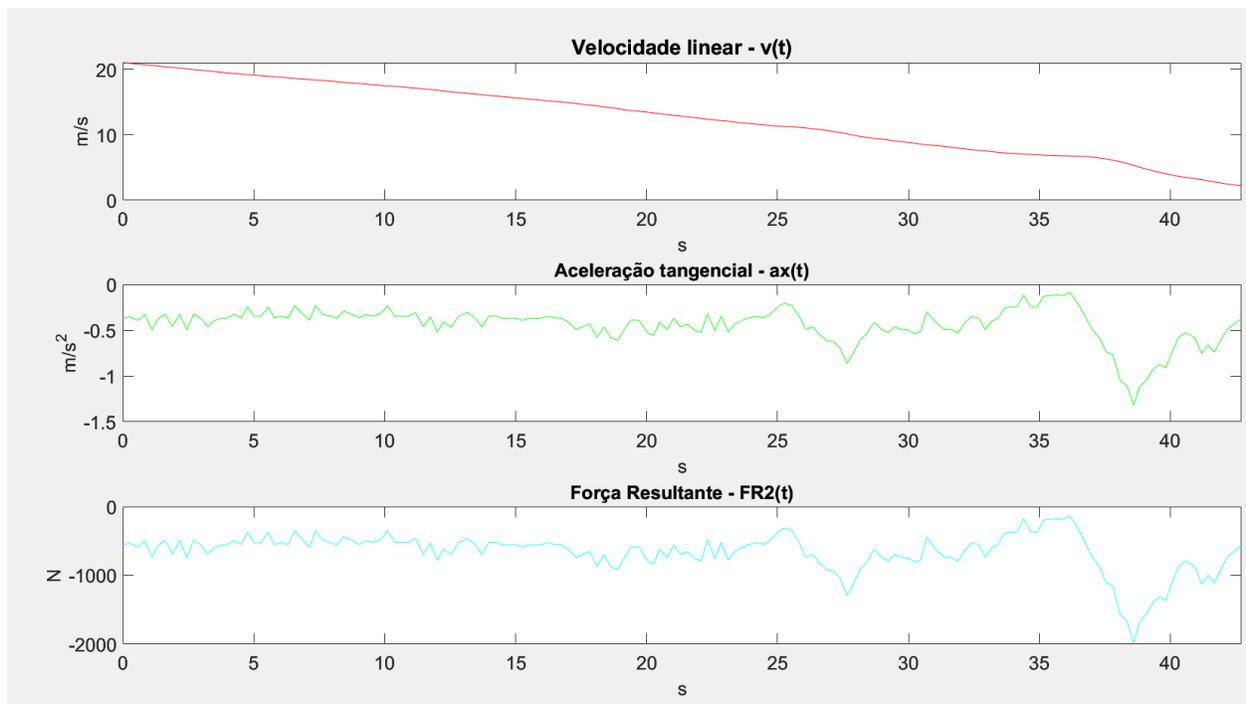


Figura 66: Teste 2

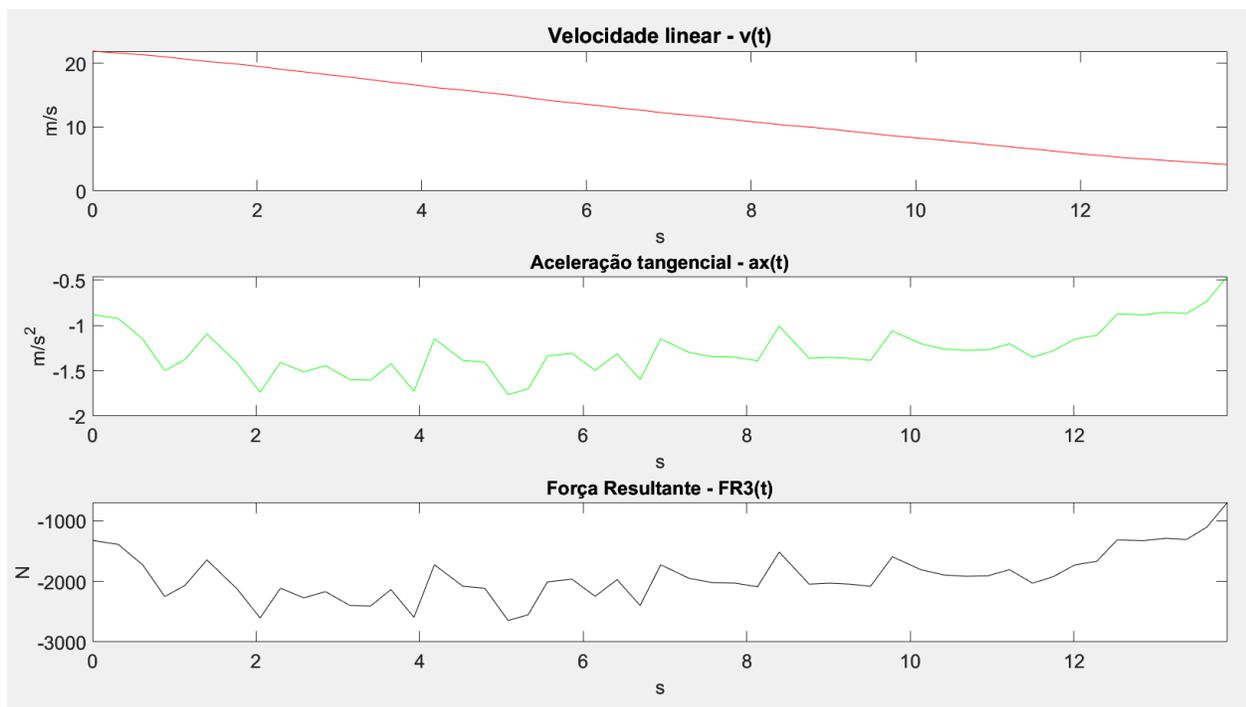


Figura 67: Teste 3

A força de travagem do motor é relevante para a análise de travagem porque esta força não passa 74

pelos discos de travão, ou seja, esta é uma travagem já oferecida pelo veículo e não envolve dissipação nos discos.

Foi realizado um último teste, a que se chamou de Teste 3, com o intuito de estimar as forças conjuntas atuantes no veículo, compostas por: força aerodinâmica + força de atrito nos rolamentos + força de resistência ao rolamento + força de travagem do motor + força de travagem dos discos/pastilhas. O veículo movia-se a uma velocidade inicial v_i de 21.94 m s^{-1} , foram realizadas trocas de mudança a fim de manter o regime de rotação do motor sempre acima das 1200 rpm, e houve acionamento do travão, em piso praticamente horizontal, e deixou-se a velocidade regredir até uma velocidade de 3.99 m s^{-1} . Os resultados do Teste 3 são mostrados na Figura 67.

A potência (seja de avanço ou de travagem) será:

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} \quad (19)$$

ou seja,

$$P = F_t v = m a_t = m a_x v, \text{ dos casos anteriores.} \quad (20)$$

Se for numa travagem, a potência dissipada nos discos será:

$$P_d = P - (F_{mb} + F_f + F_r + F_a)v \quad (21)$$

$$F_f + F_r + F_a \text{ ou seja } (F_R = m a_x \rightarrow \text{Obtidos no teste 1})$$

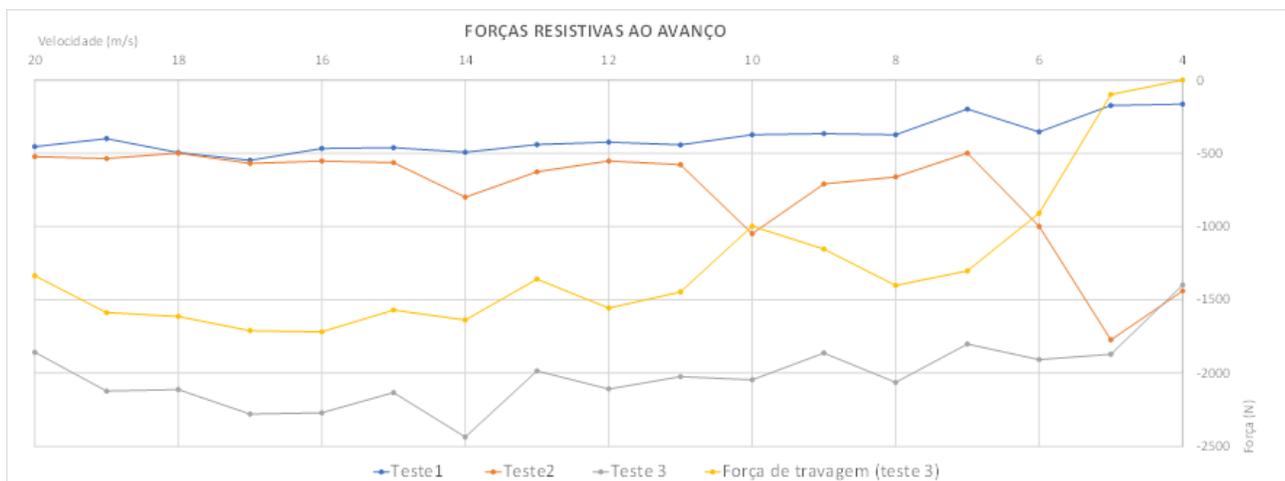


Figura 68: Forças resistentes ao avanço de cada teste

$$(F_{mb} + F_f + F_r + F_a) \text{ ou seja } (ma_x \rightarrow \text{Obtidos no teste 2})$$

Na Figura 69 é mostrada a influência das potências envolvidas durante a realização do Teste 3. Para a pressão uniforme entre pastilhas e discos deverá ser para o binário (Budynas et al., 2018):

$$M = \frac{2}{3} F \mu \frac{R_e^3 - R_i^3}{R_e^2 - R_i^2} \quad (22)$$

$r_e \rightarrow$ raio exterior do disco

$r_i \rightarrow$ raio interior do disco que contacta com a pastilha

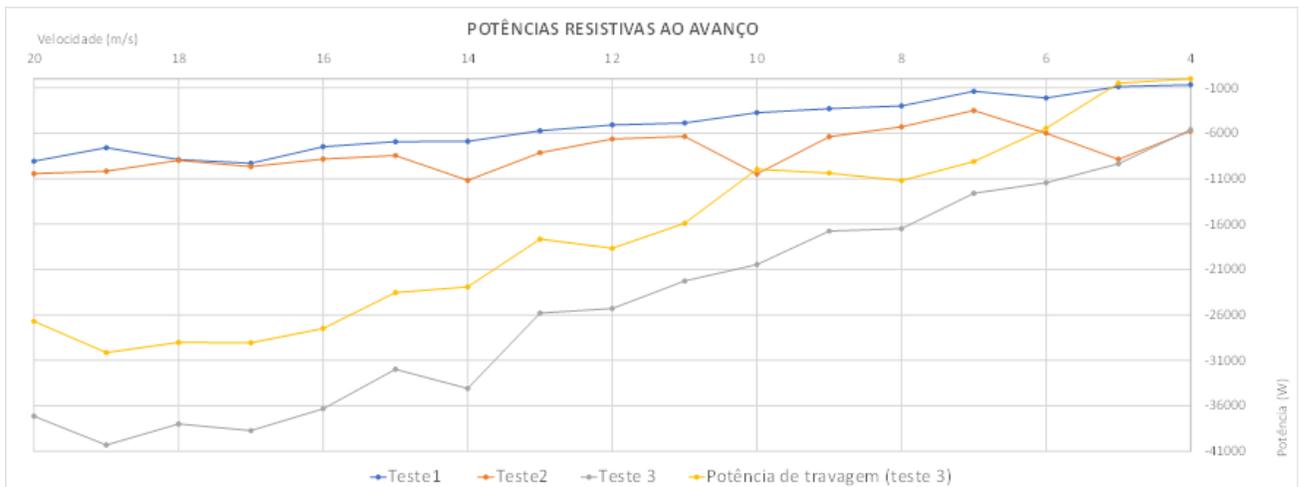


Figura 69: Potência dissipada pelo acionamento do sistema de travagem no Teste 3

O raio exterior r_e é dado pelo raio do disco, e o raio interior r_i será a distância entre a circunferência descrita pela linha inferior da pastilha e o centro do disco. Para obtenção dos dados foi consultada documentação técnica das pastilhas e dos discos, referente às peças que se encontram montadas no veículo. O coeficiente de fricção (μ) assumido foi de 0.4 (*What Is Coefficient of Friction?*, n.d.-b). São utilizados dois conjuntos de dados na análise, num dos conjuntos a informação tem como origem a rede CAN do veículo e o outro conjunto de dados é resultado dos cálculos efetuados para todos os testes. As diferenças entre os dois conjuntos de dados deverão estar relacionadas com o posicionamento do centro de massa que foi assumido, e com os valores numéricos da massa e do coeficiente de atrito utilizados nos cálculos, onde todos eles seguramente diferirão dos valores reais

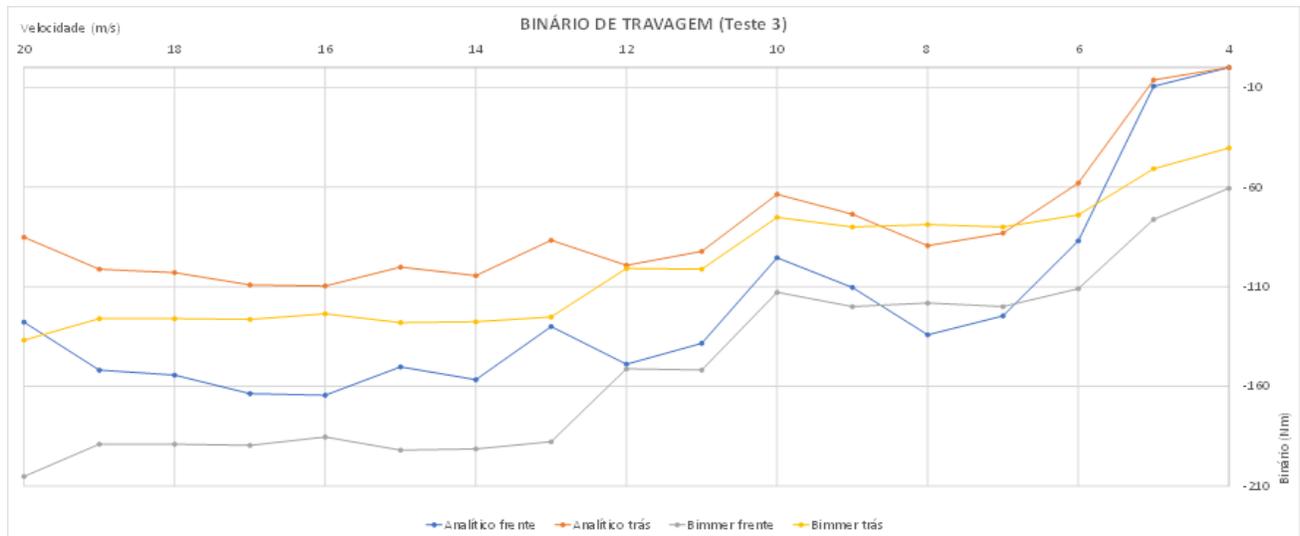


Figura 70: Distribuição do binário de travagem dados CAN vs. dados analíticos

que existiriam durante o teste os quais foram impossíveis de aferir. Para efetuar uma medição correta teria sido necessário efetuar uma pesagem a ambos os eixos do veículo, com o condutor incluído, para ter um valor exato da massa do veículo e do posicionamento do seu centro de massa, bem como obter informação pormenorizada do coeficiente de atrito do conjunto pastilha/disco que se encontra instalado no veículo.

Na equação a distância de deslize L a distância de deslize da pastilha do travão sobre o disco pode ser relacionada com a distância percorrida pelo pneu durante a travagem, através de uma relação de raios.

Na Figura 71, os raios em relação ao centro do pneu são r que representa o raio do pneu e r_p que corresponde ao raio médio da zona de contacto da pastilha com o disco.

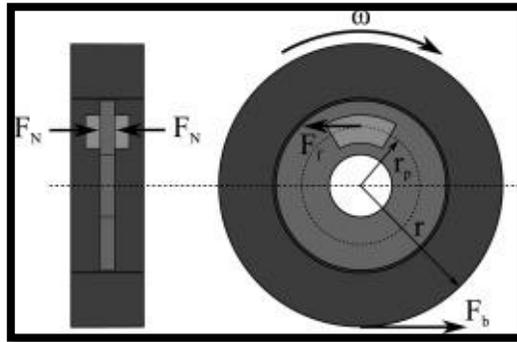


Figura 71: Forças de travagem que se desenvolvem na roda e disco; (Jensen et al., 2024b)

A sua relação R é dada por:

$$R = \frac{r_p(m)}{r(m)} \quad (23)$$

Assim pode-se calcular a distância de deslize da pastilha sobre o disco como:

$$L(m) = d(m)R \quad (24)$$

Onde L representa a distância de deslize da pastilha sobre o disco de travão, d representa a distância de travagem percorrida pelo pneu, e R a relação entre os raios como explicado anteriormente.

Para calcular o raio médio r_p , novamente é necessária informação específica sobre os componentes instalados no veículo, nomeadamente sobre os discos de travão dianteiros e traseiros, e sobre as pastilhas de travão dianteiras e traseiras.

A forma de cálculo do raio médio r_p é:

$$r_p(m) = \frac{1}{2} * (r_e + r_i) (m) \quad (25)$$

O binário total de travagem total T_b relaciona-se com a força de atrito F_b e com o raio do pneu por:

$$F_b(N) = \frac{T_b(Nm)}{r(m)} \quad (26)$$

O valor de dureza na escala Brinell assumiu-se como 101, (Asotah & Adeleke, 2018),

o que corresponde a um $H = 380 \text{ MPa}$ e $K = 10^{-5}$ (Jensen et al., 2024), pode-se então aplicar a equação de Archard e obter um valor do volume de desgaste individual para cada roda.

O desgaste que se observa no gráfico seguinte, Figura 72, é obtido através da equação de Archard após a realização de todos os passos explicados anteriormente. O posicionamento do centro de massa colocado mais perto da frente do carro tem como consequência que quando ocorre uma travagem existe maior força de contacto com o chão à frente.

De acordo com as suas estimativas a força de travagem é maior à frente e pelas dimensões dos discos isso vai conferir maior desgaste nos da frente.

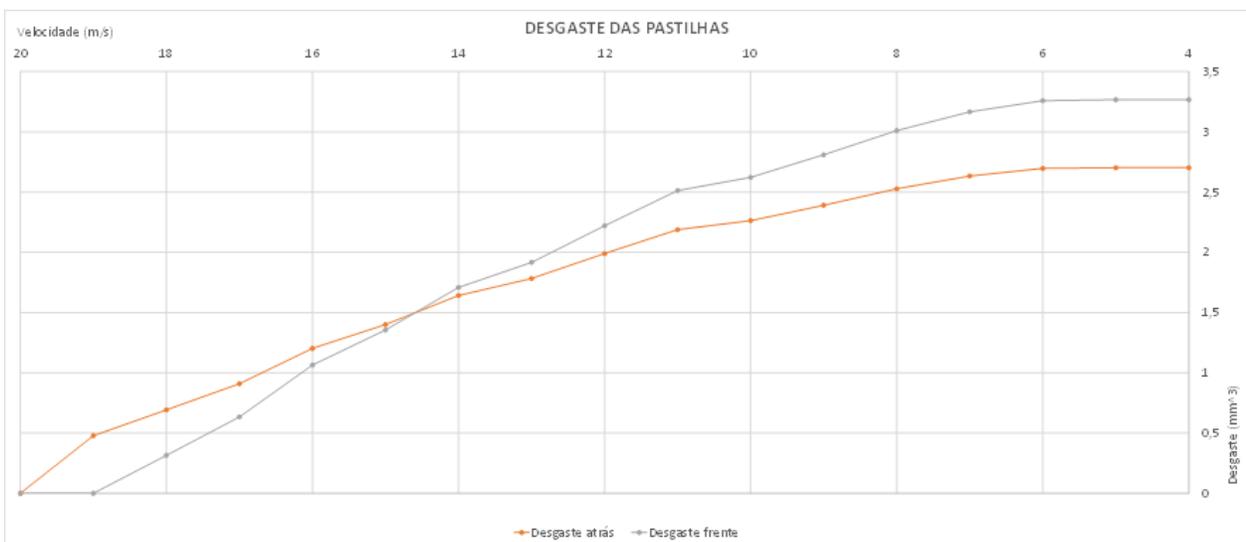


Figura 72: Desgaste acumulado durante a travagem.

CAPÍTULO IV: CONCLUSÃO E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

4.1 Conclusão

Comportamentos do condutor podem ser obtidos e parametrizados, a partir da análise das variáveis extraídas da rede CAN do veículo. A versatilidade deste sistema permite vários tipos de abordagem, tal como se demonstrou neste trabalho onde se traçaram três características diferentes que podem fazer parte de um perfil de condução. Mediante a motivação que leva à realização da análise dos dados, assim deverá ser implementada a devida estratégia para o seu tratamento. As análises dos parâmetros poderão e deverão fornecer ao condutor uma visão mais pormenorizada dos seus hábitos e de como estes podem ser modificados para o incremento da segurança dos utilizadores das vias de circulação. A análise dos dados demonstra que uma condução mais suave corresponderá a um menor desgaste do veículo, a um menor consumo de combustível e emissões de CO₂ e a um maior conforto de condução. Do lado oposto, uma condução mais agressiva levará a um menor conforto de condução, a um incremento substancial nos consumos de combustível e nas emissões de gases nocivos e a um maior desgaste no sistema de travagem do veículo. Os hábitos de condução influenciam os custos de propriedade de um automóvel. Ficou demonstrado neste trabalho que é possível obter dados da rede CAN do veículo que permitam uma consciencialização do condutor no que concerne aos seus comportamentos ao volante e a como estes elevam consequentemente os custos de manutenção e utilização do veículo. Os custos da implementação destes sistemas poderão vir a ser compensados pela futura diminuição dos acidentes nas estradas, com a consequente diminuição de vítimas e também de custos para a sociedade em geral. Não só o condutor, mas também as autoridades, as companhias de seguro, as oficinas de manutenção automóvel, entre outros, poderão beneficiar do acesso aos registos guardados por estes sistemas. Em suma, estes sistemas poderão beneficiar a sociedade de uma forma geral e, com o desenvolvimento das tecnologias IOT, acredita-se que estes estarão presentes no futuro do ato de condução.

4.2 Futuros desenvolvimentos

Uma análise energética da travagem poderá ser realizada futuramente e possivelmente uma análise ao desgaste da embraiagem devido à sua semelhança com o sistema de travão de disco.

O desenvolvimento de uma aplicação que disponibilize a análise de uma forma facilmente legível e entendível, e que possa ser mostrada ao condutor nos sistemas de infotenimento dos veículos.

Como futuro desenvolvimento, seria também interessante, conseguir extrair mais informação da rede CAN do veículo, realizando engenharia reversa, de forma a poder comandar vários sistemas do carro a partir de uma aplicação como o *Home Assistant*.

Outro futuro desenvolvimento possível seria o desenvolvimento de um *software* que utilizasse a informação armazenada numa base de dados, para disponibilizar a concessionários de veículos usados, onde o comprador poderia ter acesso ao histórico detalhado do veículo o que lhe permitiria realizar uma compra mais informada e segura. O desenvolvimento de um sistema de gestão de frotas para empresas pode ser outro possível desenvolvimento deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- Adamidis, F. K., Mantouka, E. G., & Vlahogianni, E. I. (2020). Effects of controlling aggressive driving behavior on network-wide traffic flow and emissions. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 9(3), 263–276. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2020.05.003>
- Admin. (2024, February 2). *How many cars are there in the world in 2024?* Hedges & Company. <https://hedgescompany.com/blog/2021/06/how-many-cars-are-there-in-the-world/>
- Agarwal, T. (2021, March 4). *Bluetooth Technology : working, advantages and applications*. ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students. <https://www.elprocus.com/how-does-bluetooth-work/>
- AMTA, The Voice of the Australian Mobile Telecommunications Industry. (2020, April 8). *How mobile networks work*. AMTA | the Voice of the Australian Mobile Telecommunications Industry. <https://amta.org.au/1041-2/>
- Artlines Design. (n.d.). *MINI Clubman JCW F54 Sticker*. <https://www.artlinesdesign.com/products/mini-f54-jcw-clubman-sticker>
- Asotah, W.A., & Adeleke, A. (2018). *Development of asbestos free brake pads using corn husks*.
- Auris, T. (2021, September 17). *The history of Bluetooth*. Auris, Inc. <https://theauris.com/blogs/blog/the-history-of-bluetooth>
- AUTODOC – online car parts store with over 2.5 million auto parts. <https://www.autodoc.co.uk/>
- Bassetti, E., Luciani, A., & Panizzi, E. (2022). Re-Orienting Smartphone-Collected car motion data using Least-Squares estimation and machine learning. *Sensors*, 22(4), 1606. <https://doi.org/10.3390/s22041606>
- Budynas, R. G., Nisbett, J. K., & Shigley, J. E. (2018). *Shigley's Mechanical Engineering design*.

Caetano Baviera. (2023, May 23). *MINI Clubman: preço, dimensões, interior* | Caetano Baviera.

<https://www.caetanobavieramini.pt/mini-clubman/>

CAN FD Protocol. (n.d.). (C) Copyright 2024. [https://www.typhoon-hil.com/documentation/typhoon-hil-](https://www.typhoon-hil.com/documentation/typhoon-hil-software-manual/References/can_fd_protocol.html)

[software-manual/References/can_fd_protocol.html](https://www.typhoon-hil.com/documentation/typhoon-hil-software-manual/References/can_fd_protocol.html)

Cytron Technologies. (n.d.). Cytron Technologies. <https://www.cytron.io/raspberry-pi-400>

Dyno-Scanner for dynamometer and Windows Automotive Scanner Multi-languages. (n.d.).

[https://www.obd2tool.com/goods-486-Dyno-](https://www.obd2tool.com/goods-486-Dyno-Scanner+For+Dynamometer+And+Windows+Automotive+Scanner+Multi-languages.html)

[Scanner+For+Dynamometer+And+Windows+Automotive+Scanner+Multi-languages.html](https://www.obd2tool.com/goods-486-Dyno-Scanner+For+Dynamometer+And+Windows+Automotive+Scanner+Multi-languages.html)

Electronics, C. (2021, November 1). OBD2 Explained - A Simple Intro [2021]. *CSS Electronics*.

<https://www.csselectronics.com/pages/obd2-explained-simple-intro>

EMF - AS REDES MÓVEIS EXPLICADAS - N2. (n.d.-b). <https://www.emfexplained.info/por/?ID=25196>

Feng, F., Bao, S., Sayer, J. R., Flanagan, C., Manser, M., & Wunderlich, R. (2017). Can vehicle

longitudinal jerk be used to identify aggressive drivers? An examination using naturalistic driving

data. *Accident Analysis and Prevention*, 104, 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.04.012>

Glide. (2024, April 29). *A brief history of car air conditioning*. Autospark.

<https://autospark.com.au/news/a-brief-history-of-car-air-conditioning/>

Glon, R. (2019, July 11). ABS brakes helped airlines make more money before they helped you stop.

Digital Trends. [https://www.digitaltrends.com/cars/the-history-of-abs-brakes-from-airplanes-to-](https://www.digitaltrends.com/cars/the-history-of-abs-brakes-from-airplanes-to-cars/)

[cars/](https://www.digitaltrends.com/cars/the-history-of-abs-brakes-from-airplanes-to-cars/)

Hibbeler, R. C. (2011). *Dinâmica: mecânica para engenharia*.

Jensen, K. M., Santos, I. F., & Corstens, H. J. (2024). Estimation of brake pad wear and remaining useful

life from fused sensor system, statistical data processing, and passenger car longitudinal dynamics.

Wear, 538–539, 205220. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.205220>

Jensen, K. M., Santos, I. F., & Corstens, H. J. (2024b). Estimation of brake pad wear and remaining useful life from fused sensor system, statistical data processing, and passenger car longitudinal dynamics. *Wear*, 538–539, 205220. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.205220>

Kwon, D., Park, S., & Ryu, J. (2017). A Study on Big Data Thinking of the Internet of Things-Based Smart-Connected Car in Conjunction with Controller Area Network Bus and 4G-Long Term Evolution. *Symmetry*, 9(8), 152. <https://doi.org/10.3390/sym9080152>

Mercedes-Benz Group. (n.d.). *Benz Patent Motor Car: The first automobile (1885–1886) | Mercedes-Benz Group*. <https://group.mercedes-benz.com/company/tradition/company-history/1885-1886.html>

Q1006251 - Questões de Concursos Públicos | Qconcursos.com. (n.d.). Qconcursos. <https://www.qconcursos.com/questoes-de-concursos/questoes/f02b9fbf-a2>

Questão 56 | Base dudow 022 2000 | Dudow 2.0. (n.d.). Questões - Dudow. <https://dudow.com.br/q/Base-dudow-022/2000/56>

SG Software GmbH & Co. KG. (n.d.). <https://bimmerlink-for-bmw-ios.soft112.com/>

Singh, H., & Kathuria, A. (2021). Profiling drivers to assess safe and eco-driving behavior – A systematic review of naturalistic driving studies. *Accident Analysis and Prevention*, 161, 106349. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106349>

Source, C. T. O. (2023, December 7). *The history of cellular networks and broadband*. Custom Truck One Source. <https://www.customtruck.com/blog/the-history-of-cellular-networks-and-broadband/>

Srikanth, R. B. (2023, August 27). Algo Trading: Risks, Issues and Complexities - R B Srikanth - Medium. *Medium*. <https://medium.com/@r.b.srikanth/algo-trading-risks-issues-and-complexities-5ec6ac680e1b>

The evolution of car headlights. (n.d.). <https://www.hyundai.news/eu/articles/stories/the-evolution-of-car-headlights.html>

The First Japanese Microprocessor was Toshiba's 12 bit MPU. (n.d.).

https://www.shmj.or.jp/shimura/shimura_E/ssid_shimura2_18E.html

Tray.io. (2019, August 29). How do APIs work? *Tray.io*. <https://tray.io/blog/how-do-apis-work>

Tselentis, D. I., Vlahogianni, E. I., & Yannis, G. (2021). Temporal analysis of driving efficiency using smartphone data. *Accident Analysis and Prevention*, 154, 106081.

<https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106081>

Valeri, V. (2021, May 10). *Tudo sobre fones de ouvido sem fio Bluetooth*. Oficina Da Net.

<https://www.oficinadanet.com.br/hardware/25943-tudo-sobre-fones-de-ouvido-sem-fio-bluetooth-basico-sobre-fones>

VGate VLinker MC+. (n.d.). <https://www.vgatmall.com/products-detail/i-5/>

What is coefficient of friction? (n.d.-b). DIXCEL. <https://www.dixcel.co.jp/en/literature/lid-2235/>

Wikipedia contributors. (2023, January 17). *Archard equation*. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Archard_equation

Wikipedia contributors. (2024, June 1). *Airbag*. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Airbag>

Wikipedia contributors. (2024b, June 6). *Engine control unit*. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Engine_control_unit

Wikipedia contributors. (2024c, June 2). *On-board diagnostics*. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics

Wikipedia contributors. (2024d, May 8). *Cellular network*. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_network

Wikipedia contributors. (2024e, May 28). *API*. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/API>

Wikipedia contributors. (2024f, May 19). *Drag equation*. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_equation

World Population clock: 8.1 billion people (LIVE, 2024) - Worldometer. (n.d).

<https://www.worldometers.info/world-population/>

Xin, Q. (2011). Diesel engine system design. In *Woodhead Publishing Limited eBooks*.

<https://doi.org/10.1533/9780857090836>

Y. L. Murphey, R. Milton and L. Kiliaris, "Driver's style classification using jerk analysis," *2009 IEEE*

Workshop on Computational Intelligence in Vehicles and Vehicular Systems, Nashville, TN, USA,

2009, pp. 23-28, <https://doi.org/10.1109/CIVVS.2009.4938719>

