

LEONARDO PRESOTO DE OLIVEIRA

**UMA ABORDAGEM INTERATIVA PARA  
AUXILIAR NO DIAGNÓSTICO  
AUTOMOTIVO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Curitiba PR  
Dezembro de 2017

LEONARDO PRESOTO DE OLIVEIRA

**UMA ABORDAGEM INTERATIVA PARA  
AUXILIAR NO DIAGNÓSTICO  
AUTOMOTIVO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Área de concentração: *Engenharia de Sistemas Computacionais*

Orientador: Marco Aurélio Wehrmeister

Co-orientador: André Schneider de Oliveira

Curitiba PR  
Dezembro de 2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

---

O48a  
2017

Oliveira, Leonardo Presoto de  
Uma abordagem interativa para auxiliar no diagnóstico auto-  
motivo / Leonardo Presoto de Oliveira.-- 2017.  
133 f. : il. ; 30 cm

Texto em português com resumo em inglês  
Disponível também via World Wide Web  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná. Programa de Pós-graduação em Computação Apli-  
cada, Curitiba, 2017  
Bibliografia: f. 97-106

1. Veículos a motor – Falhas – Diagnóstico. 2. Veículos a mo-  
tor – Inspeção. 3. Automóveis – Controle de qualidade. 4. Auto-  
móveis – Manutenção e reparos. 5. Automóveis – Projetos e  
construção. 6. Automóveis – Controle de qualidade – Software. 7.  
Mineração de dados (Computação) – Uso em diagnóstico. 8.  
Computação – Dissertações. I. Wehrmeister, Marco Aurelio. II.  
Oliveira, André Schneider de. III. Universidade Tecnológica Fede-  
ral do Paraná. Programa de Pós-graduação em Computação  
Aplicada. IV. Título.

---

CDD: Ed. 23 – 621.39

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba  
Bibliotecário: Adriano Lopes CRB9/1429

## ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 61

Aos 21 dias do mês de setembro de 2017, realizou-se na sala B205 a sessão pública de Defesa da Dissertação de Mestrado intitulada “**Uma abordagem interativa para auxiliar no diagnóstico automotivo**”, apresentado pelo aluno **Leonardo Presoto de Oliveira** como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada, na área de concentração “Engenharia de sistemas computacionais”, linha de pesquisa “Sistemas embarcados”.

### Constituição da Banca Examinadora:

Marco Aurélio Wehrmeister (Orientador e Presidente) – UTFPR \_\_\_\_\_

Gian Ricardo Berkenbrock - UFSC \_\_\_\_\_

João Alberto Fabro - UTFPR \_\_\_\_\_

Thiago Silva – UTFPR \_\_\_\_\_

Em conformidade com os regulamentos do Programa de Pós-Graduação em Computação aplicada e da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, o trabalho apresentado foi considerado \_\_\_\_\_ (aprovado/reprovado) pela banca examinadora. No caso de aprovação, a mesma está condicionada ao cumprimento integral das exigências da banca examinadora, registradas no verso desta ata, da entrega da versão final da dissertação em conformidade com as normas da UTFPR e da entrega da documentação necessária à elaboração do diploma, em até \_\_\_\_\_ dias desta data.

Ciente (assinatura do aluno): \_\_\_\_\_

(para uso da coordenação)

A Coordenação do PPGCA/UTFPR declara que foram cumpridos todos os requisitos exigidos pelo programa para a obtenção do título de Mestre.

Curitiba PR, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**"A Ata de Defesa original está arquivada na Secretaria do PPGCA".**

*Dedico este trabalho aos meus pais e avó que me apoiaram e encorajaram desde muito jovem, dedico à minha família, amigos, à minha amada esposa. Mas dedico especialmente ao meu avô Geraldo Presto (in memoriam).*

# Agradecimentos

- Ao meu pai Ivar e a minha mãe Gislene, que trabalharam muito duro para dar a mim e a minha irmã o estudo que não tiveram. Espero de aqui para frente poder retribuir tudo que fizeram por mim.

- À minha querida irmã Cecília, que sempre me apoiou muito.

- À minha avó Mafalda e ao meu avô Peba (Geraldo Presoto -o senhor faz muita falta-), aos quais eu também devo muito dos meus estudos e da educação que tive.

- À minha família Angélica, Letícia, Bruno, Bia, Enzo, Manuela, Adriano e Marcos por fazerem parte da minha vida, e estarem presentes nos momentos mais importantes dela.

- À minha segunda família Corrêa Borsato, a qual só tenho a agradecer pelo cainho.

- Aos amigos que fiz durante o mestrado, Murilo, Ari, Dai, Fábio, Neymar, Kira, Álvaro. Ao pessoal do Departamento de Sistemas da empresa que trabalho, agradeço a todos, colegas de trabalho, amigos, aos meus chefes. Mas um agradecimento muito, especial ao Carlos Briseli, Evaldir Negrelli, Paulo Diniz e Sérgio Mueller, a vocês todo meu respeito e admiração.

- Ao pessoal do DAFIS, professores Marcos, Nestor, Lenz e em especial ao professor Arandi, por serem grandes mestres, amigos e conselheiros. Sou um engenheiro formado dentro do departamento de Física (com muito orgulho). Agradeço ao meu orientador da graduação Gustavo Lugo. Só tenho a agradecer tudo que passei todos com vocês; e dizer que se no futuro me tornar um terço dos profissionais e homens que vocês são, estarei mais do que realizado, muito obrigado sempre.

- Ao meu Orientador Marco e ao meu co-orientador André. Grandes profissionais com quem também aprendi muito; e que tiveram muito entusiasmo e paciência comigo durante o processo de orientação. Muito obrigado pelas conversas, opiniões durante todo este período. Foi uma honra para mim.

- Agradecimento ao Professor Fabro, professor Thiago que participaram da minha formação, meus seminários, me ajudando a evoluir.

- Finalmente um agradecimento ao meu amor, Juliana, pela força, amor incondicional e por acreditar em mim, mesmo quando nem eu acreditava mais ... DE TUDO, AO MEU AMOR SEREI ATENTO ...

Esta página estará sempre em construção ...

# Resumo

OLIVEIRA, Leonardo Presoto de. **Uma Abordagem Interativa para Auxiliar no Diagnóstico Automotivo**. 2017. 133f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma abordagem para auxiliar as montadoras na obtenção de informações sobre os problemas e falhas que ocorrem nos veículos durante o seu uso pelos motoristas, relacionando os dados obtidos com a leitura da telemetria do veículo, assim como as percepções do motorista sobre uma determinada falha. A exploração de técnicas que auxiliam o diagnóstico automotivo é um problema a ser discutido na engenharia. As técnicas de diagnóstico devem fornecer suporte à grande gama de sistemas que surgirão nos próximos anos. Assim, é possível também utilizar a conectividade que os celulares e veículo dispõem na atualidade, com o intuito de evoluir o produto oferecido e melhorar a experiência do cliente enquanto dirige. A inclusão do cliente no processo de diagnóstico, visa permitir que os projetistas identifiquem pontos que podem ser melhorados no carro, mesmo que não apresentem erro aparente. A opinião do cliente pode ser considerada, uma vez que ele é incluído no processo como um novo "sensor"(o mais inteligente e importante de todos) capaz de reportar suas percepções. Considerando este fato, a motivação deste trabalho se encontra em: (i) Procurar alternativas para aplicar de maneira eficiente a conectividade dos veículos no processo de diagnóstico; (ii) Permitir que as montadoras possam obter informações mais concretas dos veículos que comercializam. O objeto é fornecer um sistema de interface entre o usuário e o carro auxiliando a realização dos diagnósticos preventivos mais completos do que apenas usando a telemetria. Neste projeto busca-se que haja uma interação maior com o motorista, e que a experiência das montadoras possa entrar no processo de diagnóstico. Mesmo que o cliente não tenha tanta intimidade com o funcionamento do veículo, o sistema deve orientar o motorista no processo. A entrada de dados do cliente é realizada por texto ou comando de voz. Para a análise desta entrada de dados do cliente foi realizado um estudo de mineração de dados em bases que a montadora já possuía. Estas bases são entrevistas telefônicas nas quais a montadora pergunta ao cliente problemas percebidos no carro, e então as respostas são transcritas para a base. O estudo de mineração de dados foi realizado para a criação do classificador que é responsável por receber os dados de entrada do cliente e classificá-lo em um determinado problema ligado à multimídia ou relacionado ao motor do veículo. O software contido no celular será responsável por solicitar ao sistema de sensores do veículo as leituras necessárias para que o cliente obtenha as informações que deseja. Foi realizado um experimento no qual analistas de diagnóstico responderam a um questionário que buscava analisar se o sistema proposto realmente influenciava no processo de diagnóstico, fazendo com que a solução dos problemas no veículo seja realizada em menos etapas, se comparado com o processo atual. Os resultados mostraram que a abordagem diminuiu o número de etapas necessárias para a obtenção do diagnóstico correto. Dos três estudos de caso realizados, as etapas necessárias para se chegar ao diagnóstico apropriado diminuiu em uma etapa para o primeiro estudo de caso, diminuiu uma etapa para o segundo estudo de caso, e três etapas a menos para o terceiro estudo de caso. Com estes resultados foi possível demonstrar que a abordagem proposta influenciou no processo de diagnóstico aplicado atualmente pelas montadoras e concessionárias analisadas.

**Palavras-chave:** Diagnóstico Automotivo. Diagnóstico Onboard. Mineração de Dados.

# Abstract

OLIVEIRA, Leonardo Presoto de. **An Interactive Approach to assist Automotive Diagnostic**. 2017. 133f. Dissertation. Graduate Program in Applied Computing (PPGCA) - Federal University of Technology - Paraná (UTFPR), Curitiba, 2017

The goal of this project is to develop an approach to assist automakers in obtaining information about the problems and failures that occur in the vehicles during their use by drivers, relating the data obtained by reading the telemetry of the vehicle, as well as the perceptions of the driver about a particular failure. The exploration of techniques to optimize automotive diagnosis is a problem to be discussed in Engineering. Diagnostic techniques should support the wide range of systems that will emerge in the coming years. Thus, it is also possible to use the connectivity that mobile phones and vehicles have today, in order to evolve the product offered and improve the customer experience while driving. The customer inclusion in the diagnostic process aims to allow engineers identifies points to be improved in the car, even if they dont present an apparent error. The customer opinion should be considered, since he/she is included in the process as a new "sensor"(the most intelligent and important of all) able to report his/her perceptions. Considering this fact, the motivation of this research is: (i) search for alternatives to efficiently apply vehicle connectivity in the diagnostic process, (ii) enable automakers to obtain more concrete information on the vehicles they sell. The object is provide an interface between the user and the car helping them to perform a more complete preventive diagnoses than only using telemetry. In this project it is sought that there is a greater interaction with the driver, and the experience of the automakers could be included the diagnostic process. Even if the customer isnt so accustomed with the operation of the vehicle, the system must guide the driver by the process. The customer input data is performed by text or voice command. The analysis of this customer input data, a data mining study was performed based on a base that automaker already had. These bases are telephone interviews in which the automaker asks the customer for perceived problems in the car, and then the answers are transcribed to the base. The data mining study was performed to create one classifier which was responsible for receiving the input data from the customer and sorting it into a particular problem related with the multimedia or related to the motor of the vehicle. The software contained in the mobile phone will be responsible asking to the vehicle sensor system for the readings necessary for the customer can to obtain the information he/she wants. An experiment was carried out in which diagnostic analysts answered a questionnaire that sought to analyze whether the proposed system actually influenced the diagnostic process, so the solution of the problems in the vehicle was performed on less steps compared to the current process. The results showed the approach reduced the number of steps required to obtain the correct diagnosis. Of the three case studies performed, the steps required to arrive at appropriate diagnosis decreased in one step to the first case study, one step to the second case study decreased, and three less steps to the third case study . With these results it was possible to demonstrate that the proposed approach influenced the diagnostic process currently applied by the automakers and concessionaires analyzed.

**Keywords:** Automotive diagnosis. Onboard Diagnosis. Data Mining.



# Lista de Figuras

1.1	Projeção da evolução tecnológica automotiva . . . . .	16
1.2	Níveis de Diagnósticos Automotivos . . . . .	17
1.3	Ferramenta de scanner . . . . .	17
1.4	Painel com os indicadores luminosos . . . . .	18
1.5	Sistema De interface Carro-Motorista- Montadora . . . . .	22
2.1	Diagrama de Blocos de um Módulo Eletrônico . . . . .	25
2.2	ECU Centralizada . . . . .	28
2.3	Veículo com Arquitetura Centralizada . . . . .	28
2.4	ECU Distribuída . . . . .	29
2.5	Veículo com Arquitetura Distribuída . . . . .	29
2.6	Veículo com Arquitetura Mista . . . . .	30
2.7	Sem Rede CAN / Com Rede CAN . . . . .	32
2.8	Taxa de Transmissão X comprimento do chicote . . . . .	33
2.9	Frame CAN . . . . .	34
2.10	Posição do conector OBD no Punto . . . . .	37
2.11	Posição do conector OBD . . . . .	38
2.12	Formato da Mensagem DTC . . . . .	40
2.13	Exemplo da estrutura de uma árvore de decisão . . . . .	44
2.14	Semelhança entre neurônio e modelo de computação de rede neural . . . . .	45
2.15	Rede neural multi-camadas ou MLP . . . . .	46
2.16	Distribuição dos temas abordados pelos artigos . . . . .	50
2.17	Distribuição das técnicas utilizados pelos artigos . . . . .	52
3.1	Método . . . . .	57
3.2	Criação das árvores de decisão . . . . .	62
3.3	Matriz de confusão (treino) . . . . .	63
3.4	Matriz de confusão (teste) . . . . .	63
3.5	Rede Neural . . . . .	64
3.6	Rede Neural - Matriz de confusão do treino . . . . .	64
3.7	Rede Neural - Matriz de confusão do teste . . . . .	64
3.8	TreeMap com as palavras mais utilizadas nos verbatins do conjunto de dados . . . . .	66
3.9	TreeMap com as palavras mais utilizadas nos verbatins do conjunto de dados . . . . .	67
3.10	Dados Obtidos com o Weka . . . . .	68
3.11	Dados Obtidos com o Weka 2 . . . . .	68
3.12	Comandos para criação das Regras de Associação . . . . .	70
3.13	Tela Guia Rápido . . . . .	75
3.14	Funções de Informação ao Cliente . . . . .	76

3.15	Guia de Revisões . . . . .	76
3.16	Funções de Segurança - Indicadores Luminosos e Placas e Sinalização de Trânsito	77
3.17	Cliente registra uma reclamação . . . . .	78
3.18	OBD Dongle . . . . .	79
3.19	Estrutura do servidor . . . . .	80
B.1	STUDIES FOR YEAR . . . . .	118
B.2	STUDIES FOR REPOSITORY . . . . .	118
B.3	RATING FOR STUDY . . . . .	118
B.4	THEMES FOR STUDY . . . . .	119
B.5	TECHNIQUES USED FOR STUDY . . . . .	120

# Lista de Tabelas

2.1	Códigos DTC . . . . .	42
3.1	Resultado do experimento com Árvores de Decisão . . . . .	63
3.2	Resultado do experimento com redes neurais . . . . .	65
3.3	Resultado dos experimentos de classificação . . . . .	70
3.4	Ocorrências de problemas classificados . . . . .	71
3.5	Média das notas atribuídas em relação à classificação da verbalização . . . . .	71
4.1	Respostas à primeira questão do Questionário 1 . . . . .	88
4.2	Resultado da primeira questão do Questionário 1 . . . . .	88
4.3	Respostas à primeira questão do Questionário 2 . . . . .	89
4.4	Resultado da primeira questão do Questionário 2 . . . . .	89
4.5	Respostas à segunda questão do Questionário 1 . . . . .	89
4.6	Resultado da segunda questão do Questionário 1 . . . . .	90
4.7	Respostas à segunda questão do Questionário 2 . . . . .	90
4.8	Resultado da segunda questão do Questionário 2 . . . . .	90
4.9	Respostas à terceira questão do Questionário 1 . . . . .	91
4.10	Resultado da terceira questão do Questionário 1 . . . . .	91
4.11	Respostas à terceira questão do Questionário 2 . . . . .	91
4.12	Resultado da terceira questão do Questionário 2 . . . . .	91
A.1	Valores relacionados ao grau de concordância do entrevistado . . . . .	108
A.2	Resultado do Questionário . . . . .	109
A.3	Estatística obtida com o questionário . . . . .	109
B.1	TOTAL PAPERS FOUND IN ONLINE REPOSITORIES . . . . .	113
B.2	PAPERS FILTERED BY TITLE . . . . .	113
B.3	INCLUSION CRITERIA . . . . .	113
B.4	PAPERS SELECTED FOR SYSTEMATIC REVIEW ANALYSIS . . . . .	114
B.5	Systematic Review Studies . . . . .	115
B.6	RATING OF REVIEWED ARTICLES . . . . .	116
B.7	Used Techniques . . . . .	124
C.1	Sistemas Adas Básicos . . . . .	127
C.2	Sistemas ADAS Avançados . . . . .	128
C.3	Sistemas de Multimídia . . . . .	129
C.4	Opções de Conforto . . . . .	130

# Lista de Abreviações

ABS	Anti Block System (Sistema Anti bloqueio)
ACK	Acknowledge
ADAS	Advanced Driver Assistance System (Sistemas Avançados de Assistência ao Motorista)
BCM	Body Control Module (Modulo de Controle de Carroceria)
BEC	Body Eletronic Controller (Coontrolador Eletrônico de Carroçaria)
CAN	Controlled Area Network
CAN BUS	Barramento CAN
CAN HS	High Speed CAN (CAN Alta Velocidade)
CAN LS	Low Speed CAN (CAN Baixa Velocidade)
CAN MS	Medium Speed CAN (CAN Média Velocidade)
CIM	Column integration Module (Módulo de Integração da Coluna)
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CRC	Cicle Redundancy Check (Checagem de redundância de ciclo)
DLC	Data Conector Link
DLC	Diagnostic Length Code
DTC	Diagnostic Trouble Codes (Códigos de falhas)
DZM	Door Zone Module (Módulo da Área de Portas)
ECM	Engine Control Module (Módulo de Contole do Motor)
ECM	Engine Control Module (Módulo de Controle do Motor)
ECU	Eletronic Control Unit (Unidades Eletrônicas de Controle)
EOBD	European On-Board Diagnostic
EOF	End of Frame
EOL	End of Line (Fim de Linha)
ESP	Electronic Stability Program (controle de tração e estabilidade)
FZM	Front Zone Module (Módulo da Área Frontal)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
IDE	Identifier Extension (Indentificador de Extensão)

ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional de Padronização)
LED	Light Emitter Diode (Diodo Emissor de Luz)
JSON	JavaScript Object Notation
LIN	Local Interconnect Network
LIN BUS	Barramento LIN
MIL	Malfunction Indicator Lamp (Indicadores Luminosos)
OBD	On Board Diagnostic (Diagnóstico de bordo)
OBD	On-board Diagnosis
OBD-I	On-Board Diagnostic versão 1
OBD-II	On-Board Diagnostic versão 2
ODB	Off-board Diagnosis
PCM	Powertrain Control Module (Módulo de Controle Motor-Transmissão)
PIB	Produto Interno Bruto
PROM	Programmable Read Only Memory (Memória Programável Somente de Leitura)
REST	Representation State Transfer
RPM	Rotações por Minuto
RTR	Remote Transmission Request (Requisição de Transmissão Remota)
RZM	Rear Zone Module (Módulo da Área Traseira)
SAE	Society of Automotive Engineers (Sociedade dos Engenheiros Automotivos)
SBESC	Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering
SDI	Serial Digital Interface
SIMRAV	Sistema Integrado de Monitoramento e Registro Automático de Veículos
SINIAV	Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos
SOF	Start-of-frame (Início de Quadro)
SRR	Substitute Remote Request (Requisição remota de substituição)
TCM	Transmission Control Module (Módulo de Controle da Transmissão)
TCU	Telematics Control Unit (Unidade de Controle de Telemática)

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO . . . . .	15
1.2	PROBLEMA . . . . .	19
1.3	MOTIVAÇÃO . . . . .	20
1.4	OBJETIVOS . . . . .	21
1.4.1	Objetivo geral . . . . .	21
1.4.2	Objetivos específicos . . . . .	21
1.5	VISÃO GERAL DA ABORDAGEM PROPOSTA . . . . .	21
1.6	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO . . . . .	22
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>24</b>
2.1	TECNOLOGIA AUTOMOTIVA . . . . .	24
2.1.1	Unidade de Controle Eletrônico (ECU) . . . . .	24
2.1.2	Arquitetura Eletrônica . . . . .	27
2.1.3	Protocolos de Comunicação . . . . .	30
2.1.4	Diagnóstico Automotivo . . . . .	34
2.2	MINERAÇÃO DE DADOS . . . . .	42
2.2.1	Classificação . . . . .	43
2.3	ANÁLISE DE TRABALHOS CORRELATOS . . . . .	48
2.3.1	Estado da Técnica . . . . .	48
2.3.2	Estado da Arte . . . . .	49
<b>3</b>	<b>MÉTODOS E MATERIAIS</b>	<b>57</b>
3.1	MÉTODO DE PESQUISA . . . . .	57
3.2	MATERIAIS . . . . .	59
3.2.1	Identificação de Padrões para transcrição de fala em texto . . . . .	59
3.2.2	Especificação do Projeto . . . . .	72
3.2.3	Desenvolvimento do Aplicativo . . . . .	75
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTOS E RESULTADOS</b>	<b>82</b>
4.1	ESTUDOS DE CASO . . . . .	82
4.1.1	Estudo de Caso com evidência de captação do DTC . . . . .	83
4.1.2	Estudo de Caso com problema diagnosticável . . . . .	84
4.1.3	Estudo de Caso com problema não diagnosticável . . . . .	86
4.2	RESULTADOS OBTIDOS . . . . .	87
4.2.1	Análise dos resultado obtidos . . . . .	88
4.2.2	Limitações do trabalho realizado . . . . .	92

<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>94</b>
<b>A</b>	<b>APÊNDICE A - LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA</b>	<b>107</b>
<b>B</b>	<b>APÊNDICE B - REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA</b>	<b>110</b>
B.1	INTRODUCTION . . . . .	110
B.2	METHOD . . . . .	111
B.2.1	Research Questions . . . . .	111
B.2.2	Research Process . . . . .	112
B.2.3	Inclusion and Exclusion Criteria . . . . .	113
B.2.4	Quality assessment of selected studies . . . . .	114
B.2.5	Data Collection . . . . .	114
B.2.6	Data Analysis . . . . .	117
B.3	RESULTS . . . . .	117
B.3.1	General Data Analysis . . . . .	117
B.3.2	RQ1 - What are the main challenges in automotive diagnostics? . . . .	119
B.3.3	RQ2 - What are the methods most often used? . . . . .	120
B.3.4	RQ3 - What are the difficulties found in those methods? . . . . .	121
B.3.5	RQ4 - What problems still need to be discussed in automotive diagnos- tics? . . . . .	122
B.4	DISCUSSION . . . . .	123
B.5	CONCLUSIONS . . . . .	124
<b>C</b>	<b>Apêndice C - COMPARATIVOS ENTRE TECNOLOGIAS AUTOMOTIVAS</b>	<b>126</b>
<b>D</b>	<b>Apêndice D - QUESTIONÁRIOS</b>	<b>131</b>
D.1	QUESTIONÁRIO 1 . . . . .	132
D.2	QUESTIONÁRIO 2 . . . . .	133

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo “Anuário da Indústria Automobilística Brasileira”(ANFAVEA, 2015), a produção nacional foi de 71,2 milhões de auto veículos em 2014, empregando cerca de 1,5 milhão de pessoas que trabalharam direta, ou indiretamente, com a indústria automotiva.

Em 2013 a indústria automobilística brasileira gerava 5% do PIB (Produto Interno Bruto) total do Brasil, e 25% do PIB industrial (TELLES et al., 2014). Estes números representavam um faturamento superior a US\$ 100 bilhões no ano, comparado com 2014 a porcentagem de participação do PIB industrial caiu para 23%, porém, o faturamento chegou à casa de US\$ 110 bilhões (ANFAVEA, 2015). Estes números ilustram o impacto da indústria automobilística nacional.

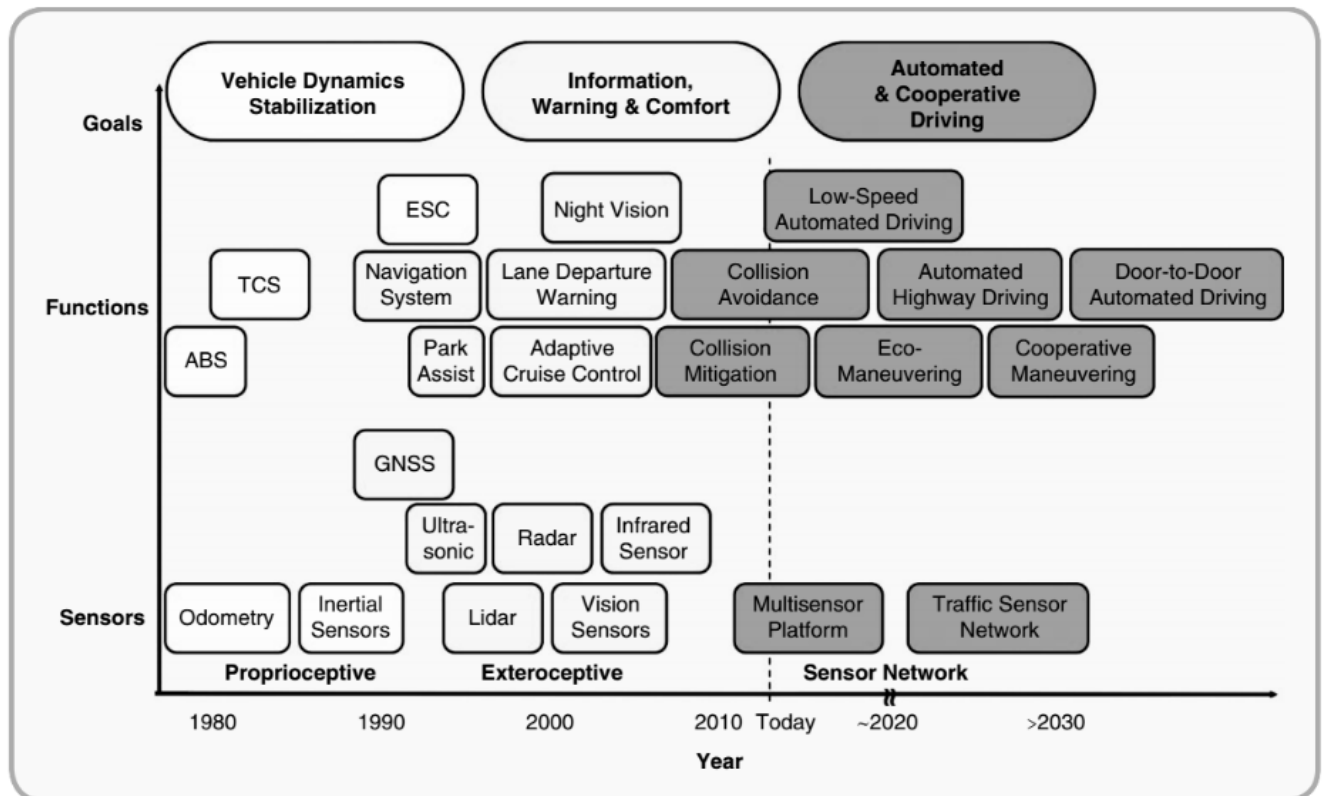
Com o intuito de aprimorar o produto oferecido para o cliente, e logicamente, aumentar número de vendas, as montadoras tem agregado novas funções e novos sistemas para atender a demanda vinda do mercado. Porém, esta evolução causa o aumento na complexidade dos projetos de seus veículos.

Como exemplo desta complexidade, os modelos de carros populares comercializados atualmente contam com cerca de 34 sistemas eletrônicos. Já para veículos de luxo (categoria “premium”) este número pode chegar a 150 sistemas eletrônicos (STARON, 2017). Estes sistemas são controlados pelas suas respectivas ECUs ( *Electronic Control Unit*, Unidades Eletrônicas de Controle) e representam funcionalidades importantes como freio ABS (*Anti Block System*, Sistema Anti bloqueio), radares auxiliares, controle de estabilidade, sistema multimídia, funcionamento do motor, dentre outros.

De acordo com o estudo desenvolvido por Bengler et al. (2014), o número de sistemas não deixará de crescer. O autor apresenta a situação atual da tecnologia embarcada no carro, e também uma projeção de como se dará a evolução nos próximos 20 anos. A Figura 1.1 representa uma síntese da análise feita por Bengler et al (2014).



Figura 1.1: Projeção da evolução tecnológica automotiva



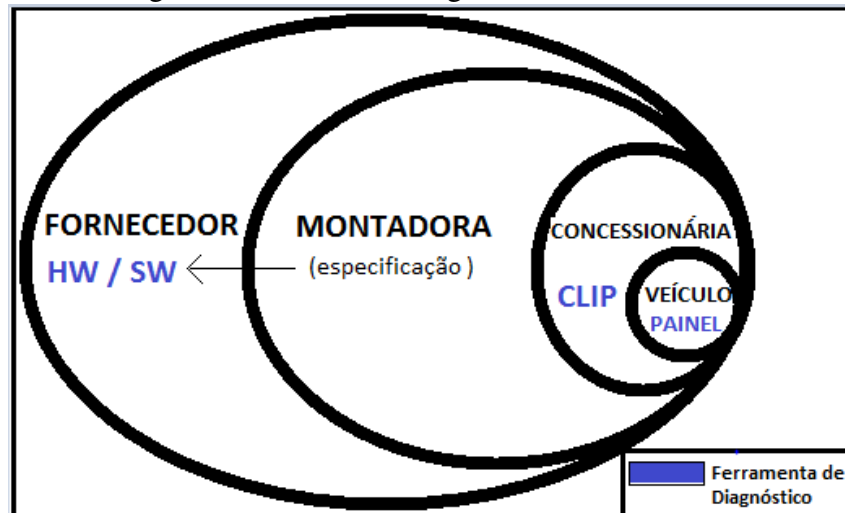
Fonte: (BENGLER et al., 2014)

No trabalho de Bengler et al. (2014), a projeção é feita somente para funções ligadas à direção autônoma e cooperativa, entretanto, paralelamente a elas somam-se ainda funções ligadas a conforto, conectividade e segurança que não são relacionadas no estudo.

Além do aumento da complexidade do automóvel, as montadoras também terão de aprimorar as técnicas para diagnosticar os problemas e falhas nas ECUs do veículo. No contexto deste trabalho problemas estão ligados com mal funcionamento ocasionado por equívocos no projeto do sistema. Falhas são defeitos nos componentes físicos do sistema (uma peça defeituosa ou uma ligação com defeito, por exemplo). As falhas são detectadas com a utilização dos DTCs (*Diagnostic Trouble Codes*, Códigos de falhas), que são códigos gerados pelas ECUs que evidenciam o mal funcionamento em um determinado sistema.

Atualmente o diagnóstico é realizado tanto pela montadora (quando o veículo passa por uma intensa bateria de testes), quanto nas concessionárias (quando um cliente detecta um defeito, e procura assistência técnica). As ferramentas de diagnóstico se diferenciam como mostra a Figura 1.2.

Figura 1.2: Níveis de Diagnósticos Automotivos



Fonte: Autor

O fornecedor que desenvolve o hardware e software do sistema, sendo quem possui mais variáveis disponíveis para analisar, e conseqüentemente, tem maiores possibilidades de realizar um diagnóstico mais preciso. O nível de acesso a estas variáveis é restringido gradativamente até a condição do cliente, que nesta configuração é quem tem o acesso mais limitado.

Na montadora é utilizado um software proprietário (DE propriedade de um terceiro e do qual a montadora não tem acesso ao respectivo código fonte), que se conecta ao carro pela entrada OBD (*On Board Diagnostic*, Diagnóstico de Bordo) do veículo e permite que os engenheiros responsáveis tenham acesso às variáveis dos sistemas disponíveis no veículo.

Na concessionária o acesso se restringe apenas à leitura dos DTCs gerados pelas ECUs. O processo é realizado por meio de uma ferramenta conhecida como CLIP, ou Scanner Automotivo (Figura 1.3). Com o CLIP, os funcionários da concessionária podem acessar e decifrar o significado dos DTCs, permitindo assim que o reparo do veículo seja realizado.

Na relação entre montadora e concessionária, a concessionária é responsável por atender ao cliente e reportar o resultado à montadora. A montadora, por sua vez, centraliza um montante de informações de diversas concessionárias, que a possibilita conhecer e analisar os incidentes de forma geral.

Figura 1.3: Ferramenta de scanner



Fonte: (ALIEXPRESS, 2017)

Para os clientes, alguns DTCs são representados por meio dos MILs (Malfunction Indicator Lamp, Indicadores Luminosos), e são disponibilizados no painel do veículo. A Figura 1.4 ilustra o exemplo dos MILs que estão presentes no painel de um veículo.

Figura 1.4: Painel com os indicadores luminosos



Fonte: Autor

No exemplo mostrado no painel (ver Figura 1.4), percebe-se o ícone luminoso ocorre com o item indicado com o número 1 na figura. Este ícone indica possíveis falhas no sistema de freio ABS, ou no ESP (Electronic Stability Program, controle de tração e estabilidade, que atua no auxílio dos freios). O problema, neste caso, pode estar em sensores no sistema hidráulico ou até na unidade de controle. Caso pare de funcionar, o veículo passa a rodar com freios convencionais. Neste painel também podem ser indicados problemas no sistema de injeção, problemas com o sistema de airbag, temperatura do motor, bateria e pressão do óleo lubrificante do motor, dentre outros.

Com exceção feita às vistorias programadas, a responsabilidade de detectar um defeito é predominantemente do motorista. A qualidade da sua análise depende fortemente do seu conhecimento sobre o funcionamento do carro.

Habitados com o conceito de “*plug and play*”<sup>1</sup>, e também pela falta de interesse nas áreas de mecânica e eletrônica<sup>2</sup>; um motorista, por exemplo, acostumado a utilizar a função sonora de assistência de estacionamento, pode notar que o sistema está defeituoso somente depois de colidir. Este é um cenário indesejado tanto para o cliente que terá, no mínimo, um prejuízo financeiro; quanto para a montadora, que em breve terá de gerenciar as reclamações e medidas tomadas por um cliente descontente com o produto que adquiriu.

Uma situação desta natureza poderia ser evitada se o veículo possuísse um sistema capaz de realizar autodiagnóstico e, se além de detectar uma falha, também informasse o ocorrido ao motorista e à montadora, além de informar como se deve proceder para resolver esta falha detectada. Esta solução, apesar de não estar disponível na maioria dos veículos (exceto alguns modelos da categoria *premium*), é tecnologicamente possível graças aos sistemas de telemetria e evolução da conectividade.

Pesquisas relacionadas à aplicação desta técnica de comunicação entre veículos e montadora foram realizadas com o intuito de desenvolver ((NOLTE; HANSSON; BELLO, 2005a),(YOU; KRAGE; JALICS, 2005)) e atestar a eficiência ((ZALDIVAR et al., 2011)) deste mecanismo.

<sup>1</sup>Expressão ligada a dispositivos computacionais, os quais o usuário apenas precisa conectá-los no computador e usá-los sem a necessidade de instalação ou conhecimento profundo sobre o produto

<sup>2</sup>falta de interesse normal, ninguém é obrigado a ser *expert* para comprar um veículo

Diferentemente dos estudos citados no parágrafo anterior, os trabalhos desenvolvidos por (EKLUND et al., 2012), (GINZARLY; HOBLOS; MOUBAYED, 2015) e (HANDEL et al., 2014) inserem o motorista como “espectador” do sistema (por interface de seu smartphone ou multimídia do veículo), sendo informado da maneira com que ele/ela conduz (exemplo, Eco Drive), e como deve proceder para evitar avarias no carro.

No Brasil a implantação de sistemas de conectividade foi acelerada devido à lei conhecida como SIMRAV (Sistema integrado de monitoramento e registro automático de veículos) (CONTRAN, 2007), que posteriormente foi atualizada e substituída pela SINIAV (Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos) (DENATRAN, 2011), que quando entrar em vigência outorgará que automóveis vendidos a partir de sua implantação tenham incorporado à sua arquitetura um dispositivo que permitirá aos órgãos responsáveis do governo bloquear o veículo em caso de furto. A lei SIMRAV, que a princípio entraria em vigor em 2014, foi suspensa devido às discordâncias entre o poder legislativo, que exigia que o dispositivo servisse apenas para bloqueio; e o poder executivo, que requisitou também um sistema de localização georreferenciado (LOGÍSTICA, 2012)(AUTOESPORTE, 2016).

Com a obrigação de projetar a estrutura de seus veículos para receber o dispositivo SINIAV, e a preparação das empresas de telecomunicação para atender à diretiva, as montadoras estão acelerando o desenvolvimento de seus sistemas de conectividade, com a finalidade de oferecer serviços desta natureza aos clientes.

Diferente do que ocorreu com outras funções no veículo, é provável que a conectividade chegue ao Brasil com uma defasagem menor em relação à sua aplicação nos principais mercados do mundo. O ABS, por exemplo, teve um intervalo de 15 anos entre sua implantação na Europa e Estados Unidos, para sua implantação em território brasileiro (LINDAU et al., 2015).

## 1.2 PROBLEMA

Para o levantamento e caracterização do problema descrito a seguir foi realizada uma pesquisa quantitativa junto ao Departamento de Engenharia de uma montadora de veículos que atua no território nacional. Os detalhes desta pesquisa são descritos no Apêndice A.

Todo mal funcionamento que ocorre no veículo é gravado no sistema de controle na forma de um DTC. Quando este problema é solucionado, este DTC é prontamente apagado do sistema. Uma vez que não existam DTCs disponíveis, o veículo não deveria apresentar nenhuma falha aparente.

Os DTCs podem ser divididos em dois grupos no que diz respeito ao aparecimento no sistema. O primeiro grupo é denominado “panes presentes”. Este grupo inclui os DTCs de maior prioridade que, mesmo que sejam apagados do sistema, reaparecem prontamente pois são avaliados constantemente pelo sistema de diagnóstico. O outro grupo é denominado “panes memorizadas”. Este grupo inclui DTCs de menor prioridade que são memorizados no sistema apenas no momento em que o erro é detectado, ou seja, se são apagados, e não reaparecerão no sistema até que o(s) erro(s) ocorra(m) novamente, pois não há uma rotina programada para encontrá-los como existe para as “panes presentes”.

Quando o cliente detecta um problema em seu veículo, é necessário solicitar prontamente o serviço de um profissional para averiguar este problema. Este serviço é realizado pela concessionária. A montadora encontra muitos problemas no processo de análise efetuado pelas concessionárias. O principal está ligado à maneira com que o diagnóstico é realizado.

Na pesquisa quantitativa mencionada anteriormente, foi relatado que o procedimento para realizar o diagnóstico da montadora é o seguinte: o funcionário responsável pela vistoria deve apagar os registros de DTCs e esperar que eles sejam recarregados, todavia apenas as “panes presentes” reaparecem neste processo, ou seja, o cliente pode sair da concessionária sem que todos defeitos sejam sanados. Desta forma a análise não é completa, e nem o profissional que é responsável pela vistoria sabe de todas as falhas que estavam presentes no veículo.

O motivo para apagar todas as DTCs armazenadas antes de realizar o processo de diagnóstico é eliminar os DTCs das panes que possam estar memorizadas sem que o problema esteja presente no veículo no momento da chegada à concessionária. Por exemplo, um veículo que teve problema de superaquecimento do motor em um determinado momento, terá armazenado um DTC relativo a este superaquecimento. Contudo, este foi um problema ocorrido em uma determinada situação, e conseqüentemente passageiro e que não indica um problema real no motor, segundo a visão do mecânico.

Devido a este processo falho, a montadora não é avisada de todas as falhas que realmente estavam presentes no veículo no momento de sua chegada à concessionária e, desta forma, tem dificuldades em detectar e sanar os problemas no veículo (e no seu projeto) de maneira mais eficiente. Por mais que existam treinamentos, este é um impasse que perdura na relação entre concessionária e montadora (MANZONI, 2010).

Isso vai em desencontro com as expectativas do cliente, não só pelo tempo que o serviço demora para ser realizado (desde a percepção do problema no veículo, marcação da vistoria, até a realização da verificação na concessionária), mas também pela qualidade do serviço e retorno de informações para a montadora que não são os ideais. Segundo pesquisa de mercado realizada por (GILL; WINKLER, 2014), 92% dos clientes de mercados emergentes como o Brasil, desejam que seus e-mails ou solicitações sejam respondidos pela montadora em menos de 24 horas.

O resultado da entrevista (Apêndice A) mostra que quinze dos dezesseis engenheiros entrevistados acreditam que não enviar os DTCs no momento da chegada do veículo à concessionária é uma falha relevante para determinar as causas raízes dos problemas que devem ser tratados pelo departamento de engenharia e qualidade. Além disto, também é possível notar que quinze engenheiros acreditam que a montadora poderia trabalhar para melhorar seu processo de diagnóstico e que esta melhora é imperativa para aprimorar a completude e confiabilidade do diagnóstico realizado atualmente.

Neste projeto o problema a ser atacado é a dificuldade que a montadora tem para obter informações dos problemas e falhas que ocorrem nos veículos durante o seu uso pelos motoristas.

### **1.3 MOTIVAÇÃO**

A exploração de técnicas que auxiliam o diagnóstico automotivo é uma questão a ser discutida. De acordo com a Revisão Sistemática realizada no âmbito deste trabalho (Apêndice B), as técnicas de diagnóstico devem fornecer suporte à grande quantidade de sistemas que surgirão nos próximos anos. É necessário também utilizar a conectividade que os celulares e veículos dispõem na atualidade, com o intuito de evoluir o produto oferecido, e melhorar a segurança e experiência do cliente enquanto dirige.

A inclusão do cliente no processo de diagnóstico, visa permitir que os projetistas identifiquem pontos que podem ser melhorados no carro, mesmo que não apresentem erro apa-

rente. A opinião do cliente pode ser considerada, uma vez que ele é incluído no processo como um novo “sensor”(o mais inteligente e importante de todos) capaz de reportar suas percepções. Considerando este fato, a motivação deste trabalho se encontra em: (i) Procurar alternativas para aplicar de maneira eficiente a conectividade dos veículos no processo de diagnóstico; (ii) Permitir que as montadoras possam obter informações mais concretas dos veículos que comercializam.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma abordagem para auxiliar as montadoras na obtenção de informações sobre os problemas e falhas que ocorrem nos veículos durante o seu uso pelos motoristas, relacionando os dados obtidos com a leitura da telemetria do veículo, com as percepções do motorista sobre uma determinada falha.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Analisar as metodologias atuais para o diagnóstico automotivo e determinar as principais técnicas e medidas utilizadas.
- Desenvolver um método para a interação com o motorista e classificação da sua percepção em relação às falhas ou problemas no veículo
- Fornecer uma abordagem para diagnosticar possíveis falhas relacionando a percepção do motorista com dados medidos no automóvel e sugerir ações
- Implementar a abordagem proposta com base no conhecimento técnico das montadoras sobre os problemas do veículo.
- Analisar a adequação do projeto desenvolvido em relação à aplicabilidade
- Avaliar a abordagem proposta através de experimentos que representem estudos de casos reais

## **1.5 VISÃO GERAL DA ABORDAGEM PROPOSTA**

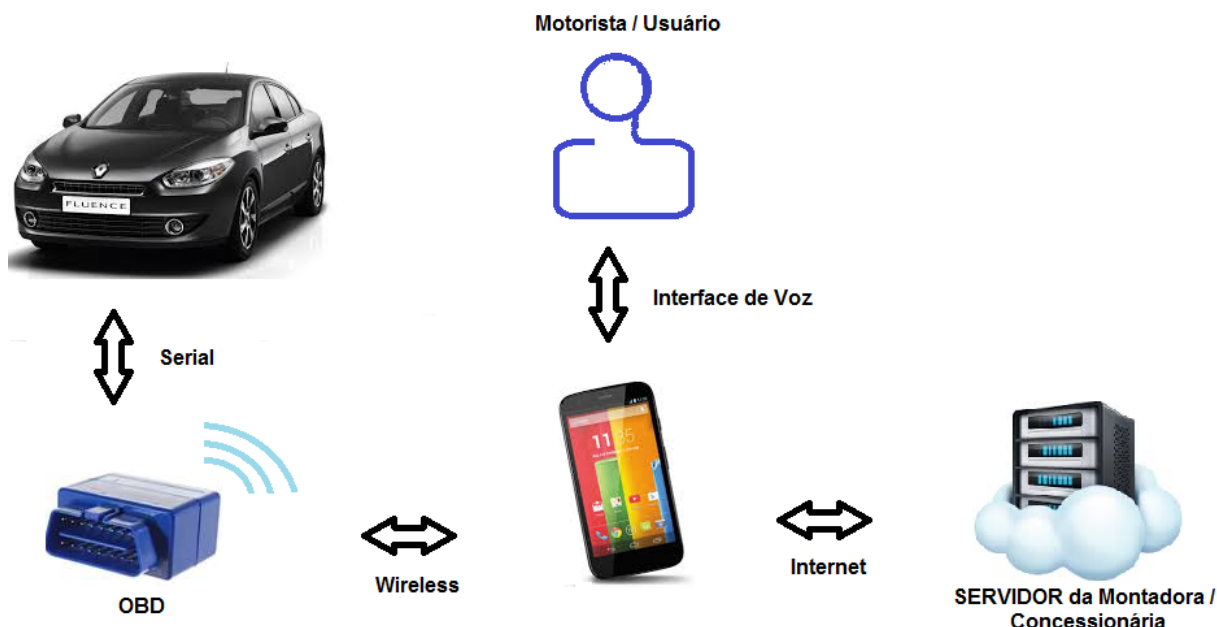
Considerando os problemas mencionados anteriormente, assim como os objetivos deste trabalho, criou-se uma abordagem para auxiliar o diagnóstico automotivo que utiliza os dados da telemetria do veículo, a percepção do motorista, e um sistema computacional para captar, processar e transmitir esta informação para a montadora.

O sistema desenvolvido pode ser visto como uma interface entre o usuário e o carro que permite que sejam realizados diagnósticos preventivos mais completos do que apenas uma telemetria. Mesmo que o cliente não tenha tanta intimidade com o funcionamento do veículo, o sistema deve orientar o motorista no processo de diagnóstico. O intuito deste procedimento é que estes dados sejam enviados à montadora à medida que os problemas ocorrem no veículo.

A entrada de dados por parte do cliente é realizada por meio de texto ou comando de voz. Um software contido no smartphone do motorista será responsável por solicitar ao OBD

(On-Board Diagnostic) as leituras necessárias para que o cliente obtenha as informações que deseja. A Figura 1.5 fornece uma visão geral do sistema desenvolvido.

Figura 1.5: Sistema De interface Carro-Motorista- Montadora



Fonte: Autor

O veículo possui um dispositivo OBD conectado ao seu sistema que permite a leitura dos códigos DTC que são enviados no barramento de comunicação do veículo. Quando o motorista percebe a ocorrência de alguma situação fora do comum no seu veículo, ele/ela aciona o software de diagnóstico no seu smartphone. O motorista realiza a interação com tal software através de texto ou comandos de voz. Este software, por sua vez, solicita a leitura dos dados sobre os DTCs que estão armazenados em alguma ECU do veículo. Em seguida, o software envia os dados coletados para um servidor (que se localiza fisicamente na montadora) através da Internet. Os dados enviados são os dados do veículo lidos através do dispositivo OBD e a percepção do motorista captada através do software do smartphone.

## 1.6 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O texto a seguir está distribuído sete capítulos e quatro apêndices.

No segundo capítulo são apresentados os conceitos ligados ao referencial teórico. Neste capítulo está inserida uma seção sobre tecnologias automotivas, são abordadas questões ligadas à arquitetura do veículo, dentre os temas desenvolvidos estão a definição de unidade de controle eletrônica, arquitetura do veículo, Rede CAN (Controller Area Network) e DTC (Data Trouble Code), e também ligados ao diagnóstico automotivo (histórico, legislação, técnicas e ferramentas). A segunda seção deste capítulo apresenta os conceitos de mineração de dados que serão utilizados no classificador do sistema que receberá a fala do cliente e a classificará de acordo com o conjunto de problemas definido. Na terceira seção apresentados o estado da técnica e estado da arte. Trata-se de aspectos que estão ligados à pesquisa inicial, realizada para determinar qual seria o problema, e quais as abordagens mais utilizadas na área de estudo. O

estado da técnica apresenta uma pesquisa cujo objetivo é determinar qual é a situação atual do mercado automotivo, ou seja, o que já é comercializado tanto nacionalmente, como no mercado internacional. O estado da arte se refere à revisão uma revisão sistemática de literatura que fornece uma análise de 40 artigos sobre diagnóstico automotivo, com o intuito de determinar quais os problemas a serem atacados e quais as abordagens mais utilizadas na área

No capítulo três é apresentado o método utilizado para desenvolvimento, no qual são determinadas quais são as etapas que foram cumpridas para se chegar ao objetivo final; além de um maior detalhamento e levantamento das especificações do sistema.

No capítulo quatro são apresentados os experimentos e resultados. Na seção de experimentos são discutidos os três casos de uso utilizados para validar o sistema. Na segunda seção são detalhados os resultados obtidos com a aplicação do questionário em especialistas da área de diagnóstico automotivo.

No capítulo cinco são discutidas as conclusões finais e as possibilidades de trabalhos futuros.

O Apêndice A é utilizado para se explicar como se deu o processo de entrevista para a caracterização do problema. O Apêndice B apresenta a Revisão Sistemática da Literatura, que foi desenvolvida para o estado da arte (capítulo 2.3.1). O Apêndice C apresenta o estudo que levou ao levantamento do estado da técnica. O Apêndice D contém os questionários que foram aplicados no processo de pesquisa.



## Capítulo 2

# FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na primeira seção da fundamentação teórica foram estudadas as tecnologias e componentes ligados à indústria automotiva.

Após o fim da análise dos componentes automotivos, foi realizada um levantamento dos algoritmos classificação na área de mineração de dados. O intuito desta seção é servir de base para os experimentos que serão realizados ligados à classificação da fala do cliente sobre problemas que ocorrem no veículo.

Finalmente na última seção são apresentados o estado da arte (conceito ligados à pesquisa acadêmica na área de diagnóstico automotivo) e estado da técnica (tecnologias presentes nos veículos). O propósito desta diferenciação entre estado da arte e estado da técnica é relacionar os trabalhos realizados pelos pesquisadores, e o que é aplicado pela indústria.

### 2.1 TECNOLOGIA AUTOMOTIVA

Esta seção tem por objetivo tratar sobre questões ligadas à tecnologia automotiva. São apresentados os principais conceitos ligados à arquitetura e protocolos de comunicação.

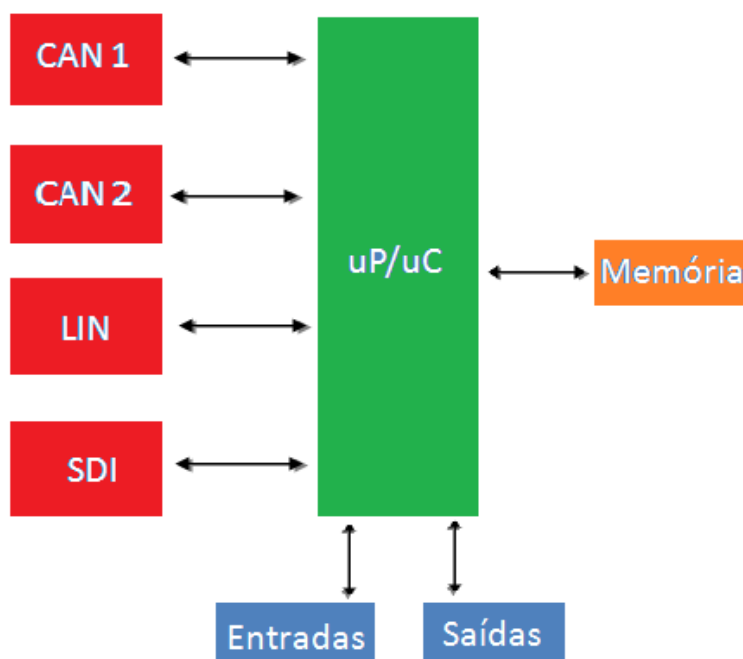
#### 2.1.1 Unidade de Controle Eletrônico (ECU)

Dentre outras funções importantes, os sistemas eletrônicos presentes nos veículos automotivos são responsáveis pela aceleração, injeção eletrônica, computador de bordo, *infotainment* (Palavra originada da junção de “*Information*”(Informação) e “*entertainment*”(Entretenimento)), e assim como os sistemas ADAS (Advanced Driver Assistance Systems - Sistemas Avançados de Auxílio ao Motorista: ex sistema eletrônico de estabilidade, sistema que auxilia na mudança de faixa dentre outros), garantir um aumento na segurança dos ocupantes do veículo.

Atualmente os veículos produzidos pela montadora que financiou este projeto, por exemplo, contam com 34 sistemas eletrônicos, e já há uma previsão de que este número subirá nos próximos anos atingindo 45 em sua totalidade. Estes sistemas buscam atender às demandas vindas do mercado, e com a constante evolução tecnológica este número crescerá ainda mais, como já ocorre com os veículos da categoria “premium”, nos quais, em automóveis da Mercedes, BMW ou Tesla, este número pode passar 150 sistemas eletrônicos (STARON, 2017). Os sistemas presentes nos veículos são chamados de módulos eletrônicos, ou unidades de controle eletrônico.

Um módulo eletrônico é um sistema embarcado capaz de receber dados de entrada, processar as informações obtidas, e em função destas determinar uma saída específica. É responsável também pela administração do funcionamento dos protocolos de comunicação utilizados no veículo (GUIMARÃES; SARAIVA, 2003). A Figura 2.1 apresenta o diagrama de blocos de um módulo eletrônico genérico.

Figura 2.1: Diagrama de Blocos de um Módulo Eletrônico



Adaptado de (GUIMARÃES, 2007)

Os módulos são formados por um **microcontrolador(ou microprocessador) central**, responsável pela coordenação do processamento e controle das atividades desenvolvidas no módulo. **Portas de comunicação**, as portas CAN <sup>1</sup>(1 e 2), LIN <sup>2</sup> e SDI <sup>3</sup>, se comunicam respectivamente com protocolo de comunicação CAN BUS <sup>4</sup>, protocolo de comunicação (LIN BUS <sup>5</sup>) e comunicação com um protocolo proprietário (diferente de montadora para montadora). **Entradas e saídas** são responsáveis por receber sinais (digitais ou analógicos) vindos dos sensores e emitir sinais (digitais ou analógicos) controlados pelo módulo eletrônico. Finalmente a **memória** está presente para guardar o software do módulo eletrônico, geralmente trata-se de uma memória PROM <sup>6</sup> (não permite atualização) ou Flash (permite atualização) (GUIMARÃES, 2007).

As entradas podem ser digitais ou analógicas, sendo que as analógicas são comumente aplicadas para a leitura de sensores. Assim como ocorre com as entradas, as saídas também po-

<sup>1</sup>CAN - Controlled Area Network

<sup>2</sup>LIN - Local Interconnect Network

<sup>3</sup>SDI - Serial Digital Interface

<sup>4</sup>CAN BUS - Barramento CAN

<sup>5</sup>LIN BUS - Barramento LIN

<sup>6</sup>PROM - Programmable Read Only Memory (Memória Programável Somente de Leitura)

dem ser analógicas ou digitais, e são utilizadas para acionamento de LEDs <sup>7</sup>, buzzers, válvulas, ou quaisquer outros dispositivos que possam ser acionados eletronicamente (GUIMARÃES, 2007).

O software embarcado no microcontrolador auxilia o funcionamento do módulo eletrônico, ele pode ser dividido em três partes, sendo elas: parâmetros programáveis, calibração básica e firmware.

A calibração básica é gravada pela montadora no final da linha de produção e contém os valores específicos de cada parâmetro da unidade de controle, por exemplo para o controlador do motor, mesmo que a calibração seja muito similar, algumas variáveis se diferem em um carro com versão 1000 cilindradas (1.0) para outra versão de 2000 cilindradas (2.0), por exemplo.

Parâmetros programáveis são bits que podem ser configurados para alterar o funcionamento de determinados dispositivos do veículo, a configuração destes bits pode ser realizada na linha de montagem, ou pelas concessionárias (utilizando dispositivos próprios de programação). Um exemplo poderia ser o padrão de som produzido pelo alarme, que pode ser diferente de um país para outro (na Argentina, por exemplo, é usual utilizarem um som mais estridente em comparação ao padrão brasileiro).

O firmware contém a configuração de comunicação direta com os dispositivos de hardware, além de conter também as rotinas a serem executadas. Todos os veículos fabricados na atualidade possuem módulos eletrônicos. Na indústria automotiva estes módulos eletrônicos são denominados por siglas e são conhecidos como:

- ECU <sup>8</sup> - Eletronic Control Unit (Unidade de Controle Eletrônico), ou;
- ECM - Eletronic Control Modules (Módulo de controle eletrônico).

Os veículos têm algumas dezenas de ECUs em seus sistemas. Todo e qualquer módulo pode ser denominado ECU, entretanto quando se deseja falar especificamente de um determinado módulo há siglas que denominam cada um deles, abaixo segue uma listagem dos ECUs mais comuns presentes nos veículos, apresentada por (SILVA, 2015):

- **MT - Multitimer:** responsável pela temporização de funções do veículo (setas, pisca-alerta, entre outros).
- **BCM - Body Control Module (Modulo de Controle de Carroçaria) ou BEC - Body Eletronic Controller (Coontrolador Eletrônico de Carroçaria):** Responsável pela maior quantidade de funções do veículo, desde funções, como controle de seta, farol, sistema de alarme e travas elétricas.
- **FZM - Front Zone Module (Módulo da Área Frontal):** utilizado para separar as funções do BCM.
- **RZM - Rear Zone Module (Módulo da Área Traseira):** Assim como o FZM, utilizado para separar as funções do BCM.
- **DZM - Door Zone Module (Módulo da Área de Portas):** Assim como o FZM e o RZM, utilizado para separar as funções do BCM.

<sup>7</sup>LED - Ligth Emissor Diode (Diodo Emissor de Luz)

<sup>8</sup>Neste trabalho optou-se por adotar a sigla ECU, pois como existe um módulo conhecido como ECM -Engine Control Module (Módulo de Contole do Motor), a adoção da sigla ECM poderia gerar ambiguidade

- **CIM - Column integration Module (Módulo de Integração da Coluna):** Assim como o FZM, o RZM e o DZM, utilizado para separar as funções do BCM.
- **ECM - Engine Control Module (Módulo de Controle do Motor):** Controla todas as funções do motor.
- **TCM - Transmission Control Module (Módulo de Controle da Transmissão)-** Controla as funções da transmissão (comunica a energia mecânica do motor com as rodas).
- **PCM - Powertrain Control Module (Módulo de Controle Motor-Transmissão):** módulo que controla a interação entre motor e transmissão.
- **TCU - Telematics Control Unit (Unidade de Controle de Telemática):** controla funções de navegação do veículo (GPS, por exemplo).

Nesta seção foi apresentado o conceito de unidades de controle eletrônico, na próxima seção serão apresentadas as arquiteturas veiculares que podem ser construídas a partir destes componentes.

## 2.1.2 Arquitetura Eletrônica

Os objetivos de se desenvolver a arquitetura eletrônica são permitir a conexão entre os componentes elétricos e eletrônicos no veículo, reduzir o volume de cabo e conectores, estabelecer comunicação entre os módulos eletrônicos, facilitar a realização de diagnóstico para a manutenção preventiva, dentre outros (SANTOS, 2010).

A arquitetura eletrônica pode ser classificada de acordo como a forma com que os módulos eletrônicos se conectam e pela forma de processamento das ECUs, podendo ser classificada em arquitetura centralizada, distribuída ou mista.

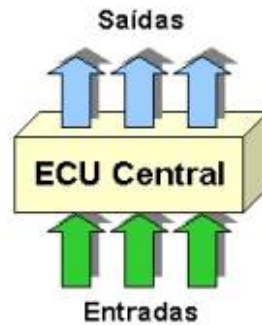
Segundo (GUIMARAES,2011), os fatores que mais influenciam na escolha da arquitetura elétrica do veículo são: Segmento do Veículo (carros de entrada, populares, luxo, premium), funcionalidades disponíveis, sistemas presentes no veículo, custo da nova arquitetura e a capacidade de expansão do sistema.

O Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), obriga que veículos leves tenham de ter, por exemplo, ABS e Airbags frontais, dentre outras determinações. Somando-se às demandas vindas do mercado, é possível dizer que para o Brasil as arquiteturas distribuídas ou mista seriam mais adequadas, devido ao elevado número de controladores presentes nos veículos comercializados atualmente.

### Arquitetura Elétrica centralizada

A arquitetura centralizada é caracterizada por possuir uma “ECU central”(Figura 2.2), que coordena todas as entradas e saídas presentes no veículo. Não há necessidade de comunicação entre os módulos. As principais vantagens desta arquitetura estão ligadas ao fato de ser simples de implementar e de manutenção de hardware relativamente fácil, pois trata-se apenas de sensores, atuadores, ECU e o cabeamento que os conecta. Já a desvantagem é a necessidade de um maior número de chicotes elétricos, tornando o sistema menos escalável, dificultando o acionamento de novas funções no veículo.

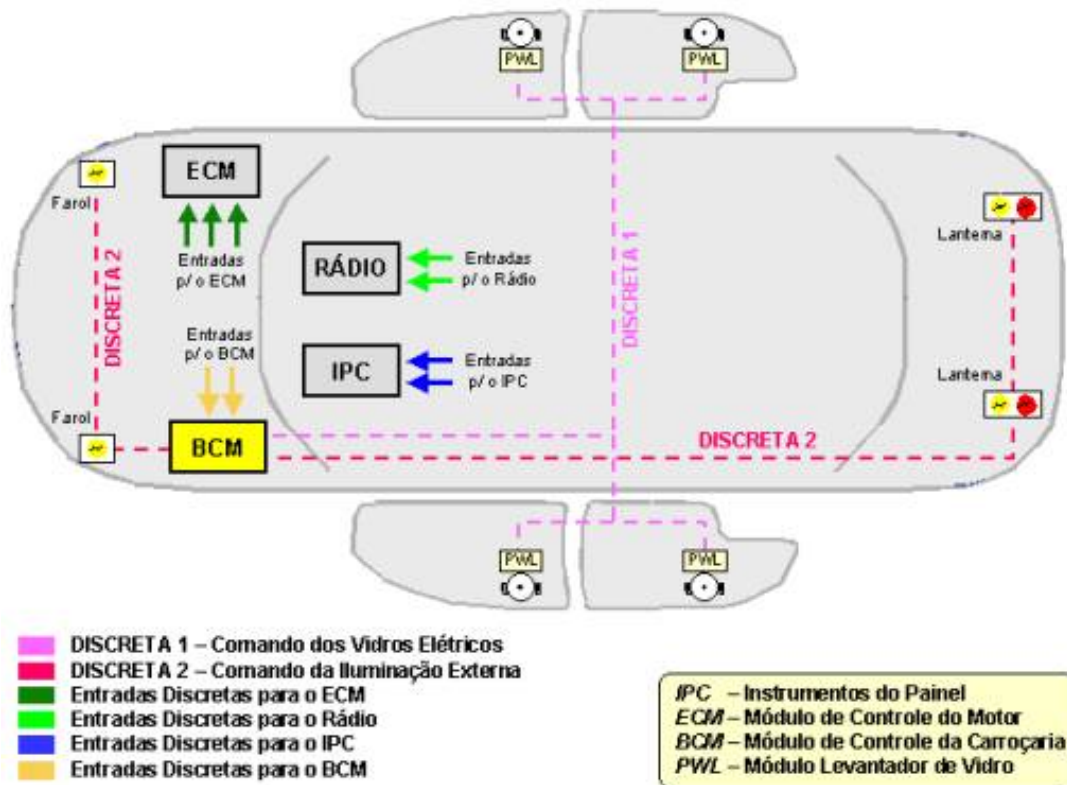
Figura 2.2: ECU Centralizada



(GUIMARÃES, 2007)

Na Figura 2.3, que ilustra a arquitetura eletrônica centralizada de um veículo automotivo, é possível notar que os módulos (BCM, ECM, IPC, PWL e Rádio) não possuem conexão entre si, ou seja, funcionam de maneira autônoma. Não é preciso haver protocolos de comunicação, entretanto as entradas das ECUs chegam por meio de cabos que são dedicados especialmente para cada um destes módulos.

Figura 2.3: Veículo com Arquitetura Centralizada



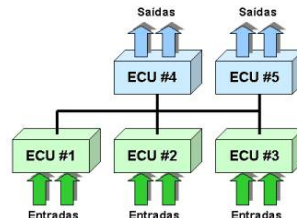
(GUIMARÃES, 2007)

### Arquitetura Elétrica Distribuída

Na arquitetura distribuída, em um sistema veicular há vários módulos que estão conectados e dividem as várias funções do veículo (Figura 2.4). Diferentemente da arquitetura

centralizada, é necessário que haja protocolos de comunicação entre os módulos. Dentre as vantagens pode-se citar a quantidade reduzida de cabos (peso reduzido), maior robustez, escalabilidade. Já as desvantagens são maior custo na produção do veículo e aumento na complexidade do projeto (SANTANA; SANTIAGO, 2014).

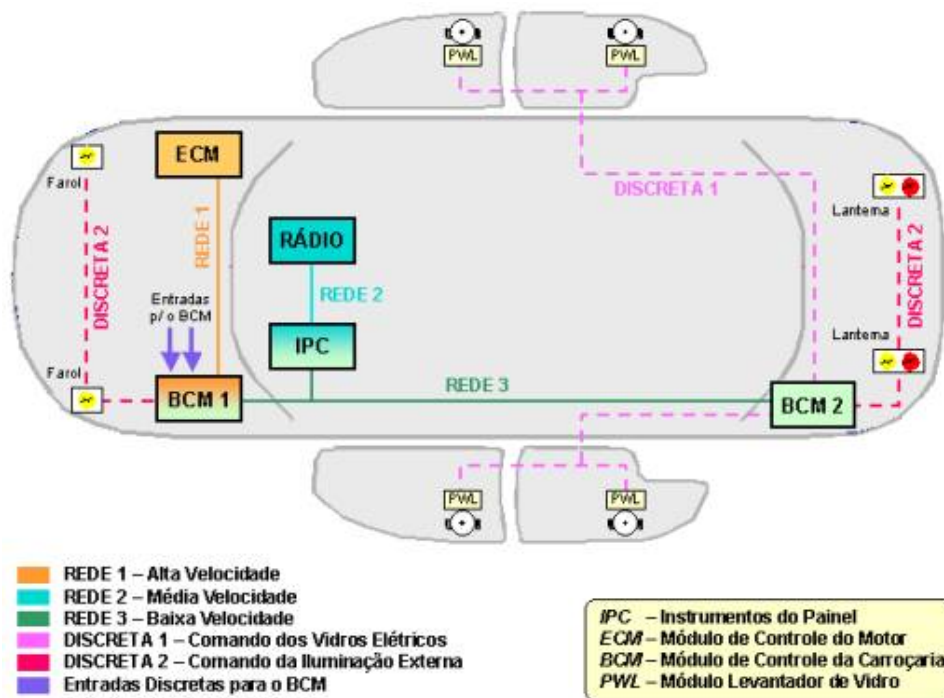
Figura 2.4: ECU Distribuída



(GUIMARÃES, 2007)

A Figura 2.5 apresenta um exemplo de arquitetura distribuída. Nesta configuração os módulos eletrônicos interconectados por redes de comunicação serial, possibilitando o compartilhamento dos dados para as outras ECUs. Diferentemente do que ocorria com arquitetura centralizada, nesta distribuição as entradas comuns são recebidas apenas pelo BCM, e então são disseminadas na rede. O exemplo da Figura 2.5 apresenta quatro redes diferentes, sendo elas Rede CANHS (rede com alta taxa de transmissão), Rede CANMS (rede com taxa de transmissão média), Rede CANLS (rede com taxa de transmissão baixa) e Rede LIN<sup>9</sup> (rede com taxa de transmissão inferior à CANLS) (SANTANA; SANTIAGO, 2014).

Figura 2.5: Veículo com Arquitetura Distribuída



(GUIMARÃES, 2007)

<sup>9</sup>LIN - Local Interconnect Network

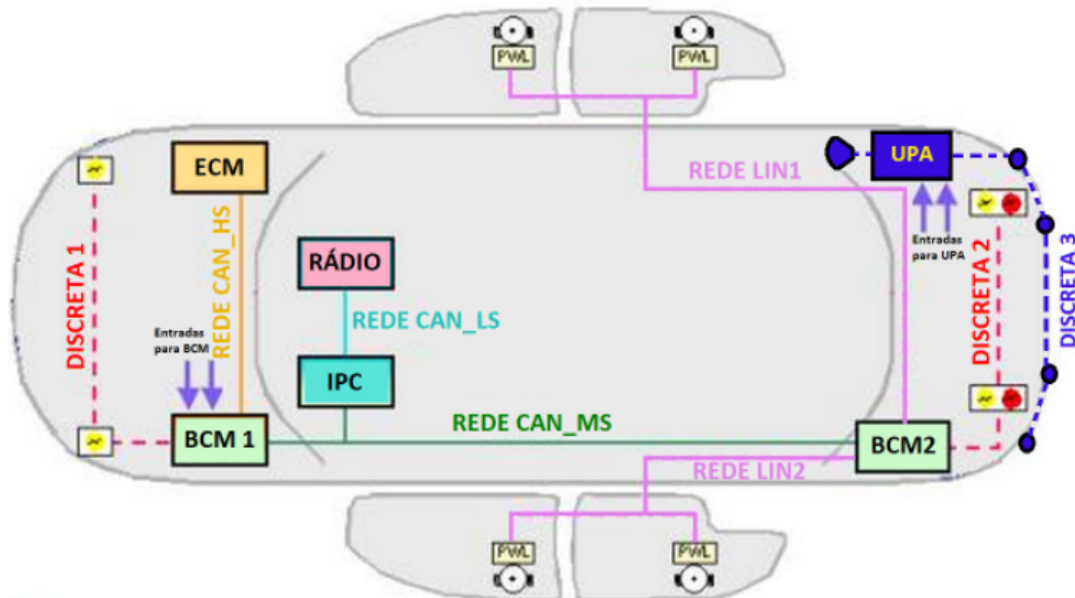
## Arquitetura Elétrica Mista

Nesta arquitetura estão presentes tanto ECUs que operam de maneira autônoma, quanto ECUs que operam interconectados por redes distribuídas. Predominantemente os módulos centralizados representam funções ligadas ao conforto e entretenimento, não necessitando assim de comunicar com os outros módulos do veículo. A vantagem desta arquitetura é a otimização nos custos uma vez que somente os ECUs relevantes nas funções básicas do veículo estarão interligados. As desvantagens estão ligadas com o processo de diagnóstico, sendo que implementação do diagnóstico via DLC (Data Connector Link) fica ao critério da montadora.

Na Figura 2.6, é possível notar que os módulos BCM,ECM,IPC,PWL e Rádio estão interconectados, enquanto o módulo de sensor de estacionamento opera de maneira centralizada.

As informações de entrada também precisam ser enviadas ao sensor de estacionamento, desta forma a rede discreta, que anteriormente estava ligada somente ao BCM, também precisa ser ligada aos periféricos do módulo de sensor de estacionamento.

Figura 2.6: Veículo com Arquitetura Mista



(GUIMARÃES, 2007)

Apesar das desvantagens, devido à demanda por novas funções, a arquitetura distribuída é mais utilizada pelas montadoras. Com a agregação de novos módulos é necessário que a comunicação inter unidades seja aplicada da maneira mais otimizada possível, desta forma o gerenciamento dos dados transmitidos (e recebidos) é feito por protocolos de comunicação.

Nesta seção foram discutidas as arquiteturas que podem estar presentes em um veículo automotivo, na seção de Protocolos de Comunicação será apresentada a maneira com que os diferentes componentes podem estabelecer comunicação e trocar informações para o funcionamento do veículo.

### 2.1.3 Protocolos de Comunicação

Segundo a definição de (TANENBAUM, 2003), protocolo de comunicação é:

“... conjunto de regras que regem o formato e significado dos pacotes ou mensagens que são trocadas por uma camada e sua entidade par em outra máquina. A camada usa protocolos para implementar suas definições de serviço e está livre para alterá-los, desde que não mude o serviço visível para os seus usuários (camadas adjacentes) ”

A *Society of automotive Engineers* (SAE), divide os protocolos de comunicação em grupos que variam de acordo com as características dos protocolos, principalmente taxa de transmissão. Os grupos existentes são: Classe A, Classe B, Classe C, Diagnóstico, Mobile Media, Safety Bus, Drive by-wire. A listagem abaixo apresenta estes grupos e informações sobre cada um deles:

- **Classe A:** É um protocolo que habitualmente está ligado às funções de conforto no veículo e possui taxa de transmissão inferior a 10Kbps. Podem ser citados como exemplos de protocolos dessa classe SINEBUS, 1C, SAE J1708, CCD, ACP, BEAN e LIN.
- **Classe B:** A classe apresenta uma taxa de transmissão que varia de 10kps até 125 Kbp, as aplicações dos protocolos geralmente estão ligadas aos serviços de entretenimento do veículo. Exemplos de protocolo desta área são: SAE J1939, J1859 (classe 2), J1850 SCP e J1850 PCI.
- **Classe C:** Esta está com mais frequência ligada à serviços de sistema de segurança, apresenta taxa de transmissão de 125Kbps a 1 Mbps. Exemplos de protocolos desta classe são: CAN 2.0 ISO 11898, ISO 11519-2 e SAE J139.
- **Diagnóstico:** Protocolos que são utilizados pelos sistemas de On-Board Diagnose, os principais exemplos desta classe são: J1850 Class 2, J1850 SCP, J1850 PCI, ISO 9141 e Keyword 2000.
- **Mobile Media:** Neste caso, os protocolos são utilizados predominantemente em sistemas de multimídia. Exemplos de protocolos são: IDB-C, MOST, MML, USB, IEEE-1394
- **Safety Bus:** Utilizados para sistemas de airbag. São citados como exemplo: BST, Safe By wire, DSI e Byte Fight.
- **Drivee by-wire:** Utilizados por sistemas eletrônicos que substituíram sistemas que anteriormente eram apenas mecânicos (aceleração, direção, ignição). São exemplos de protocolos desta classe: TTP, Flex Ray e TTCAN

Dentre estes protocolos apresentados acima, o protocolo CAN é o mais utilizado em diferentes tipos de serviço, devido à sua grande aplicação ele será estudado mais afundo na próxima seção deste capítulo.

### **Protocolo CAN - Controlled Area Network**

O protocolo CAN, foi apresentado pela Bosh em 1986, em Detroit, em um congresso promovido pela SAE, sendo que os primeiros circuitos CAN começaram a ser comercializados pela Intel e Philips em 1987 (KIENCKE; DAIS; LITSCHER, 1986).

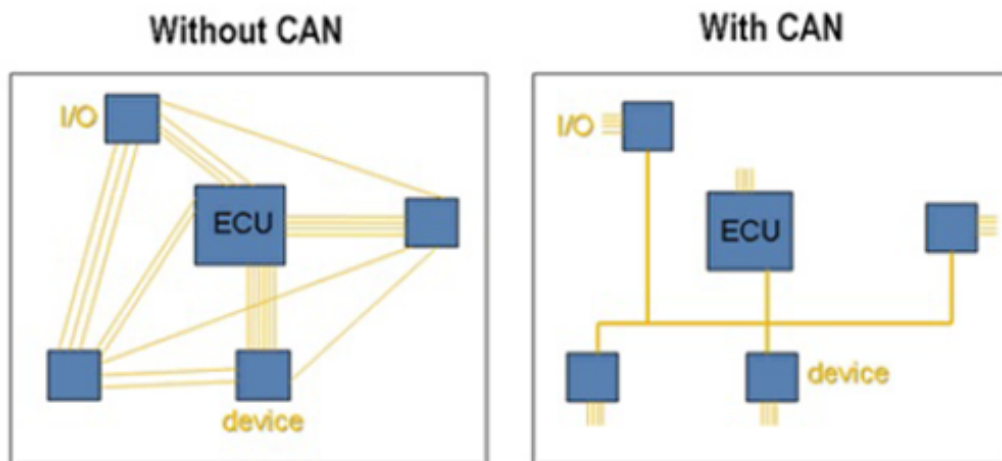
O protocolo CAN é um padrão de comunicação serial síncrono, que opera com o paradigma de multi-mestres, no qual os nós (representados pelas ECUs) podem tanto exercer o papel de mestre, quanto de escravo (KIENCKE; DAIS; LITSCHER, 1986).



É um protocolo baseado em mensagens que não necessita de um gerenciador, já que as mensagens são enviadas multicast (todos os nós existentes na rede recebem as mensagens) (KI-ENCKE; DAIS; LITSCHER, 1986). Caso mensagens precisem ser enviadas simultaneamente, existe um identificador de prioridade, que apenas a mais prioritária continue sendo enviada para todos os módulos da rede.

O protocolo CAN buscava substituir as diversas redes de comunicação que existiam entre os componentes eletrônicos, por uma solução mais leve, simples, eficiente e barata. (CORRIGAN, 2008). A figura 2.7 contém um diagrama que exemplifica a topologia CAN.

Figura 2.7: Sem Rede CAN / Com Rede CAN



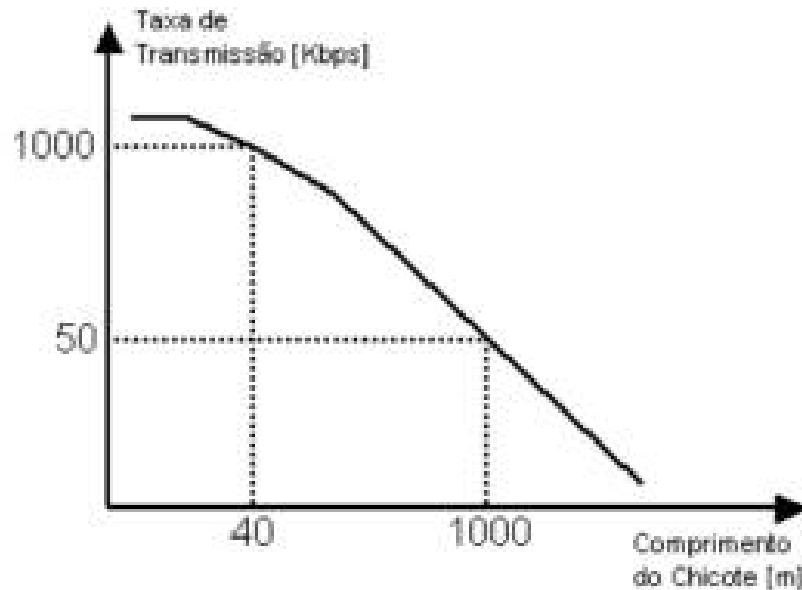
(INSTRUMENTS, 2014)

No ano de 1991 a Bosch publicou as especificações do protocolo CAN 2.0. Devido à sua grande aplicabilidade, em 1992, diversas companhias criaram a “CAN in Automation”, uma organização que busca promover a tecnologia, provendo informativos técnicos, de produto e marketing.

### Especificação Técnica

A maior taxa de transmissão especificada para o protocolo CAN é de 1 Mbits com uma rede com comprimento inferior à 40 m (FARSI; RATCLIFF; BARBOSA, 1999). Porém a velocidade para se transmitir os dados é inversamente proporcional ao comprimento do barramento, nestes casos pode ser interessante abrir mão da alta taxa de transmissão em função de uma rede mais extensa. A Figura 2.8, relaciona a velocidade de transmissão com o comprimento do chicote elétrico.

Figura 2.8: Taxa de Transmissão X comprimento do chicote



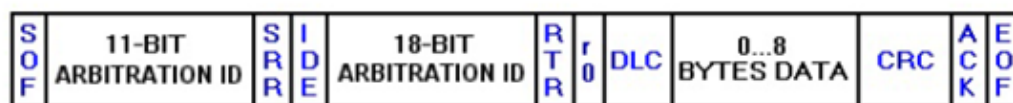
(GUIMARÃES; SARAIVA, 2002)

Os protocolos CAN podem ser classificados de acordo com a taxa de construção e a composição física do chicote (este pode ser composto de um cabo de cobre, 2 cabos de cobre trançados, ou 4 cabos de cobre trançados, que além dos sinais CANHS e CANLS, também conduzem a tensão de alimentação e o aterramento) (CULLER; ESTRIN; SRIVASTAVA, 2004):

- High Speed CAN - possui taxa de transmissão de 1Mbps, composto por um par de fios trançados.
- Low Speed CAN - possui taxa de transmissão de 40kbps a 125 kbps, composto por fio simples.
- Time-Triggered CAN - taxa de transmissão de 1Mbps, composto de par de fios trançados
- High-Speed CAN - taxa de transmissão de 1 Mbps, composto de par de fios trançados
- Frame CAN - O frame de mensagem CAN pode ser configurado com dois padrões diferentes (BARBOSA, 2003), sendo eles:
  - CAN 2.0A - O identificador possui comprimento de 11 bits, sendo possível ter até 2048 mensagens
  - CAN 2.0B O identificador possui 29 bits de comprimento, podendo ter até 537 milhões de mensagens.

A figura 2.9 representa o formato do frame CAN no formato CAN 2.0A.

Figura 2.9: Frame CAN



(INSTRUMENTS, 2014)

- SOF (Start-of-frame): Início de uma mensagem, com valor de bit dominante 0.
- Arbitration ID: Identifica a mensagem e sua prioridade. 11 bits no formato CAN 2.0A e 29 bits no formato 2.0B.
- IDE (Identifier Extension): bit que diferencia entre modos padrão e estendido.
- RTR (Remote Transmission Request): Diferencia entre frames remotos ou de dados. Quando igual a 0, representa um frame de dados, e quando 1, um frame remoto.
- SRR (Substitute Remote Request): Substitui o RTR para no formato de 29 bits
- DLC (Data Length Code): Número de bits contidos no campo de dados
- Data: Contém as informações que deseja se transmitir na mensagem
- CRC (Cicle Redundancy Check): Utilizado para se verificar a integridade na transmissão
- ACK (Acknowledge): Contém a informação de que a mensagem foi recebida sem erros, enviado para a ECU que gerou a mensagem.
- EOF (End of Frame): Delimita o fim da mensagem.

### 2.1.4 Diagnóstico Automotivo

Além da arquitetura e das funções específicas de cada ECU, é importante ressaltar o fato de que todos os módulos eletrônicos presentes no veículo são diagnosticáveis, com o auxílio de ferramentas de engenharia ou softwares próprios.

Segundo Guimarães (2007), diagnóstico automotivo pode ser definido como:

O termo diagnose veicular (ou diagnóstico veicular) representa as funções ou ferramentas que permitem a programação ou verificação do funcionamento de cada módulo eletrônico existente em um veículo. Com o aumento da eletrônica embarcada, passa a ser mandatário o desenvolvimento de dispositivos que, por exemplo, permitam o diagnóstico de falhas eventuais dos sistemas.

Devido à estas necessidades de detecção de problemas no veículo, pode-se classificar as falhas existentes em duas categorias:

- **Off-board Diagnosis** - falhas são identificadas apenas com o auxílio de ferramentas específicas, que são dispositivos que tem a capacidade de se comunicar diretamente com os ECUs do veículo.

- **On-board Diagnosis (OBD)** - Nestas categorias as falhas podem ser identificadas pelo motorista por meio de avisos sonoros, e lâmpadas indicadoras de mal funcionamento (MIL).

Na indústria automotiva o diagnóstico pode ser aplicado de várias maneiras diferentes, a listagem a seguir relaciona as principais modalidades de diagnóstico automotivo.

- **Diagnóstico no final da linha de montagem (EOL)**<sup>10</sup>: Surgiu da necessidade de se flexibilizar a produção de veículos em uma mesma linha de montagem. Nesta abordagem de diagnóstico os carros saem com sistema de hardware e software praticamente iguais, porém, com funcionalidades bem diferentes dependendo da maneira que são instalados. Após a instalação de hardware e software é possível que se faça um diagnóstico completo, permitindo assim que a montadora garanta que o veículo saiu da linha em perfeitas condições de funcionamento. Isso é possível devido à análise dos DTCs. Estes DTCs são incluídos na memória no momento de instalação do software, e permite ao sistema detectar os componentes que não estão funcionando corretamente (BOSCH, 2005).
- **On-board Diagnose** - É basicamente a leitura que o motorista faz das informações contidas no painel de instrumentos. Este sistema busca principalmente informar ao motorista sobre o funcionamento inadequado de algum sistema. Os desafios para se construir um sistema de diagnose eficaz são garantir acesso facilitado às informações, evitar distrações desnecessárias e também que o sinal seja bem dosado (não alertar nem mais, nem menos que o necessário) (BOSCH, 2005).
- **Diagnóstico em Campo** - Este é o diagnóstico feito em oficinas mecânicas, ou concessionárias. Com os aumentos da quantidade e da complexidade dos sistemas eletrônicos, ficou quase impossível que os mecânicos pudessem evidenciar de maneira concisa os problemas do veículo, desta forma foi necessária a criação de um sistema capaz de diagnosticar tais problemas sem a influência do mecânico. Este sistema se divide em duas etapas, a primeira em que o sistema procura a falha, e a segunda que o sistema informa ao mecânico, quais ações devem ser tomadas. Essa evolução no sistema de diagnóstico foi muito importante pois permitiu às montadoras que pudessem praticamente padronizar a qualidade de atendimento em suas oficinas ou concessionárias, cabendo ao profissional apenas seguir os passos descritos pelo software (BOSCH, 2005).

Um ponto importante é a necessidade de padronização das normas e protocolos de diagnóstico, isto visa não só facilitar a verificação pelos órgãos reguladores, mas também melhorar o processo produtivo nas empresas. As principais organizações que trabalham no desenvolvimento de protocolos de diagnose veicular são a ISO e a SAE<sup>11</sup>, ambas trabalham junto às principais montadoras mundiais.

Dependendo do país em que é aplicado o protocolo da interface de diagnóstico pode variar:

- **ISO 9141-2** - utilizado para carros de passeio europeus,

<sup>10</sup>Tradução para o termo em inglês "End-of-line"(EOL)

<sup>11</sup>As montadoras europeias e asiáticas aderem mais aos padrões ISO, enquanto as montadoras americanas utilizam com mais frequência o padrão SAE

- **SAE J1850** - para carros de passeio americanos,
- **KWP 2000** - para carros de passeio e veículos comerciais europeus,
- **SAE J1708** - para veículos comerciais americanos

No Brasil são aceitos os 4 protocolos, e a adoção dependerá do país de origem da montadora.

## **OBD-II**

Nos anos 60 os EUA, preocupados com o aumento da poluição do ar proveniente de veículos automotivos, governantes tomaram medidas que visavam fazer com que as montadoras encontrassem meios de amenizar a emissão poluentes. A nova legislação determinou limites máximo de emissão de gases poluentes por veículo.

Os fabricantes, então, começaram a introduzir diversos dispositivos eletrônicos e mecânicos, que demandavam constante supervisionamento e diagnóstica para a garantia de efetivo funcionamento.

Neste contexto o padrão OBD (On-Board Diagnostic) surge como um padrão proposto para diagnosticar estes novos dispositivos e sistemas utilizados no controle de emissão poluentes(COX, 2006).

O primeiro padrão OBD foi criado em 1988 e ficou conhecido como OBD-I, que estabeleceu que a partir daquela data todos veículos incorporassem em seus sistemas, um mecanismo de diagnóstico capaz de detectar altas taxas de emissão de gases poluentes; e assim ativar um aviso luminoso, que só seria desligado caso os níveis de emissão voltassem ao normal.

Em poucos anos notou-se que o padrão OBD-I não era suficientemente bom já que os veículos passavam pelos testes mesmo que não estivessem aptos para tal. As especificações legais foram atualizadas para a reformulação do sistema de diagnóstico. Surgiu então a norma OBD-II que começou a ser aplicada gradualmente nos EUA e Japão a partir de 1996. Só em 2000 ocorreu a adesão da Europa, onde a norma é conhecida como EOBD <sup>12</sup> (COX, 2006).

Os principais objetivos da OBD são reduzir as emissões provocadas pelos veículos, diminuir o tempo entre a ocorrência de uma falha, a sua respectiva detecção e auxiliar no reparo do defeito. Para o cumprimento destes objetivos, foi determinado que os testes deveriam ser realizados nas unidades eletrônicas de controle, e que também houvesse uma padronização entre as ECUs e os scanners (equipamentos de teste OBD), fazendo com que estes scanners se tornassem equipamentos “genéricos”(COX, 2006).

No que diz respeito ao equipamento de teste (scanners), existem dois modos que são aplicados, o modo genérico e o modo proprietário (NAGY, 2007).

- **Genérico:** Este modo relaciona as aplicações que são especificadas como obrigatórias pela norma OBD-II. Neste caso, equipamentos de terceiros, conhecidos como “scanners genéricos”, devem ter acesso a determinadas informações de diagnósticos. A norma também especifica como as informações devem ser apresentadas e acessadas. O objetivo aqui é disponibilizar o mínimo de informações necessárias para que se possa realizar um diagnóstico de emissão de gases. Atualmente estes scanners genéricos permitem:

– Ter acesso de leitura aos códigos de falha (DTC) presentes na memória.

<sup>12</sup>EOBD - European On Board Diagnostic

- Visualizar as verificações realizadas pelos monitores de diagnósticos
  - Exibir dados sobre o protocolo de comunicação que está sendo utilizado e informações gerais do veículo.
  - Exibir informações sobre o funcionamento do motor.
- **Proprietário:** Também conhecido como “avançado”, este modo diz respeito ao conjunto de informações que o fabricante deseja disponibilizar (fora do padrão estabelecido). O uso de equipamento proprietário permite acessar uma gama maior de dados em relação à genérica, cabe ao fabricante determinar e acrescentar estas informações a serem disponibilizadas. De um modo geral estas informações só podem ser utilizadas pelo próprio scanner fabricado pela montadora, ou por meio de outro equipamento que emule o funcionamento do scanner proprietário (DIEM, 2003).

A interação do scanner com o veículo é feita por meio do DLC (Data Connector Link). A sua posição no veículo pode variar de montadora, porém este sempre se encontra em algum ponto do painel. No caso da FIAT, por exemplo o DLC se encontra no painel do lado esquerdo do motorista, como apresentado na Figura 2.10

Figura 2.10: Posição do conector OBD no Punto



Fonte: Autor

Já em carros de outras montadoras os DLCs podem estar em lugares diferentes como dentro do compartimento “porta-luvas”, por exemplo (Figura 2.11)

Figura 2.11: Posição do conector OBD



Fonte: Autor

A partir da última revisão, realizada em 2004, ampliou-se as exigências para um monitoramento mais detalhado, atualmente é exigido que o padrão OBD-II garanta acesso aos seguintes componentes:

- Conversor Catalítico aquecido
- Falhas na combustão
- Sistema de redução de evaporação
- Injeção de ar secundário
- Sistema de Combustível
- Sensores de oxigênio
- Recirculação de gás de escapamento
- Ventilação de cárter
- Sistema de Arrefecimento
- Sistema de redução de emissão durante partida a frio
- Condicionador de ar
- Sincronização de válvula variável
- Sistema de redução direta de Ozônio
- Filtro de particulados

- Componentes Abrangentes
- Outros componentes relacionadas à emissão

Na prática, os scanners vendidos têm acesso a seis grupos de variáveis que tem como objetivo garantir a análise dos componentes listados acima. Os seis grupos de variáveis são “Controle”, “Motor”, “Combustível”, “Pressão”, “Temperatura”, “Outras Varáveis”. Abaixo segue a lista de variáveis relacionadas a cada grupo:

- Controle
  - Module Voltage (tensão em que o módulo está operando)
  - Distance MilOn (distância percorrida com avisos luminosos ligados)
  - DTC Number (número identificador do DTC)
  - Trouble Code (código da falha, atua em conjunto com o código do DTC)
- Motor
  - RPM (rotações por minuto)
  - RunTime (tempo em funcionamento)
  - Mass Air Flow
  - Throttle Position
- Combustível
  - Fuel Type
  - Consumption Rate
  - Fuel Level
  - Air Fuel Ratio
  - Oil Temp
- Pressão
  - Barometric Pressure
  - Fuel Pressure
  - Fuel Rail Pressure
  - Intanke Mainfold Pressure
- Temperatura
  - Air Intanke Temperature
  - Ambient Air Temperature
  - Engine Coolant Temperature
- Outros



– Velocidade

Das vinte e uma variáveis citadas acima, duas delas, “DTC Number” e “Trouble Code”, se referem aos códigos de falha. A primeira representa o número identificador do DTC, enquanto a segunda contém informações adicionais sobre um determinado erro.

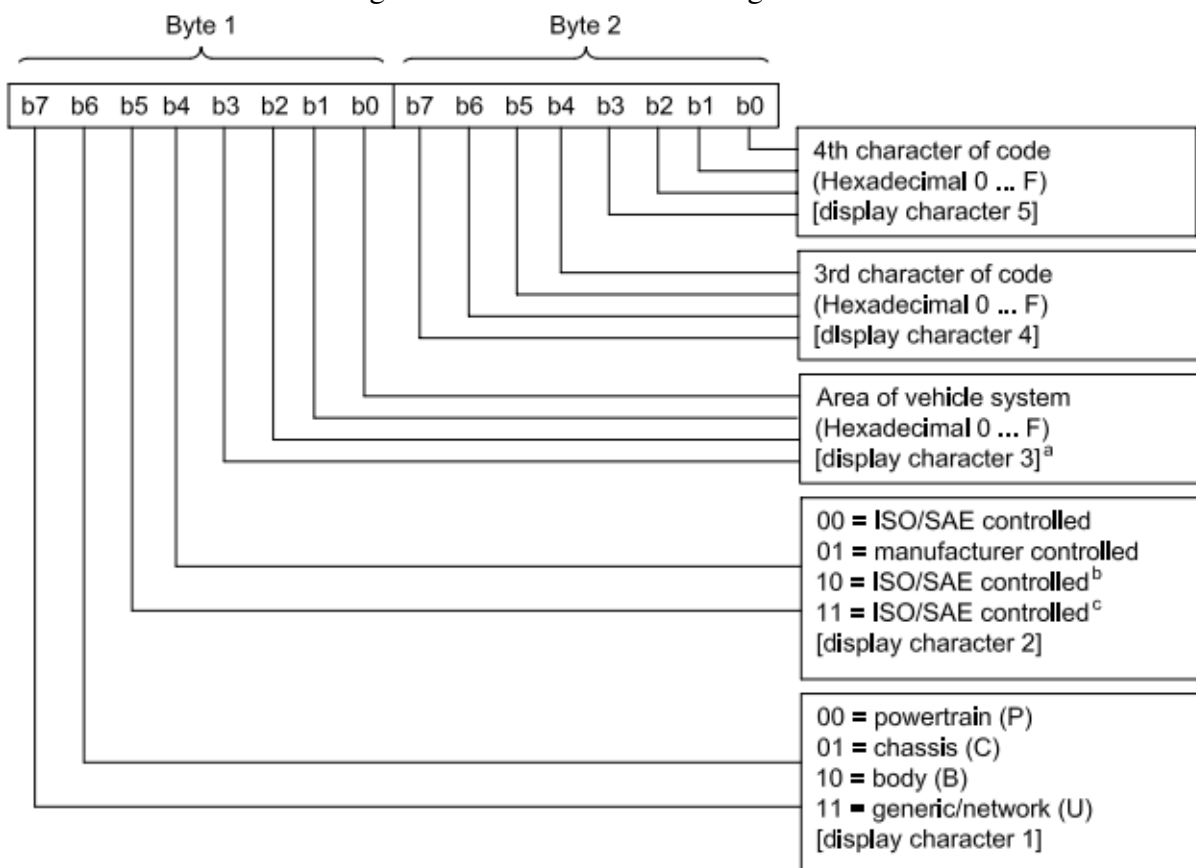
A seção a seguir, apresenta os conceitos relativos aos códigos de Falha

### DTC - Diagnostic Trouble Code

Os códigos de falha (DTC) são pré-definidos pelas montadoras, memorizados nos módulos eletrônicos que permitem que sejam identificadas falhas nos sistemas veiculares (BOSCH, 2005).

O formato do diagnóstico de veículo é padronizado pelo ISO 15031-6 (STD, 2005), para o formato de códigos de falha o documento recomenda que as falhas sejam divididas em quatro grupos diferentes, sendo eles: body (B0 - B3), chassis (C0 -C3), powertrain (P0 -P3) e network communication (U0 - U3). Desta forma as mensagens se iniciam com estes códigos, seguidos por 3 dígitos que especificam o problema detectado (MORI, 2014). A Figura 2.12, ilustra o formato da mensagem DTC.

Figura 2.12: Formato da Mensagem DTC



(STD, 2005)

A ISO/SAE, controla parte das combinações disponíveis, sendo que os códigos de X000 <sup>13</sup> a X0FFF são padronizados e consequentemente iguais para todas as montadoras. Os códigos X3000 a X3FFF estão reservados para aplicações futuras e só poderão ser utilizados se forem aprovados. Já os códigos que se encontram entre X1000 a X2FFF estão sob controle das montadoras.

Os códigos iniciados com a letra B, cobrem funções que geralmente estão ligadas ao ambiente interno, e buscam prover assistência, conforto e segurança aos ocupantes do veículo.

Os sistemas ligados ao chassi (C) são funções que geralmente estão ligadas a sistemas mecânicos como freio, suspensão, direção e outros componentes como luzes de freio, faróis e abertura de portas.

Os códigos iniciados com a letra U, se referem a falhas no sistema de comunicação do veículo, geralmente são problemas ligados à comunicação entre as ECUs do veículo.

Por fim, os códigos relacionados com a letra P, se referem a falhas ligados ao funcionamento do motor do veículo, como por exemplo, transmissão, caixa de marchas, tração, bem como o funcionamento interno do próprio motor.

A Tabela 2.1, representa os códigos DTC relacionando-os com os sistemas que representam.

---

<sup>13</sup>nestes exemplos a letra X pode ser substituída por B,C,P ou U

Tabela 2.1: Códigos DTC. Fonte: (BOSCH, 2005)

Código	Componente	Código	Componente
P0010-P0025	Sensor de Posição Camshaft	P0620-P0650	Controle de Indicadores Luminosos
P0030-P0064	Sensor de O2	P0700-P0714	Transmissão
P0065-P0074	Sensor de Temperatura	P0715-P0728	Sensor de Velocidade
P0100-P0114	Fluxo de Ar	P0730-P0736	Marcha
P0115-P0119	Motor de Refrigeração	P0737-P0744	Torque
P0120-P0127	Sensor do Pedal de Aceleração	P0745-P0749	Controle de Pressão
P0128-P0167	Sensor de O2	P0751-P0744	Mudança de Solenóide
P0168-P0194	Combustível	P0818-P0835	Troca de Marcha
P0195-P0199	Temperatura do Óleo	P0840-P0849	Pressão do Fluido da Transmissão
P0200-P0212	Circuito Injetor	C0035-C0051	Velocidade do Roda
P0213-P0219	Ligamento	C0060-C0161	ABS
P0220-P0229	Sensor do Pedal de Aceleração	C0221-C0238	Velocidade da Roda
P0230-P0260	Injeção de Combustível	C0241-C0273	EBCM
P0261-P0313	Cilindro	C0290-C0357	Sensores de Chassi
P0320-P0334	Ignição	C0472-C0504	Assistente de Direção
P0335-P0349	Sensor de Posição Camshaft	C0563-C0594	Faróis
P0350-P0369	Ignição	C0620-C0628	Sensores de Posição
P0370-P0408	Recirculação de Gases de Escape	C0655-C0693	Amortecedor
P0410-P0422	Injeção Secundária de Ar	C0750-C0765	Pressão do Pneu
P0425-P0439	Sensor de Temperatura	U0001-U0027	Comunicação CAN
P0440-P0457	Controle de Emissão	U0028-U0073	Comunicação do Veículo
P0460-P0464	Sensor de Nível de Combustível	U0140-U0235	Perda de Comunicação
P0470-P0479	Controle de Pressão	U0301-U0331	Incompatibilidade de Software
P0500-P0503	Sensor de Velocidade	U0400-U0431	Recepção de Dados Inválidos
P0505-P0509	RPM		
P0513-P0517	Temperatura da Bateria		
P0520-P0534	Pressão do Óleo do Motor		
P0564-P0581	Controle de Cruzeiro		

Esta normalização dos códigos de falha será utilizada na solução do problema, auxiliando identificação de um determinado grupo de erros; permitindo que o sistema possa categorizar as falhas ligadas a motor ou multimídia, e assim sugerir ações paliativas ao motorista.

Neste capítulo, foram estudados os temas ligados à tecnologia automotiva, demonstrou-se conceitos sobre as unidade eletrônicas de controle (ECU), arquitetura automotiva, protocolo de comunicação, até conceitos ligados à diagnóstico automotivo que são, neste capítulo, o foco do estudo desenvolvido.

A seção “Mineração de Dados”, contém os estudos ligados a algoritmos de classificação, que foram utilizados para o desenvolvimento do classificador de palavras ditas (ou escritas) pelos clientes.

## 2.2 MINERAÇÃO DE DADOS

Com a evolução da tecnologia e aumento da conectividade os dados que são gerados a partir de interações entre pessoas ou empresas ganharam em importância. São fontes para os objetivos mais variados possíveis, desde o marketing direcionado, predição de eventos, ou até

espionagem. Devido a esta grande demanda de informação surgiu a Mineração de Dados, que é uma análise matemática que objetiva gerar novas informações a partir de padrões em grandes quantidade de dados (WITTEN et al., 2016).

Diariamente é coletada uma vasta quantidade de dados no mundo (dados gerados em redes sociais, páginas de internet, informações obtidas a partir dos smartphones, dentre outras fontes); a análise deste montante de dados se tornou um nicho muito importante de trabalho. Empresas podem, a partir dos dados coletados dos seus clientes, definir alguns perfis de compra, necessidades de mercado, ou até como no caso de empresa de hipermercados “Target”(HILL, 2012), que, pelo caminho percorrido pelas suas clientes, a empresa conseguia prever com um determinado grau de acerto se a mulher estava grávida, ou não.

Esta seção irá apresentar as técnicas de mineração de dados que foram utilizadas nos experimentos realizados neste projeto. As técnicas foram divididas em classificação, regras de associação e clusterização.

### 2.2.1 Classificação

Classificação em mineração de dados é uma maneira de se extrair modelos a partir de classes de dados. Estes modelos são conhecidos como classificadores e possibilitam prever classes de dados (HAN; KAMBER; PEI, 2011).

Em alguns exemplos como a classificação de doenças cancerígenas, nas quais o médico precisa classificar os tipos de câncer para entender como tratar a doença, ou em um caso, por exemplo, de uma empresa de marketing que precisa definir o perfil dos clientes para direcionar a propaganda, são usadas técnicas de classificação, nas quais os classificadores foram gerados para prever as classes (como “tratamento A”, “Tratamento B”, ou “perfil A”, “perfil B”) (HAN; KAMBER; PEI, 2011).

Estas categorias são representadas por valores discretos, ou em valores contínuos, se por exemplo, o agente de marketing procura definir quanto um determinado grupo de pessoas pode gastar no produto.

As técnicas de classificação geralmente se dividem em duas etapas, a primeira conhecida como treinamento (learning step) e a segunda de classificação (classification step) (FAYYAD et al., 1996).

Na etapa de classificação o classificador é construído com base nos algoritmos que relacionam os dados de entrada (training set), e criam as relações e tuplas, que serão utilizadas para associar um determinado grupo de dados à classe que representam.

Há dois tipos de treinamentos (o supervisionado, no qual o algoritmo precisa saber a quais classes pertencem cada entrada), e o não supervisionado (no qual o algoritmo de treinamento de criar as relações, por meio de técnicas de clusterização) (FAYYAD et al., 1996).

Dentre as principais técnicas de classificação existentes, neste trabalho optou-se por se trabalhar especificamente com Árvore de Decisão e Redes Neurais.

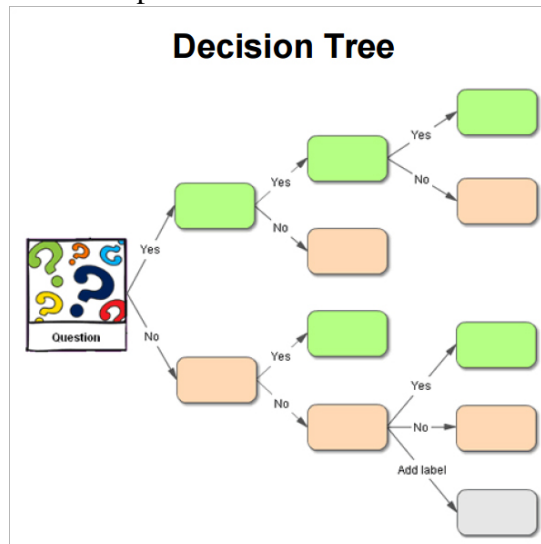
### Árvore de Decisão

Árvores de decisão são como fluxogramas com estrutura de árvore, onde cada nó representa uma decisão que levará a outro nó dependendo do valor atribuído. O nó mais “alto” da árvore é conhecido como nó raiz, enquanto os nós mais “baixos” representam os nós folhas (HALL; WITTEN; FRANK, 2011) (CHO; KIM; KIM, 2002).

Dada uma tupla e um conjunto de regras associadas aos branches (decisões a serem tomadas em cada nó), os valores são testados nó a nó em um caminho que se inicia do nó raiz até um determinado nó folha que atenda às restrições da tupla. Desta forma, árvores de decisão podem facilmente ser convertidas em regras de classificação.

A Figura 2.13 representa um exemplo da estrutura de uma árvore de decisão para um problema de classificação.

Figura 2.13: Exemplo da estrutura de uma árvore de decisão



Fonte: (SAMPLETEMPLATE, 2017)

As árvores de decisão são populares, entre outros motivos, pelo fato de suas representações do conhecimento adquiridos serem intuitivas e geralmente fáceis de assimilar. Entretanto, o sucesso da classificação depende dos dados que se deseja analisar. Se as relações forem muito complexas, esta técnica pode não ser a melhor opção a ser escolhida (HAN; KAMBER; PEI, 2011).

## Redes Neurais

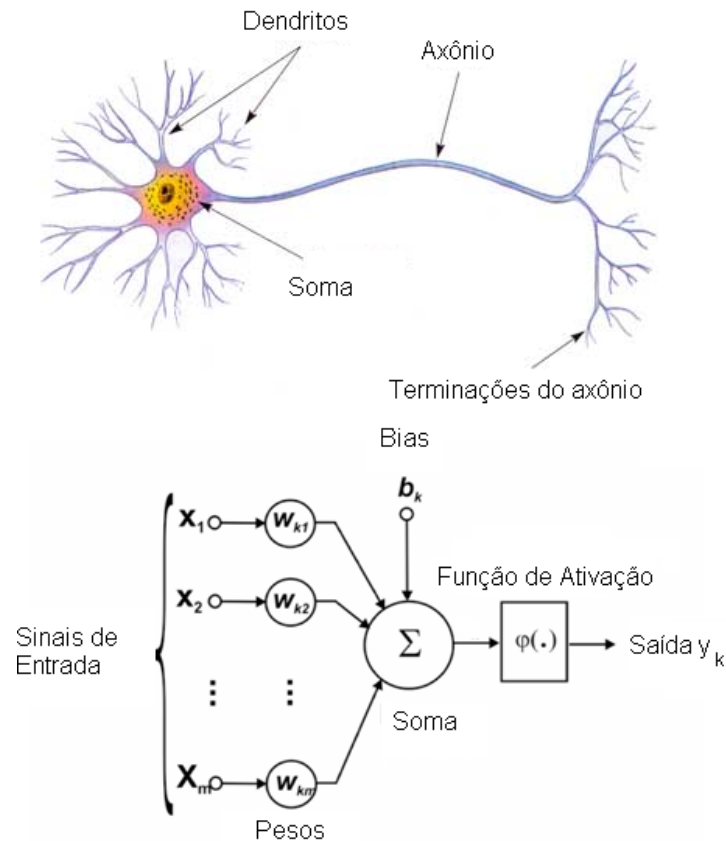
Uma rede neural pode ser definida da seguinte maneira:

“... é um processador maciçamente e paralelamente distribuído constituído de unidades de processamento simples, que têm a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso. Ela se assemelha ao cérebro em dois aspectos: 1) o conhecimento é adquirido pela rede a partir de seu ambiente através de um processo de aprendizagem. 2) forças de conexão entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, são utilizados para armazenar o conhecimento adquirido.”(HAYKIN, 2000)

A capacidade de aprender das redes neurológicas está na eficiência de conexão das células pré-sinápticas e pós-sinápticas (HEBB, 1949). Em computação, a técnica de redes neurais é inspirada no sistema biológico e tem como objetivo descobrir uma resposta ou função de saída a partir de um número finito de entradas (HAYKIN; NETWORK, 2004).

A Figura 2.14 ilustra o neurônio biológico, em que os dendritos têm a função de receber estímulos de outros neurônios que são somados ou somatizados e o axônio é quem transmite estímulos para outras células. Também ilustra o modelo computacional de rede neural, onde o peso indica a influência do sinal de entrada antes da soma, as bias têm a função de aumentar ou diminuir a influência do valor das entradas, a soma produz um nível de atividade, que poderá ser limitada pela função de ativação na saída  $y_k$ . (HEBB, 1949)

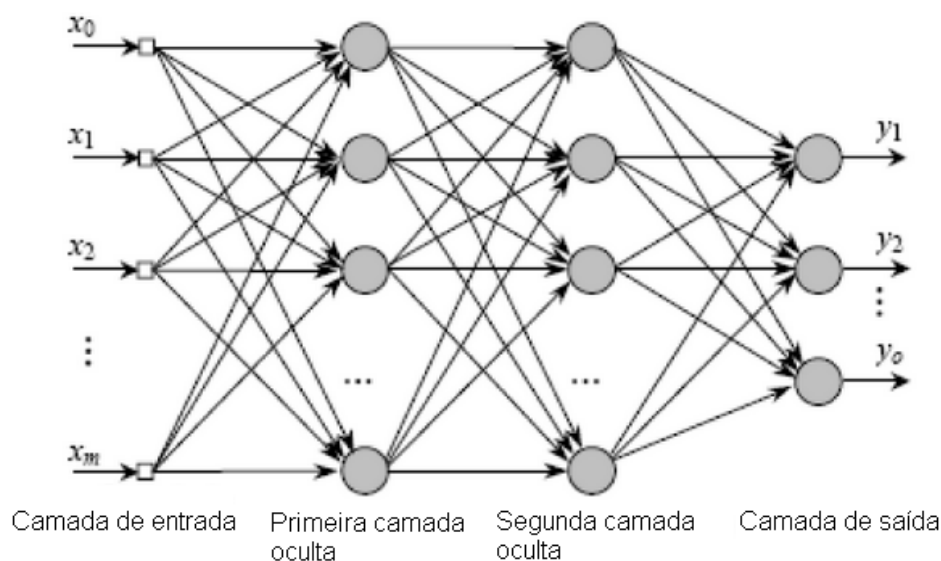
Figura 2.14: Semelhança entre neurônio e modelo de computação de rede neural



**Fonte:** Autor

Uma rede neural de apenas uma camada não é capaz de solucionar problemas linearmente separáveis (MINSKY; PAPERT, 1969). Já uma rede de neurônios Perceptron Multi-Camadas tem a capacidade de generalizar informações incompletas, associar armazenamentos e processar informações simultâneas com alta velocidade no processamento. A Figura 2.15 ilustra uma rede neural tipo MLP (Multilayer Perceptron).

Figura 2.15: Rede neural multi-camadas ou MLP



**Fonte:** Autor

Na MLP pode haver uma ou mais camadas ocultas ou intermediárias, onde é feita a maior parte do processamento através de conexões ponderadas (NORVIG; RUSSELL, 2014). Segundo (HAYKIN; NETWORK, 2004), o excesso de neurônios na camada oculta pode sobreajustar os dados (overfitting). Já quando há poucos neurônios podem não conseguir realizar o mapeamento desejado (underfitting). A eficiência de uma rede neural multi-camada depende da especificação da arquitetura da rede, da função de ativação, da definição da regra de aprendizagem, dos pesos e valores iniciais arbitrados (NORVIG; RUSSELL, 2014).

Uma rede neural tipo MLP pode ser eficientemente treinada utilizando-se o algoritmo denominado backpropagation (NORVIG; RUSSELL, 2014). Neste método um padrão é apresentado na entrada e se desloca camada por camada até a saída (Forward). Através de um processo supervisionado, a saída obtida é comparada à saída ideal desejada e então é gerado um erro. O erro gerado é propagado à entrada (backward) e os pesos nas camadas internas vão se alterando. Este processo se repete até obter-se o padrão apresentado na entrada e o critério de parada seja executado.

A atualização dos pesos pode ser local ou em lote (NORVIG; RUSSELL, 2014). A atualização local é feita após cada amostra de entrada, e exige menos armazenamento para a conexão. Possibilita menor probabilidade de convergência para um mínimo local. Na atualização dos pesos em lote, primeiramente, todas as amostras de entrada são processadas, o ajuste relativo de cada amostra é acumulado e permite melhor aproximação do valor desejado.

### Regras de Associação

O principal intuito da associação é encontrar elementos que tenham relações padrões frequentes, ou seja a um determinado objeto deve implicar na presença de outro objeto (VASCONCELOS; CARVALHO, 2004).

As regras de associação foram propostas por Agrawal em 1993 (AGRAWAL; IMIELNISKI; SWAMI, 1993), a partir de então tornou-se um modelo extensivamente estudado por pesquisadores de banco de dados e mineração de dados. Uma premissa do modelo é assumir que

todos os dados são categorizáveis, sendo que este modelo não apresenta resultados satisfatórios para dados numéricos.

Esta abordagem foi inicialmente utilizada para Análise de Cestas de Mercado (BRIN et al., 1997), com o intuito de encontrar quais produtos estavam relacionados entre si; ou seja, qual seria a chance, por exemplo, de um cliente comprar leite, uma vez que já tenha comprado pão?

Como resultado, as regras de associação definem um conjunto de implicações que determinam como se dá a relação entre determinados membros daquele conjunto de dados. Dentre os vários algoritmos de associação, neste trabalho será estudado o algoritmo Apriori (AGRAWAL; SRIKANT et al., 1994).

**A priori** O algoritmo Apriori foi proposto por Agrawal e Srikant em 1994 (AGRAWAL; SRIKANT et al., 1994), com o objetivo de minerar relações entre conjuntos de itens frequentes com base em regras de associação booleanas. O nome do algoritmo se deve ao fato de usar apenas a frequência, sem conhecimento anterior do conjunto de dados. É um dos algoritmos mais utilizados em mineração de dados por associação (HAN; KAMBER; PEI, 2011).

A abordagem aplica uma busca em profundidade, e vai gerando conjuntos de itens frequentes a partir dos itens já analisados. A cada nova iteração os dados analisados são alocados nos conjuntos, ou os conjuntos menos frequentes são eliminados. No final da busca, o resultado são os conjuntos rastreados com os itens mais frequentes (HAN; KAMBER; PEI, 2011).

Após a obtenção dos conjuntos com itens mais frequentes, o algoritmo cria as regras de associação com base no dado de confiança mínima. A criação é feita com a comparação dos itens mais frequentes entre os subconjuntos criados.

## **Clusterização**

A clusterização de um conjunto de dados é a divisão destes dados em agrupamentos que sejam mais parecidos entre si. Pode também ser definido como um problema de classificação não supervisionado, já que a estrutura e as propriedades dos dados são desconhecidas. Por não existir uma classificação prévia, o foco da abordagem é encontrar organizações que sejam válidas (HAN; KAMBER; PEI, 2011).

O processo de clusterização pode ser dividido em quatro etapas, sendo elas: Seleção de variáveis, Similaridade entre os dados, Clusterização e Avaliação (OCHI; DIAS; SOARES, 2004).

Na etapa de Seleção das variáveis, os dados são analisados e algumas variáveis podem ser eliminadas (caso todos os valores sejam iguais, por exemplo). Os dados e as variáveis relevantes são organizados em forma de matriz que relaciona a quantidade de dados e o número de atributos. A posição na tabela corresponde a um dado de acordo com seus atributos, e a tarefa a seguir é classificar quais pontos estão mais próximos entre si (OCHI; DIAS; SOARES, 2004).

Na análise da similaridade entre os dados é criada uma medida de similaridade, desta forma é possível quantificar, o quão parecido é um dado de outro. Normalmente a medida de similaridade é representada pela distância euclidiana dos dados (OCHI; DIAS; SOARES, 2004).

A clusterização dos dados é feita de acordo com a medida de similaridade, esse agrupamento dos dados pode ocorrer de duas formas: abordagens hierárquicas (agrupamento dos



dados é gradual), ou abordagens de particionamento (o agrupamento é feito uma única vez) (OCHI; DIAS; SOARES, 2004).

Na etapa de avaliação a clusterização criada é avaliada por meio de dados estatísticos, ou até com a utilização de outras técnicas de clusterização. Esta etapa pode levar tanto ao resultado final do algoritmo, como a uma nova iteração com o objetivo de melhorar a qualidade dos agrupamentos.

Para este projeto o algoritmo de clusterização escolhido foi o K-means.

**K-means** O algoritmo foi proposto por (MACQUEEN et al., 1967), é um dos algoritmos mais utilizados para problemas de agrupamento.

K-means utiliza-se de uma heurística de agrupamento não hierárquica, basicamente a abordagem tem como objetivo minimizar a distância euclidiana dos indivíduos de um conjunto dos centros de outros conjuntos definidos. O algoritmo depende principalmente do parâmetro de quantos conjuntos devem ser criados a partir dos dados. A quantidade de grupos escolhida pelo usuário é geralmente o problema de maus resultados do K-means (SEIDEL et al., 2008).

A seção de “Estudo da Técnica e Estudo da Arte”, discute questões ligadas à produção acadêmicas e tecnologia aplicadas nos veículos (no âmbito nacional e internacional).

## 2.3 ANÁLISE DE TRABALHOS CORRELATOS

A análise do estado da arte foi dividida em duas etapas, a primeira focada no mercado automobilístico, e a segunda uma análise das publicações acadêmicas relacionadas à área de diagnóstico automotivo.

Esta divisão foi necessária já que no ambiente industrial as novas tecnologias não são divulgadas, como ocorre com as pesquisas acadêmicas; desta forma um indicativo do estado da técnica é o que, de fato, as montadoras entregam aos seus clientes.

Um outro objetivo desta abordagem é detectar a defasagem entre os serviços oferecidos nos carros mais luxuosos em detrimento ao que se encontra em veículos populares. Normalmente as novas tecnologias migram de carros mais luxuosos para veículos populares, portanto, incluir veículos de alta gama no estudo é uma forma de apontar uma tendência de mercado.

A análise do estado da técnica, com foco no comércio automobilístico permitiu delimitar os pontos em que o Brasil está atrasado em relação à tecnologia oferecida nos mercados mais avançados no exterior. Desta comparação o resultado foi encontrar quais áreas estavam mais distantes da realidade no exterior, e assim, definir qual área seria escolhida para o focar o trabalho de mestrado, contudo a área escolhida para estudo foi diagnóstico automotivo.

### 2.3.1 Estado da Técnica

Com o desenvolvimento deste trabalho busca-se atender a uma necessidade tanto de clientes que desejam um melhor aproveitamento do produto que adquiriram, como das montadoras que buscam melhorar seus processos produtivos e de pós-venda.

Esta necessidade citada acima faz parte de uma série de requisitos que estão surgindo com a evolução tecnológicas do carro. Assim como ocorreu com os celulares, que evoluíram para *smartphones*, as montadoras terão de se adequar aos novos requisitos vindos dos consumidores. O cliente procura por tecnologia e segurança em seu veículo, os sistemas de conectivi-

dade, e principalmente de ADAS <sup>14</sup>, ganham em importância e são atualmente características analisadas na hora da compra.

O Apêndice B apresenta um comparativo entre os veículos nacionais, o carro comercializado no exterior com mais opções tecnológicas da montadora financiadora, e o Tesla Model S (Tesla é uma das empresas mais avançadas em tecnologia automotiva no mundo).

Nessa pesquisa as tecnologias foram divididas em quatro áreas: ADAS, Conectividade, Multimídia e Conforto.

O conceito de ADAS está ligado ao termo “segurança”, ou seja, sempre que o sistema objetivar trazer mais segurança ao condutor, será enquadrado nesta classificação. Conectividade está ligado a ideia de “serviços”, sendo sistemas que buscam facilitar a vida do motorista, melhorar algumas atividades, ou prever problemas que não influam na segurança, mas no tempo do cliente (dispositivos conectados que alertam sobre engarrafamentos em um determinado caminho). Já Multimídia refere-se à ideia de entretenimento do motorista. Por fim, estão os sistemas que buscam apenas garantir mais conforto aos seus usuários.

A ideia da pesquisa era verificar se as tecnologias em questão já haviam, ou não, chegado no Brasil. Então se UM veículo nacional já apresentava determinada característica era assinalado que a tecnologia já existia, entretanto, no caso da interface de voz, por exemplo, estava presente apenas no Punto, no Bravo e no Ford Ká+, e mesmo assim não em todas as suas versões.

A constatação desta pesquisa é que em relação aos sistemas ADAS, as marcas nacionais não estão tão atrasadas, e a maioria dos veículos nacionais também contam com estes sistemas. Porém, nas áreas de conectividade, multimídia e conforto os veículos nacionais estão atrasados se comparados com os veículos comercializados no exterior.

No ramo de conectividade e multimídia há uma tendência de que nos próximos anos os carros não estejam apenas conectados com a internet, mas também entre eles. O surgimento desta nova tecnologia permitirá que serviços ligados à direção cooperativa (troca de informação entre os veículos) melhorem a execução do trajeto. Por exemplo, em um carro autônomo seria interessante que o carro da frente, ao detectar uma curva acentuada (acidente, ou qualquer outro problema na pista), pudesse avisar aos carros que vem atrás, e estes se preparassem para efetuar suas ações (BENGLER et al., 2014), (WOLZ, 2015).

### 2.3.2 Estado da Arte

Esta análise das publicações acadêmicas relacionadas ao diagnóstico automotivo, foi feita na forma de uma revisão sistemática da literatura e publicada no VII Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering -SBESC 2017- (OLIVEIRA; WEHRMEISTER; OLIVEIRA, 2017).

A revisão sistemática é uma interpretação avaliativa das publicações mais relevantes para uma determinada pesquisa, ou fenômeno, pelo qual o pesquisador tem interesse (KITCHENHAM, 2004). O objetivo geral de uma revisão sistemática é permitir efetuar uma revisão de trabalhos científicos para agregar conceitos a um tema. Por meio de critérios de análise, a revisão sistemática permite avaliar a qualidade dos trabalhos.

O objetivo da revisão sistemática é identificar quais são as técnicas e problemáticas mais comuns em **diagnóstico automotivo**, e assim determinar novos desafios que podem ser

---

<sup>14</sup>ADAS - Advanced Driver Assistance System (Sistemas Avançados de Assistência ao Motorista)

abordados. Mais detalhes desta revisão sistemática são apresentados no Apêndice B. O estudo foi conduzido para que fossem respondidas as seguintes questões:

QP1 - Quais os principais desafios no diagnóstico automotivo?

QP2 - Quais são os métodos mais utilizados?

QP3 - Quais as dificuldades encontradas nestes métodos?

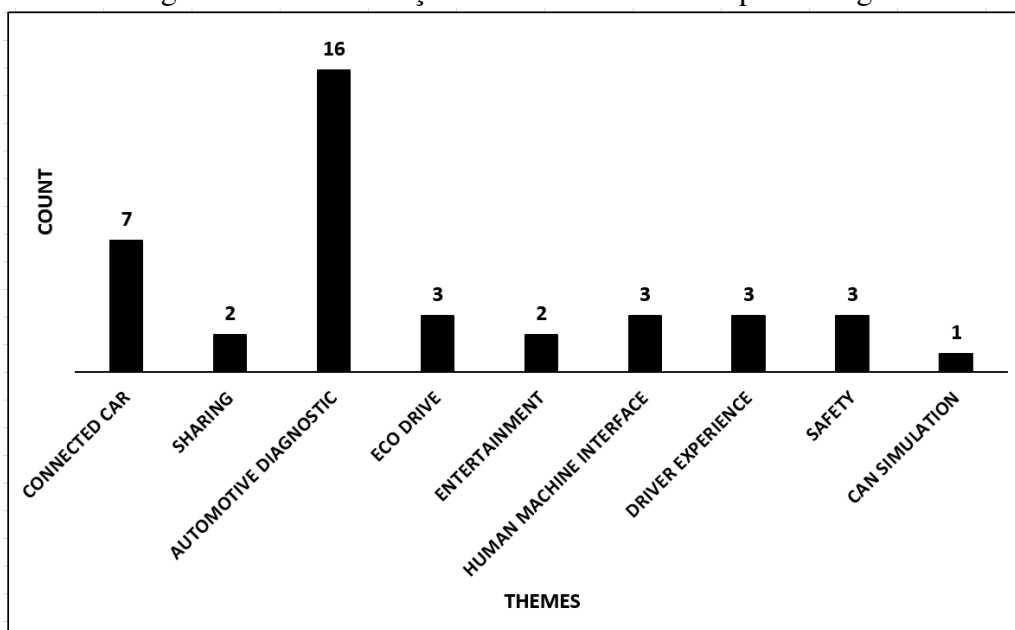
QP4 - Quais problemáticas ainda devem ser discutidas em diagnóstico automotivo?

Nas próximas seções as questões de pesquisa serão respondidas com base no que foi pesquisa por meio da revisão sistemática (Apêndice B).

### Principais desafio no diagnóstico automotivo

A Figura 2.16 ilustra por meio do histograma a distribuição dos artigos em relação aos temas que abordam.

Figura 2.16: Distribuição dos temas abordados pelos artigos



Fonte: Autor

Entre os 40 artigos estudados, o principal desafio que os pesquisadores se dedicavam é uma maneira de efetuar um diagnóstico automotivo mais consistente. Apesar do tema já ser debatido durante muito tempo, pesquisadores ainda buscam novas formas de efetuarlo. Isso foi presente em 40% (16 dos) artigos (GAO; WU, 2014) (CHEN; CHEN; LU, 2011) (VARRIER; KOENIG; MARTINEZ, 2012) (TANG et al., 2013) (HANDEL et al., 2014) (POSTOLACHE; NEAMTU; TROFIN, 2013) (YUN; LEE et al., 2014) (CHEN, 2011) (SURESH; NIRMALRANI, 2014) (WANG et al., 2014) (SALUNKE; JAKHETE, ) (PALLADINO; FINGO; LANZO, 2012) (SZYMAŃSKI et al., 2015) (LU; CHEN; HAMILTON, 1998) (BARONE; D'AMBROSIO; ERTO, 2007) (KRÜGER et al., 2012), que tratam especificamente de

avaliar ou propor formas de extrair os dados provenientes do veículo. Nestes trabalhos são discutidas questões de como extrair informações eficientemente do veículo, levando-se em conta principalmente as fontes que podem causar ruídos nos dados obtidos e o quão precisos são os métodos propostos nos seus respectivos artigos.

Outra problemática que merece destaque é a de desenvolver mecanismos para tornar mais viável o uso de veículos conectados, este tema foi tratado em 17.5% (7) dos estudos analisados. Nestes casos os artigos discutem questões relacionadas à segurança dos dados que os carros conectados enviam ou recebem (WOO; JO; LEE, 2015) (ZALMAN; MAYER, 2014), controle contra ataques externos (CARSTEN et al., 2015) (EKLUND et al., 2012), e também das principais tendências e decorrências no futuro desta tecnologia (SCHNEIDERMAN, 2013) (MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013) (SAGSTETTER et al., 2013).

Já em menor incidência, mas, ainda assim, temas importantes, podem ser citados o trabalho (GINZARLY; HOBLOS; MOUBAYED, 2015), que apresenta os tipos de diagnósticos automotivos existentes, os trabalhos (PAULA et al., 2011) (RIENER; REDER, 2014), que discutem questões relacionadas à compartilhamento de informações entre veículos, além da realização do EcoDrive (conscientização do motorista em relação à seu estilo de guiar o veículo) (INOKUCHI; AKIYAMA, 2012) (PAEFGEN et al., 2012) (KANG et al., 2015), é necessário que haja a extração dos dados provenientes do veículo. Todavia, a discussão central destes estudos não está no diagnóstico, mas sim nos benefícios obtidos com o EcoDrive.

O texto (SALCIANU; FOSALAU, 2012) é o único que apresenta uma modelo de simulação da Rede CAN que pode ser utilizado em projetos veiculares.

Trabalhos que relatam experiências relacionadas ao entretenimento (MACARIO; TORCHIANO; VIOLANTE, 2009) (KUSHWAHA; KUSHWAHA, 2011), e a melhorar a experiência do motorista ao volante, discutem em suma questões ligadas ao conforto dos ocupantes do veículo.

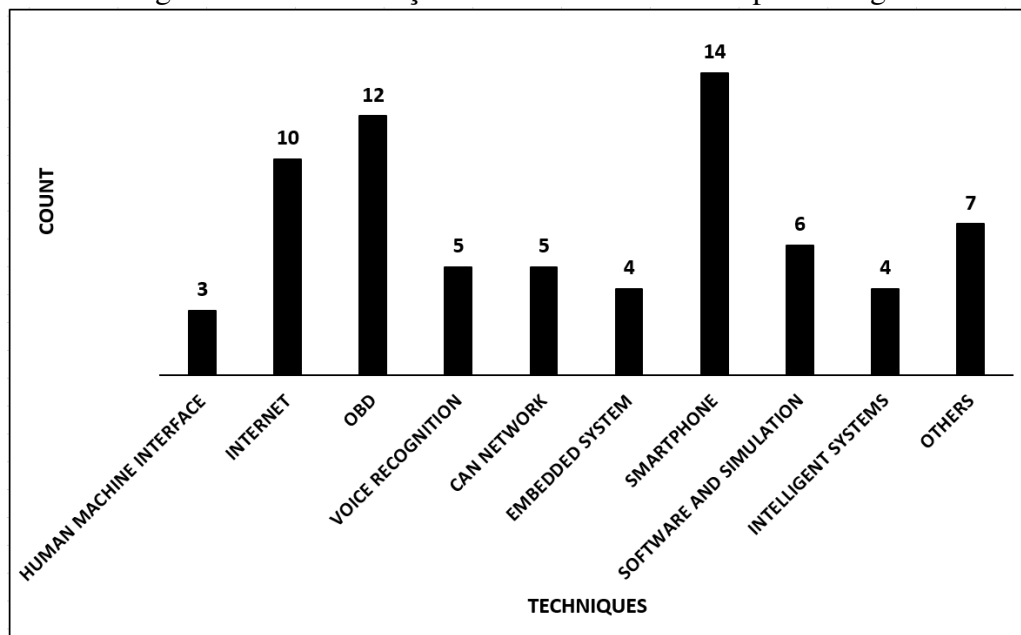
Relacionados com os trabalhos que abordam questões dos carros conectados, estão os artigos que tratam principalmente da segurança nos veículos (HONG; MARGINES; DEY, 2014) (JING et al., 2014) (YOON et al., 2014), nestes artigos são apresentadas medidas que visam diminuir o número de acidentes automotivos.

## **Métodos mais utilizados**

A Figura 2.17 ilustra por meio histograma a distribuição das técnicas mais utilizadas nos artigos.

Devido à demanda por serviços conectados e às limitações de processamento dos sistemas de multimídias embarcados nos veículos, uma opção interessante é a utilização dos smartphones, que têm processadores mais poderosos e menos críticos (o processamento do veículo deve priorizar serviços que garantam a segurança dos ocupantes) se comparados com os sistemas presentes nos automóveis atuais comercializados no país. Esta técnica foi utilizada por 14 estudos (35% dos trabalhos), mostrando que a tendência adotada por montadoras como a Audi e a BMW vem sendo seguida também no campo acadêmico.

Figura 2.17: Distribuição das técnicas utilizados pelos artigos



Fonte: Autor

Em relação ao uso dos aparelhos celulares, eles são utilizados juntamente com o dispositivo OBD em dez casos (CHEN; CHEN; LU, 2011) (HANDEL et al., 2014) (HONG; MARGINES; DEY, 2014) (KANG et al., 2015) (TANG et al., 2013) (MESCHTSCHERJAKOV et al., 2013) (MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013) (PAEFGEN et al., 2012) (RIENER; REDER, 2014) (SURESH; NIRMALRANI, 2014). Nestes estudos, dentre outras funções o smartphone é empregado para realizar a interface com o OBD (lendo ou escrevendo dados). Esta abordagem é a mais constante entre os trabalhos analisados.

Em sete casos (HANDEL et al., 2014) (HONG; MARGINES; DEY, 2014) (MESCHTSCHERJAKOV et al., 2013) (MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013) (RIENER; REDER, 2014) (SURESH; NIRMALRANI, 2014) (TANG et al., 2013), os dados obtidos a partir dos smartphones são enviados via internet para algum servidor ou banco de dados para os mais variados tipos de serviços: telemetria, reconhecimento do perfil do motorista, análise da situação do carro, pontos de interesse.

Esta arquitetura que une o sistema OBD, com o smartphone e envia os dados via internet é a predominante entre os estudos analisados. Porém outras abordagens também estão presentes, a exemplo o reconhecimento de voz é aplicado em cinco estudos (CHEN; CHEN; LU, 2011)(GAO; WU, 2014)(SALUNKE; JAKHETE, )(VAIDYA; KOLTE, )(WANG et al., 2014), nestas abordagens o motorista utiliza o comando de voz para interagir com o veículo, solicitando uma determinada informação, ou controlando o veículo.

As abordagens que utilizam diretamente a rede CAN estão presentes em (CARSTEN et al., 2015) (GAO; WU, 2014)(POSTOLACHE; NEAMTU; TROFIN, 2013)(WOO; JO; LEE, 2015)(ZALMAN; MAYER, 2014). É uma técnica válida no campo das pesquisas, mas na prática o acesso direto à rede CAN é muito crítico e limitado pelas montadoras, pois, qualquer interferência em seu funcionamento pode acarretar no comprometimento da segurança dos ocupantes do veículo. Desta forma a opção de se trabalhar diretamente com a rede CAN sempre deve ser feita por meio de simulações, para somente depois aplicadas em testes.

As técnicas relacionadas como “OUTROS”, referem-se a utilização de Xbee (YUN; LEE et al., 2014), microprocessadores (Arduino e Arm) (JING et al., 2014) (SALUNKE; JAKHETE, ) (VAIDYA; KOLTE, ) (WANG et al., 2014), Redes Veiculares Tolerantes à Atraso (PAULA et al., 2011) e aborgadem analítica (VARRIER; KOENIG; MARTINEZ, 2012). As técnicas de sistemas inteligentes são utilizadas para tratar dados e classificá-los (LU; CHEN; HAMILTON, 1998) (CHEN, 2011) (INOKUCHI; AKIYAMA, 2012) (BARONE; D’AMBROSIO; ERTO, 2007).

O destaque negativo nesta revisão é o fato de apenas três artigos discutirem de maneira direta questões ligadas à Interface humano máquina (ALQASSIM et al., 2012) (RIENER, 2012)(RIENER; REDER, 2014), essa temática envolve como se dará a interação entre o sistema e a pessoa que o utiliza, e ainda qual é a percepção do usuário em relação ao sistema. A interface humano máquina é muito importante no processo de direção do veículo, pois ela interfere de maneira direta em como um determinado sistema influi na atenção do motorista ao processo de direção. A distração do motorista é largamente discutida em (MAGE; SOUZA; SANTOS, 2009) (MCCALL; TRIVEDI, 2007) (WANG; KNIPLING; GOODMAN, 1996) (YOUNG; REGAN; HAMMER, 2007), sendo relevante e deve ser abordada já que é uma das principais fontes de acidente.

### **Dificuldades encontradas nos métodos mais utilizados**

Os principais problemas detectados para cada método utilizado foram:

**Smartphone** - As principais dificuldades no uso do smartphone relacionam-se com o fato de o motorista sempre ter de estar com o seu celular ativo enquanto dirige. Outra dificuldade é garantir que as características principais do sistema funcionem igualmente para os diferentes sistemas operacionais disponíveis no mercado. Algumas ferramentas como o Google Maps (NEAIMEH et al., 2012) (YOON et al., 2014) podem não estar disponíveis em outros sistemas operacionais, e para estes casos é necessário que sejam criadas soluções opcionais.

Quando se usa o smartphone também deve-se enviar de dados à internet (quando necessário)(CARSTEN et al., 2015) (JING et al., 2014) (MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013) (NEAIMEH et al., 2012) (POSTOLACHE; NEAMTU; TROFIN, 2013) (RIENER; REDER, 2014) (SURESH; NIRMALRANI, 2014) (TANG et al., 2013) (YOON et al., 2014) (YUN; LEE et al., 2014), para que seja efetuado de maneira otimizada e para não impactar na utilização de dados do proprietário do aparelho.

**OBD:** Os desafios relacionados ao uso do OBD, são principalmente garantir que as leituras feitas sejam consistentes com a arquitetura do veículo (CHEN; CHEN; LU, 2011) (HANDEL et al., 2014) (HONG; MARGINES; DEY, 2014) (INOKUCHI; AKIYAMA, 2012) (KANG et al., 2015) (MESCHTSCHERJAKOV et al., 2013) (MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013) (NEAIMEH et al., 2012) e também que estes dados possam ser enviados (bluetooth ou wireless). As montadoras já possuem estes dispositivos desenvolvidos para acessar funções avançadas de seus veículos, contudo a preocupação de se criar um dispositivo OBD talvez seja obsoleta devido à grande variedade de modelos presentes no mercado.

**Internet:** Sempre que há interação com a internet deve-se levar em conta a questão da segurança dos dados (WOO; JO; LEE, 2015) (ZALMAN; MAYER, 2014) (CARSTEN et al., 2015) (EKLUND et al., 2012) (SCHNEIDERMAN, 2013) (MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013) (SAGSTETTER et al., 2013), tanto para garantir que sejam enviados de maneira íntegra, quanto para garantir que não haja nenhuma interceptação que possa levar a problemas de segurança (MILLER; VALASEK, 2013) (quando sistemas dos veículos são afetados), ou

que dados de uma empresa possam ser acessados por outras. As soluções para estes problemas podem variar desde criptografia à verificação da integridade dos dados.

**Reconhecimento de Voz:** Neste caso os principais desafios relacionam-se à capacidade do software em processar a fala e transformá-la em texto (CHEN; CHEN; LU, 2011) (GAO; WU, 2014) (SALUNKE; JAKHETE, ) (VAIDYA; KOLTE, ) (WANG et al., 2014). Além do processamento da voz também devem ser levados em conta os ruídos intrínsecos ao ambiente, e o no caso do Brasil os diferentes sotaques de cada região podem dificultar a generalização dos sistemas.

### **Problemas em Aberto no Diagnóstico Automotivo**

Apesar de serem aplicados em um carro real e testado sob condições reais de direção, a maioria dos trabalhos (por questões legais e de segurança) não conseguiram aplicar os testes necessários em uma quantidade satisfatória veículos e aplicá-los sob condições consistente de trânsito (rua com diferentes carros de diferentes marcas). Este trabalho futuro está proposto pelos seguintes autores (LU; CHEN; HAMILTON, 1998) (SALCIANU; FOSALAU, 2012) (PALLADINO; FIENGO; LANZO, 2012) (ZALMAN; MAYER, 2014) (HONG; MARGINES; DEY, 2014) (BARONE; D'AMBROSIO; ERTO, 2007) (YUN; LEE et al., 2014) (PAULA et al., 2011) (MACARIO; TORCHIANO; VIOLANTE, 2009) (MACARIO; TORCHIANO; VIOLANTE, 2009) (SURESH; NIRMALRANI, 2014) (JING et al., 2014) (SZYMAŃSKI et al., 2015) (POSTOLACHE; NEAMTU; TROFIN, 2013) (MESCHTSCHERJAKOV et al., 2013) (INOKUCHI; AKIYAMA, 2012) (TANG et al., 2013) (KANG et al., 2015) (KRÜGER et al., 2012) (HANDEL et al., 2014) (CHEN; CHEN; LU, 2011).

Esse problema deve ser resolvido e provavelmente persistirá em trabalhos futuros. Uma forma de solucionar estas questões seria padronizar a arquitetura dos dados a serem enviados (mesmo que o conteúdo seja diferente) e padronizar o desenvolvimento destes sistemas. Entretanto, estas determinações poderiam ir contra os interesses das montadoras e a livre concorrência. Por isso, os testes devem simular estas situações com excesso de dados, já que testar empiricamente talvez seja uma saída inviável.

Com base nos resultados as áreas pouco atacadas que merecem destaque são: o reconhecimento de voz e a interface humano máquina. Isto levando-se em conta que a utilização de smartphones, internet e dados obtidos por meio de OBD sejam tendências constantes nos projetos de diagnóstico automotivo, e também viáveis, pois, independem da cooperação das montadoras (desenvolver diretamente nos sistemas multimídias utilizados nos carros é inviável devido à dificuldade de acesso a seus códigos).

O reconhecimento de voz é interessante, pois pode minimizar a perda de atenção do motorista, uma vez que o mesmo não precisa desviar o olhar da pista para utilizar o recurso. Entretanto, se a comunicação não for eficiente, dificilmente o motorista terá sua requisição atendida.

A avaliação na qualidade da interação entre usuário e sistema é imprescindível para o sucesso de um estudo. Não basta que o sistema responda de maneira satisfatória e que os dados sejam consistentes, se o usuário encontra dificuldade na utilização do sistema. Como visto nos resultados, apenas três trabalhos discutiram diretamente questões ligadas à interface homem computador.

É possível também concluir que as montadoras podem utilizar os dados gerados pelos veículos para avaliar seus processos produtivos ou até oferecer melhores serviços aos seus clientes.

## Discussão

Esta seção busca esclarecer as percepções obtidas com a apresentação dos resultados nas seções anteriores, e também apresentar os pontos fortes e fracos no levantamento do estado da arte.

Através da primeira questão de pesquisa (QP1 - Quais os principais desafios no diagnóstico automotivo?), foi possível perceber que a principal discussão sobre diagnóstico automotivo ainda se concentra no modelo de sistema que será responsável por obter os dados do carro, e o que será feito com estas informações. Fundamentos como carro conectado, interface humano máquina, segurança e EcoDrive ficaram em segundo plano, apesar de serem temas fundamentais para criação de um sistema de diagnóstico.

Com o segundo questionamento (QP2 - Quais são os métodos mais utilizados?) foi possível identificar que as técnicas mais utilizadas no diagnóstico automotivo. Sendo elas: a interface por meio do smartphone, a obtenção dos dados com o OBD e a utilização da internet para disseminar estes dados para as montadoras ou outros interessados diretos. O surgimento de serviços a partir desta arquitetura pode garantir tanto uma melhora no processo produtivo para a montadora, como também o aumento na sensação de conforto e satisfação na experiência de direção do motorista.

Os respectivos problemas de cada uma destas abordagens são relacionados na terceira pergunta (QP3 - Quais as dificuldades encontradas nestes métodos?). A tabela B.7 (no final do Apêndice B) apresenta o tema central de discussão de cada artigo e a técnica utilizada no trabalho.

Com a resposta da pergunta QP4 foi possível perceber que as problemáticas de como executar o diagnóstico automotivo, são constantemente resolvidas com uso do OBD para a extração dos dados, smartphone e internet para propagação e tratamento destas informações vindas dos controladores do veículo. Cabe ressaltar que o reconhecimento de fala e questões ligadas à interface humano máquina são tratadas em um número menor de trabalhos. Em relação ao reconhecimento de fala, as ferramentas tem evoluído e atualmente já é possível; com a utilização de ferramentas de Java ou da Google por exemplo; desenvolver ferramentas que podem ser facilmente transportadas de um idioma a outro.

A interface humano máquina por sua vez influenciará na maneira que o motorista interagirá com o sistema, e no caso de um carro em movimento esta interação tem de ser simples para que o motorista não perca a atenção no trânsito.

O processo de pesquisa, que foi realizado manualmente através da busca de palavras chaves nos cinco repositórios online está na seção 17.2-2 da revisão sistemática. A busca encontrou estudos publicados em periódicos, conferências, congressos, entre outros. Utilizou-se uma abordagem manual com base nos critérios de inclusão e exclusão visando selecionar os artigos mais relevantes. Ao final da análise 40 trabalhos foram selecionados para fazer parte da revisão sistemática.

Vale ressaltar que a pesquisa apresentou pontos favoráveis e pontos a desenvolver. O ponto favorável da revisão é que os trabalhos selecionados para análise com base nos critérios de inclusão e exclusão foram classificados de acordo com os quesitos de qualidade, desta forma foi possível perceber dentre os estudos selecionados, quais realmente se destacavam em relação aos outros (desta forma, destaca-se, que os estudos selecionados realmente refletem os critérios de qualidade desejados pelo autor).

Um ponto a ser desenvolvido, trata-se do fato de a pesquisa ter sido realizada baseando-se em palavras chaves, não é possível ter certeza que todos os artigos relevantes



da área de diagnóstico automotivo tenham sido encontrados no processo de busca. O Google Acadêmico é um repositório muito abrangente, entretanto não especifica sempre em que conferência ou jornal o estudo foi publicado.

Na etapa da pesquisa inicial não foi encontrada nenhuma outra revisão sistemática para o tema de diagnóstico automotivo. As abordagens, técnicas, ferramentas e arquiteturas utilizadas foram identificadas para que as questões de pesquisa pudessem ser respondidas nesta revisão.

Este trabalho contribui para focar a pesquisa nos problemas que realmente são relevantes na área estudada. Esta revisão pode auxiliar outros pesquisadores que estão desenvolvendo trabalhos na área de diagnóstico automotivo, pois demonstra quais são os problemas e as possibilidades mais discutidas na literatura, bem como os estudos e seus métodos.

Nesta análise do estado da arte é apresentada uma revisão sistemática da literatura, são identificados os temas mais tratados, as ferramentas e abordagens mais utilizadas, as dificuldades encontradas em cada ferramenta e quais são as problemáticas que ainda cabem discussão na área de diagnóstico automotivo. Estas informações foram encontradas com base nas questões de pesquisa (QP), critérios de inclusão e exclusão e classificação dos quesitos de qualidade. Mais de 1000 títulos de artigos foram avaliados nos repositórios, e destes, 40 permaneceram para a análise mais profunda no processo de revisão sistemática.

A maioria dos artigos lidos ainda discutem principalmente a arquitetura para realização do diagnóstico automotivo, este é um problema que está aberto, e ganhou mais atenção em detrimento a outros temas como segurança, mudanças com os carros conectados, compartilhamento de dados, entre outros.

Os métodos mais utilizados pelos artigos são a utilização do OBD, para a extração dos dados nos carros, o interfaceamento feito com o celular e também o envio destes dados para um servidor online (conexão com a internet). As técnicas de reconhecimento de voz mostram-se interessantes uma vez que diminuem a distração do motorista, já que o condutor não precisa desviar a visão da pista para interagir com o sistema. O ponto a desenvolver, é a pouca abordagem de questões ligadas à interface humano máquina. De modo geral os trabalhos são mais técnicos e discutem a qualidade de seus modelos com base nos erros obtidos nos testes, não colocando em discussão a adaptabilidade de seus sistemas ao uso dos motoristas.

Este estudo sugere que a extração dos dados por meio de dispositivos OBD é um problema que não foi desenvolvido nos trabalhos analisados (o OBD foi utilizado como ferramenta e não como objeto de estudo). Também é possível concluir com a leitura dos trabalhos relacionados, que a interferência direta na Rede CAN não é uma abordagem simples, uma vez que pode comprometer o funcionamento do veículo; caso opte-se por utilizar a CAN diretamente deve ser desenvolvido um estudo profundo sobre seu impacto nos outros serviços providos pela CAN, que assim como o sistema de freio, por exemplo, obviamente terão prioridade maior.

Portanto, como resultado desta pesquisa foi se trabalhar com um modelo de diagnóstico, no qual as informações são obtidas via OBD, porém, o cliente será inserido como um novo filtro no veículo (e o mais importante no processo). E desta interação resultarão dados mais completos de diagnóstico, pois além de com os dados retirados do sistema, o analista contará com as informações obtidas a partir do usuário do veículo (estas informações sendo introduzidas via texto, ou reconhecimento de fala).

# Capítulo 3

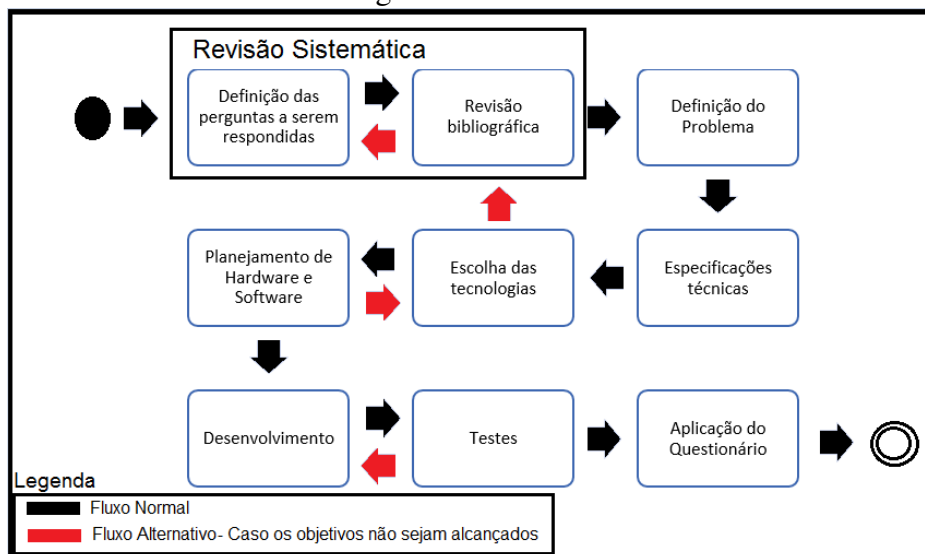
## MÉTODOS E MATERIAIS

Neste capítulo são apresentados o método seguido para o desenvolvimento deste trabalho e os materiais utilizados para o desenvolvimento do sistema proposto neste projeto de pesquisa.

### 3.1 MÉTODO DE PESQUISA

A hipótese central deste trabalho é a melhoria no processo de diagnóstico do ponto de vista da montadora de veículos. Dessa forma, o trabalho foi desenvolvido com o enfoque na perspectiva da empresa que produz carros. A perspectiva apresentada, as bases de dados e os conhecimentos obtidos sobre o processo foram adquiridos com base no entendimento da montadora sobre o processo de diagnóstico. Apesar de a concessionária ser peça chave no processo, cabe a montadora suprir os meios e os métodos necessários para que a concessionária realize seu trabalho. O método usado para a realização deste trabalho é apresentado na Figura 3.1.

Figura 3.1: Método



Fonte: Autor

Inicialmente foi feita uma revisão sistemática seguindo os padrões propostos por (KITCHENHAM et al., 2009) e (KANEWALA; BIEMAN, 2014). O objetivo principal desta revisão foi, além de obter o embasamento teórico necessário; e também definir perguntas a serem respondidas e quais problemas deverão ser abordados. Esta revisão foi importante para a caracterização do problema e a busca por referências relevantes.

Terminado o processo de revisão sistemática, foi necessário delimitar o problema de pesquisa deste trabalho com base nos resultados de tal estudo. Definiu-se que este trabalho iria abordar o problema da montadora em obter informações sobre os problemas e falhas nos veículos quando eles são usados pelos motoristas. O próximo passo, após a delimitação do problema foi definir as especificações técnicas necessárias para propor uma solução para o problema. Na etapa seguinte, foi realizada a definição das tecnologias utilizadas para atender as especificações. Neste ponto o embasamento teórico em uma determinada tecnologia poderia não ser suficiente, e então seria preciso voltar ao processo de revisão bibliográfica. Planejamento de software e hardware é uma etapa na qual foram definidos os documentos de especificação e planejamento. Nesta etapa também é necessário haver uma possibilidade de volta a etapa de escolhas de tecnologias, caso as tecnologias não atendam às especificações mínimas.

Finalizado o planejamento, iniciou-se o processo de desenvolvimento do trabalho de pesquisa. Nesta etapa o trabalho foi realizado da seguinte maneira:

**Levantamento dos problemas que seriam tratados no projeto** – Nesta etapa foi realizada uma pesquisa junto a montadora para o levantamento dos problemas que seriam mais interessantes de serem tratados. Como resultado desta etapa os problemas selecionados estão relacionados ao motor e também à multimídia do veículo.

**Classificação das palavras chaves** Esta etapa teve como o objetivo encontrar informações sobre os problemas ligados ao motor e à multimídia do veículo na base de conhecimento da montadora. Dessa forma, foram utilizados dados provenientes de reclamações reais de clientes. Técnicas de mineração de dados foram usadas para encontrar e classificar as palavras chave relacionadas com as reclamações dos clientes relativas a motor e multimídia. Para os problemas ligados à multimídia não havia palavras chaves definidas. O método utilizado para a definição destas palavras é apresentado na seção 4.2.1 deste capítulo. Já para a classe de problemas ligados ao motor, a montadora já possuía uma base de palavras chaves definida; e foi solicitado que esta base fosse utilizada neste projeto

**Estudos de Caso** – Os estudos de caso foram definidos com base em casos reais relatados pela montadora, este trabalho foi realizado juntamente com os departamentos de “Incidentologia” (departamento que estuda os incidentes que ocorrem nos veículos depois de entrega ao cliente) e “Concessionárias”, pois são os dois principais envolvidos no tratamento deste tipo de problema. Para estes estudos foram levantadas as perguntas que seriam importantes para aumentar a efetividade do diagnóstico, e também as possibilidades de acordo com as respostas dadas.

**Desenvolvimento e implementação do sistema para auxílio do diagnóstico automotivo** – Após serem definidos os problemas analisados, as palavras chaves e os estudos de caso, iniciou-se o processo de criação do sistema que seria utilizado para interface entre cliente e montadora. Esta etapa englobou tanto a criação do aplicativo, como também do servidor para o qual o sistema envia as informações colhidas com o usuário. Mais detalhes sobre o desenvolvimento estão disponíveis nas seções 4.2.2, 4.2.3 e 4.2.4.

**Questionários** – Nesta etapa foram criados os questionários utilizados para o experimento da validade dos dados produzidos pelo aplicativo. Os questionários validarão se os dados

que o aplicativo oferece para a concessionária são relevantes para permitir um diagnóstico mais correto. Desta forma, foram criados dois questionários.

O primeiro conta apenas com o texto da reclamação do cliente e as etapas que o mecânico deve realizar para solucionar o problema. Este questionário busca simular como o problema é tratado atualmente pelas concessionárias.

O segundo, além do texto da reclamação do cliente, também conta com as adicionais geradas pelo software que executa no Smartphone. Neste caso o aplicativo faz perguntas relacionadas ao problema classificado, visando assim restringir as possibilidades e tornar o diagnóstico mais assertivo.

**Aplicação e análise dos questionários** – Os questionários foram aplicados em profissionais ligados ao processo de diagnóstico, tanto engenheiros, analistas de qualidade, receptionistas técnicos das concessionárias e mecânicos. Para garantir a validade das respostas e evitar o problema de viés nas respostas, cada profissional respondeu apenas um questionário; selecionado aleatoriamente.

Em seguida, realizou-se uma etapa de Testes, cujo objetivo é verificar se o funcionamento do produto se adequa ao que foi proposto. Esta etapa não precisa necessariamente começar ao final do desenvolvimento, as duas etapas (desenvolvimento e testes) podem ser efetuadas concomitantemente.

Para atacar o problema levantando neste trabalho, os questionários foram analisados, e o resultado que se buscou foi analisar se as informações adicionais realmente impactam no processo de diagnóstico. Em outras palavras, analisar em quantas ações o problema seria resolvido sem as informações provenientes dos clientes e depois comparar com os resultados obtidos com estas informações disponíveis. A premissa é que essa diferença no número de ações possa representar o impacto deste processo no diagnóstico.

## **3.2 MATERIAIS**

Nesta seção serão descritos os materiais utilizados e os objetos desenvolvidos para a solução deste projeto de pesquisa. Na primeira subseção são descritos os experimentos que foram realizados para se obter as palavras chaves ligadas à multimídia, palavras estas que foram utilizadas para classificar a fala dos usuários ao reclamar de um possível defeito no veículo.

### **3.2.1 Identificação de Padrões para transcrição de fala em texto**

Este trabalho procurou identificar e classificar palavras chaves nos documentos e base de conhecimento da montadora relativos a problemas no motor e multimídia do veículo. Esta seção descreve os experimentos realizados em um conjunto de dados utilizando a linguagem de programação R. Os experimentos são a aplicação, análise e comparação de algoritmos de Classificação, Regras de Associação e Clusterização, bem como a criação de gráficos e dados estatísticos do conjunto de dados com os comandos da linguagem de programação R (STUDIO, 2012).

A seção concentra diversos experimentos de mineração de dados realizados utilizando a linguagem R sobre uma base proveniente de uma empresa automobilística.

Desta forma, as técnicas de mineração de dados são utilizadas com o objetivo de analisar uma massa de dados real provinda de uma empresa automobilística. No conjunto de

dados analisado é a apresentada a pesquisa sobre a satisfação geral do cliente em relação ao veículo que adquiriu. Esta pesquisa é feita semestralmente com novos clientes.

Devido à disponibilidade dos dados, os testes foram realizados apenas com os problemas ligados à multimídia. No caso dos problemas ligados ao motor foi possível apenas o acesso às palavras chaves mais frequentes para cada classe de problema.

A implementação e aplicação das técnicas de mineração de dados foram executadas utilizando-se a linguagem R (software R-Studio) (STUDIO, 2012).

A seguir é apresentada a base de dados utilizada para a criação do classificador de problemas ligado à multimídia. A base de dados em questão representa os dados de problemas e falhas obtidos pela montadora por meio de entrevistas semestrais com clientes que obtiveram o carro em um período menor que três meses. Esta entrevista é realizada por telefone, logo possui um campo com a verbalização do cliente sobre os problemas que este percebe no veículo. A escolha desta base se deu devido à natureza destas verbalizações que representam as palavras que os clientes entrevistados utilizam para se referir um determinado defeito.

### Descrição da base de dados

O conjunto de dados consiste de respostas dadas pelos clientes a um questionário estruturado aplicado pela empresa, com o intuito de obter um feedback do comprador, para que assim possa melhorar seu produto ou processo de produção.

A base de dados <sup>1</sup> possui 305 instâncias <sup>2</sup> com 23 atributos cada. Abaixo serão apresentados cada um dos atributos e a natureza do dado (nominal, binário, ordinal, numérico contínuo ou numérico discreto):

- **Nro Quest** - É o "id" da instância, utilizado para identificação da instância (atributo nominal).
- **Veículo** - Identifica o tipo do veículo em questão; os modelos dos veículos logicamente se restringem a aqueles produzidos pela montadora (Atributo Nominal).
- **Cidade** - Cidade do emplacamento do veículo (atributo Nominal).
- **Estado** - Estado do emplacamento do veículo (atributo Nominal).
- **Região** - Região do emplacamento do veículo (atributo Nominal).
- **Data Produção** - Data em que o veículo foi produzido (atributo de data - "interval").
- **Ano** - Ano em que o veículo foi produzido (atributo numérico discreto).
- **Sat. Geral** - Nota na escala de 0 a 10 que o cliente atribui ao veículo adquirido (atributo numérico contínuo).
- **Km Total** - Quantidade de quilômetros rodados com o veículo (atributo numérico contínuo).

---

<sup>1</sup>Na base de dados original o número de instâncias era de 807, entretanto nem todas estavam completas e continham atributos nulos. A opção escolhida foi eliminar estas instâncias e trabalhar apenas com dados "completos"

<sup>2</sup>No contexto deste trabalho as palavras instância e objeto serão consideradas sinônimos, por ambas representarem uma linha de entrada na tabela de dados

- **Verbalização** - Representa a verbalização de um problema ligado ao “kit multimídia” ou motor (atributo nominal)
- **Classificação da Verbalização** - Representa a classificação verbalização anterior (atributo nominal).
- **Antena\***<sup>3</sup> - Atributo criado pelo autor deste trabalho, representa a contagem de ocorrências de palavras agrupadas no conjunto “antena”, que estão presentes na verbalização do cliente (atributo numérico discreto).
- **Bluetooth\*** - Atributo criado pelo autor deste trabalho, representa a contagem de ocorrências de palavras agrupadas no conjunto “bluetooth”, que estão presentes na verbalização do cliente (atributo numérico discreto).
- **GPS\*** - Atributo criado pelo autor deste trabalho, representa a contagem de ocorrências de palavras agrupadas no conjunto “gps”, que estão presentes na verbalização do cliente (atributo numérico discreto).
- **Handsfree\*** - Atributo criado pelo autor deste trabalho, representa a contagem de ocorrências de palavras agrupadas no conjunto “handsfree”, que estão presentes na verbalização do cliente (atributo numérico discreto).
- **Qualidade\*** - Atributo criado pelo autor deste trabalho, representa a contagem de ocorrências de palavras agrupadas no conjunto “qualidade”, que estão presentes na verbalização do cliente (atributo numérico discreto).
- **Recepção\*** - Atributo criado pelo autor deste trabalho, representa a contagem de ocorrências de palavras agrupadas no conjunto “recepcao”, que estão presentes na verbalização do cliente (atributo numérico discreto).
- **USB\*** - Atributo criado pelo autor deste trabalho, representa a contagem de ocorrências de palavras agrupadas no conjunto “usb”, que estão presentes na verbalização do cliente (atributo numérico discreto).
- **Ficou parado** Identifica se o problema fez com que o carro ficasse parado (atributo binário - Sim ou Não)
- **Levou para reparo** Identifica se o cliente levou o veículo para assistência técnica (atributo binário - Sim ou Não)
- **Rejeição** - Identifica se o cliente possui rejeição ou não ao veículo comprado.
- **Veículo Anterior(Marca)** - o cliente informa qual era a marca de seu veículo anterior (atributo nominal).
- **Sexo** - Sexo do cliente entrevistado (atributo binário - Masculino ou Feminino)

Todas as instâncias deste conjunto de dados são completas, ou seja, não existem instâncias vazias, ou com valores que representam informação nula.

---

<sup>3</sup>Os atributos marcados com \*, representam atributos que não estavam na relação inicial, e foram inseridos pelo autor durante a análise e classificação da verbalização do cliente

## Edição dos Novos Atributos

Neste conjunto de dados a informação mais importante é a classificação dos atributos de verbalização dos clientes. Esta informação visa agrupar as reclamações em subgrupos que representam as áreas que são responsáveis por cada problema detectado. Dos sete subgrupos criados (aqueles marcados com \* na descrição dos dados), cada um deles representa uma equipe que será responsável por analisar mais a fundo a reclamação obtida.

A criação das sete colunas é uma adequação necessária para que estes dados possam ser utilizados posteriormente, nos algoritmos de classificação (fuzzy, neural, por exemplo). Os números de ocorrência de palavras chaves em cada grupo foram parametrizados para uniformizar as entradas (entradas não parametrizadas poderiam gerar erro na execução dos algoritmos de classificação).

## Classificação

Os atributos ligados à verbalização do cliente foram classificados na classe de problemas ligados à multimídia (Antena, Bluetooth, GPS, Handsfree, Qualidade do Som, Recepção, USB, Outros), no sistema esta classificação é a responsável por relacionar o que foi dito pelo cliente, com as classes de problemas que serão analisadas.

Classificação em mineração de dados é uma maneira de se extrair modelos a partir de classes de dados. Estes modelos são conhecidos como classificadores e possibilitam prever classes de dados (HAN; KAMBER; PEI, 2011).

Dentre as principais técnicas de classificação existentes, neste trabalho optou-se por se trabalhar especificamente com Árvore de Decisão e Redes Neurais.

**Árvore de Decisão utilizando o pacote party do R** Nesta subseção apresenta-se os comandos necessários para se aplicar uma árvore de decisão para o conjunto de dados utilizado neste trabalho.

Será utilizado o pacote de party (HOTHORN et al., 2015) do software R, um pacote que tem a função `ctree()` como função principal.

A árvore de decisão foi criada segundo os parâmetros representados na figura abaixo:

Figura 3.2: Criação das árvores de decisão

```
> set.seed(1234)
> ind <- sample(2, nrow(cdd), replace=TRUE, prob=c(0.7, 0.3))
> trainData <- cdd[ind==1,]
> testData <- cdd[ind==2,]
> myFormula <- cdd$Classificacao ~ cdd$Handsfree + cdd$Qualidade +cdd$Recepcao+cdd$Bluetooth+cdd$USB+cdd$Antena+cdd$Gps
>
> cdd_ctree <- ctree(myFormula, data=trainData)
> myFormula <- Classificacao ~ Handsfree + Qualidade +Recepcao+Bluetooth+USB+Antena+Gps
>
> cdd_ctree <- ctree(myFormula, data=trainData)
> table(predict(cdd_ctree), trainData$Classificacao)
```

Fonte: Autor

O conjunto de dados foi dividido em duas partes (uma com 70% dos dados, e outro com 30%). Então, os grupos `trainData` e `testData`, receberam cada um os dados particionados anteriormente (`trainData` recebeu 70% dos dados, enquanto `testData` recebeu 30%).

Um ponto importante na criação da árvore de decisão é a criação da fórmula que será utilizada. Para este trabalho a fórmula representa que os dados da coluna `Classificacao`, são

resultados da relação das colunas HandsFree, Qualidade, Recepcao, Bluetooth, USB, Antena e GPS.

Uma vez que já se tem os dados a serem aplicados e a fórmula que será utilizada, já é possível criar a árvore de decisão a partir do comando `cree(fórmula, Dados a serem utilizados)`.

Como resultado para os atributos de treino foi obtido a matriz de confusão mostrada na Figura 3.3:

Figura 3.3: Matriz de confusão (treino)

```
> table(predict(cdd_ctree), trainData$classificacao)
```

	Antena	Bluetooth	Gps	Handsfree	Outros	Qualidade	Recepcao	USB
Antena	15	0	0	0	1	5	4	0
Bluetooth	0	7	0	2	0	3	0	0
Gps	0	0	6	0	0	2	0	0
Handsfree	0	0	0	8	0	0	0	0
Outros	0	0	0	0	49	0	0	0
Qualidade	1	0	0	0	1	70	0	0
Recepcao	0	0	0	0	0	3	18	0
USB	0	0	0	1	1	3	1	19

Fonte: Autor

Em seguida, foi criada a matriz de confusão dos dados de teste que é apresentada na Figura 3.4.

Figura 3.4: Matriz de confusão (teste)

```
> testPred <- predict(cdd_ctree, newdata = testData)
> table(testPred, testData$classificacao)
```

testPred	Antena	Bluetooth	Gps	Handsfree	Outros	Qualidade	Recepcao	USB
Antena	8	0	0	0	0	3	2	0
Bluetooth	0	4	0	1	0	1	0	0
Gps	0	0	2	0	1	0	0	0
Handsfree	0	0	0	4	0	0	0	0
Outros	0	0	0	1	20	0	0	0
Qualidade	0	0	0	0	1	22	0	0
Recepcao	0	0	0	1	0	2	5	0
USB	0	0	0	0	0	2	0	5

Fonte: Autor

Tabela 3.1: Resultado do experimento com Árvores de Decisão

	Acertos	Erros	% de Acertos
Treino	192	28	87.27
Teste	70	15	82.35

Para o experimento realizado com estes dados foi possível obter uma acurácia de 82,35% para os dados de teste, apesar quantidade alta de grupos que que poderiam ser classificados (8 ao todo).



**Redes Neurais** Neste experimento foi utilizado o pacote RSNNS(BERGMEIR; BENÍTEZ, 2015). Optou-se também por utilizar uma rede neural com Multi Layer Perceptron e aprendizado com Back-propagation. A rede criada para a classificação deste problema é apresentada na Figura 3.5:

Figura 3.5: Rede Neural

```
> summary(model)
SNNS network definition file v1.4-3D
generated at Mon Feb 29 18:48:14 2016

network name : RSNNS_untitled
source files :
no. of units : 20
no. of connections : 75
no. of unit types : 0
no. of site types : 0

Learning function : std_backpropagation
update function   : Topological_Order
```

Fonte: Autor

A partir do modelo criado , foram criadas duas matrizes de confusão. A Figura 3.6 apresenta a matriz de confusão dos dados de treino, e a Figura 3.7 mostra a matriz de confusão dos dados de teste.

Figura 3.6: Rede Neural - Matriz de confusão do treino

```
> confusionMatrix(cdd$targetsTrain, fitted.values(model))
```

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	16	0	0	0	0	0	0	0
2	0	9	0	0	0	0	0	0
3	0	3	2	0	0	0	0	1
4	0	0	0	15	0	0	0	0
5	0	0	0	0	57	2	0	1
6	0	0	0	0	0	88	0	0
7	0	0	0	0	0	0	28	0
8	0	0	0	0	0	0	0	22

Fonte: Autor

Figura 3.7: Rede Neural - Matriz de confusão do teste

```
> confusionMatrix(cdd$targetsTest,model$fittedTestValues)
```

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	8	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	2	0	0	0
4	0	1	0	2	0	0	0	0
5	1	0	0	0	12	1	0	0
6	0	0	0	0	0	28	0	0
7	0	0	0	0	0	0	2	0
8	0	0	0	0	0	0	0	2

Fonte: Autor

O resultado para o experimento com redes neurais foi:

Tabela 3.2: Resultado do experimento com redes neurais

		Acertos	Erros	% de Acertos
Fonte: Autor	Treino	237	7	97,13
	Teste	56	6	91.08

Com este experimento foi obtida uma taxa de acerto de 91.03%, esta alta taxa de acerto, novamente se deve à natureza dos dados.

A rede neural precisa criar relações matemáticas para que seja possível realizar a classificação dos dados. Para este experimento os dados são linearmente separáveis por que para a maioria das entradas se um cliente reclama de uma área como Qualidade por exemplo, ele focará sua reclamação apenas nesta classe de problema; desta forma as outras colunas ficam zeradas (na maioria das vezes este padrão se repete). Isto facilita nas criações de equações pela rede neural.

**Classificador Criado Pelo Autor** Paralelamente às técnicas oferecidas pelo R, foi criado também um programa em linguagem Java que visava categorizar as classes de problema da mesma forma que ocorreu com os classificadores apresentados nas seções anteriores.

Este método foi escolhido para funcionar em concordância com o que é aplicado atualmente pela montadora. O método desenvolvido consiste de um classificador que define um conjunto de palavras chaves para cada classe de problema, e computa toda vez que esta palavra aparece no texto analisado. Após o término da análise do texto a classe de problema que estiver com maior pontuação representa o problema que se relaciona com a fala do cliente.

O primeiro passo foi conhecer as características das classes relacionadas, as palavras-chave que identificavam cada grupo e os diferenciavam. Para isto foi necessário realizar uma leitura em todos as verbalizações presentes nas instâncias do conjunto de dados.

A análise das palavras chaves consiste na leitura das verbalizações e a identificação das palavras que estão ligadas à classe de problema classificada na base de dados, assim como no caso dos algoritmos de classificação, a base de dados foi dividida na proporcionalidade de 70% para dados de treinamento e 30% para validação. Após esta análise do conjunto de dados disponível para a classe de problemas ligados à multimídia chegou-se aos seguintes conjuntos de palavras-chave:

- HandsFree: celular, smartphone, telefone, fala, voz, atender, agenda falar e discar;
- Qualidade: caixa de som, auto-falante, som, sistema de som, eco, ruído, chiado, volume;
- Recepção: estação, estação de rádio, estações de rádio, sintonia, sintonizar, sintonização;
- Bluetooth: conectar, bluetooth, conexão;
- USB: usb, pendrive;
- Antena: antena, anteninha
- GPS: gps, endereço, localização, mapa.





**Teste de Classificação com o Weka** Nas subseções abaixo seguem os testes obtidos com a ferramenta Weka (HALL et al., 2009) para os algoritmos utilizados no projeto.

### Árvore de Decisão

Figura 3.10: Dados Obtidos com o Weka

```

Correctly Classified Instances      274          89.8361 %
Incorrectly Classified Instances    31           10.1639 %
Kappa statistic                    0.8667
Mean absolute error                 0.0294
Root mean squared error            0.1529
Relative absolute error             15.2066 %
Root relative squared error        49.3022 %
Total Number of Instances          305

=== Detailed Accuracy By Class ===

```

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	ROC Area	Class
	0.818	0.007	0.818	0.818	0.818	0.997	Bluetooth
	0.948	0.069	0.894	0.948	0.921	0.949	Qualidade
	0.833	0.014	0.833	0.833	0.833	0.949	USB
	0.932	0.013	0.958	0.932	0.945	0.968	Outros
	0.5	0.014	0.692	0.5	0.581	0.917	Handsfree
	0.967	0.015	0.879	0.967	0.921	0.979	Recepcao
	0.833	0.004	0.952	0.833	0.889	0.976	Antena
	1	0	1	1	1	1	Gps
Weighted Avg.	0.898	0.033	0.896	0.898	0.895	0.96	

Fonte: Autor

Figura 3.11: Dados Obtidos com o Weka 2

```

=== Confusion Matrix ===

```

	a	b	c	d	e	f	g	h	<-- classified as
9	0	0	0	2	0	0	0	0	a = Bluetooth
0	110	2	1	1	1	1	0	0	b = Qualidade
0	3	20	0	1	0	0	0	0	c = USB
0	5	0	69	0	0	0	0	0	d = Outros
2	2	2	2	9	1	0	0	0	e = Handsfree
0	1	0	0	0	29	0	0	0	f = Recepcao
0	2	0	0	0	2	20	0	0	g = Antena
0	0	0	0	0	0	0	8	0	h = Gps

Fonte: Autor

### Redes Neurais

```
=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===
```

Correctly Classified Instances	295	96.7213 %
Incorrectly Classified Instances	10	3.2787 %
Kappa statistic	0.9573	
Mean absolute error	0.02	
Root mean squared error	0.0921	
Relative absolute error	10.3275 %	
Root relative squared error	29.6548 %	
Total Number of Instances	305	

Fonte: Autor

```
=== Confusion Matrix ===
```

	a	b	c	d	e	f	g	h	<-- classified as
10	0	0	0	1	0	0	0	0	a = Bluetooth
0	116	0	0	0	0	0	0	0	b = Qualidade
0	1	23	0	0	0	0	0	0	c = USB
0	3	1	69	0	0	1	0	0	d = Outros
1	0	1	0	16	0	0	0	0	e = Handsfree
0	0	0	0	0	29	1	0	0	f = Recepcao
0	0	0	0	0	0	24	0	0	g = Antena
0	0	0	0	0	0	0	8	0	h = Gps

Fonte: Autor

### Regras de Associação

Neste experimento foi utilizado o pacote arules (HAHSLER et al., 2014), e abaixo seguem os resultados obtidos com as regras de associação.

Figura 3.12: Comandos para criação das Regras de Associação

```

> cdd <- read.csv("C:/Users/Moacir/Desktop/cdd.csv", sep = ";")
> cdd2 <- cdd[, 12:18]
> colnames(cdd2)
[1] "Handsfree" "Qualidade" "Recepcao" "Bluetooth" "USB" "Antena"
[7] "Gps"
> cdd2 <- transform(cdd2, Handsfree=as.factor(Handsfree))
> cdd2 <- transform(cdd2, Qualidade=as.factor(Qualidade))
> cdd2 <- transform(cdd2, Recepcao=as.factor(Recepcao))
> cdd2 <- transform(cdd2, Bluetooth=as.factor(Bluetooth))
> cdd2 <- transform(cdd2, USB=as.factor(USB))
> cdd2 <- transform(cdd2, Antena=as.factor(Antena))
> cdd2 <- transform(cdd2, Gps=as.factor(Gps))
> install.packages("arules")
> library(arules)
> rules <- apriori(cdd2, parameter = list(supp = 0.5, conf=0.9, target = "rules"))

```

Fonte: Autor

Após todas as colunas estarem categorizadas, foi criado um conjunto de regras (rules), com suporte de 50% e confiança mínima de 90%.

Neste experimento foram geradas 67 regras, entretanto, todas elas se referem a valores nulos. O algoritmo associou regras que relacionam principalmente que uma coluna nula implicará em outra coluna nula.

Isto se deve ao fato de que para as verbalizações, na maioria das vezes, apenas um valor é diferente de zero. Desta forma as regras geradas, apesar de consistentes, não ajudariam muito em uma análise posterior dos dados. Seria necessário que os dados analisados tivessem menos atributos zerados, desta forma o algoritmo poderia criar relações mais relevantes.

## Discussão

A análise dos resultados obtidos com os algoritmos de classificação permite dizer que o software R obteve um aproveitamento alto para este experimento. A Tabela 3.3 relaciona o aproveitamento obtido para cada um dos algoritmos de classificação utilizados no experimento.

Tabela 3.3: Resultado dos experimentos de classificação

	% de Acertos
Árvore de Decisão - R	82.35
Árvore de Decisão - Weka	89.8
Rede Neural - R	91.08
Rede Neural - Weka	96.7
Análise Analítica (Criado pelo Autor)	98

O melhor resultado foi obtido pelo algoritmo analítico criado pelo autor deste trabalho. Isto se deve a independência linear entre os dados que foram utilizados pelos classificadores. Se fosse um problema mais complexo onde a classificação não fosse tão intuitiva (basicamente a instância pertence à classe com mais ocorrências de palavras-chave), certamente os outros algoritmos se sairiam melhor. A tabela 3.4 representa o número de ocorrências para cada de problema apresentado

Tabela 3.4: Ocorrências de problemas classificados

Classe do verbatim	Freq	%
HandsFree	25	8.20
Qualidade	127	41.64
Recepcao	38	12.46
Bluetooth	15	4.92
USB	29	9.51
Antena	28	9.18
GPS	10	3.28
Outros	33	10.82

Através dos dados mostrados na Tabela 3.4 é possível notar que a maioria das verbalizações se referem a problemas de Qualidade de som, em geral eram problemas de interferência no som (chiados), que pareciam vir da lataria quando o carro estava em alta velocidade. Os problemas de Recepção são originados da dificuldade de se sintonizar uma determinada rádio, e também reclamações que a rádio demora a carregar.

A categoria Outros apresenta por volta de 10% das reclamações, uma determinada verbalização é categorizada neste grupo quando não apresenta nenhuma das palavras chaves criadas. Um exemplo disto é de pessoas que reclamam de acabamento e problemas com design.

Do resultado da classificação é possível se obter outras informações, como por exemplo, como a satisfação do cliente se comporta com cada problema percebido? Qual problema interfere mais na satisfação do cliente. Qual tipo de problema causou mais rejeição nos clientes?

A tabela 3.5 a seguir apresenta a média das notas em relação à classificação da verbalização

Tabela 3.5: Média das notas atribuídas em relação à classificação da verbalização

Categoria	Nota	Desvio Padrão
Recepção	8.365	1.317
Qualidade	8.390	1.581
Bluetooth	8.453	1.405
GPS	8.478	1.201
Outros	8.587	1.170
Handsfree	8.607	1.358
Antena	8.615	1.128
USB	8.659	1.372
Média Geral	8.61	

A tabela 3.5 evidencia que as reclamações que mais impactam na nota dos usuários ainda são Recepção e Qualidade do som, isto pode ser resultado de que estas funções ainda são as utilizadas com mais frequência no conjunto multimídia, e devido a isto causam mais problemas aos clientes.

De uma forma geral as notas são altas, isto por que problemas com o conjunto multimídia não são tão traumáticos quanto problemas de motor, por exemplo. Nestes casos as notas são menores, e o índice de rejeição é mais alto que no caso desenvolvido neste projeto.

Sobre o algoritmo a priori, foi interessante ver como o software criou as relações entre as variáveis. Uma aplicação interessante poderia ser, em um problema mais complexo, a partir



destas regras de associação gerar as regras para um classificador Fuzzy. Uma outra aplicação direta é enxergar relações que dificilmente seriam intuitivas. Entretanto para o caso específico deste trabalho as regras não seriam aproveitadas já que foram geradas a partir de dados que estavam nulos.

A próxima seção descreve a proposta para o desenvolvimento do sistema que fará a interface entre motorista e carro por meio de comandos de voz, ou escrita. O usuário poderá, enviar solicitações (reclamações ou percepções) para o sistema, e este responderá com dados obtidos via saída OBD.

### 3.2.2 Especificação do Projeto

A premissa inicial é de que a interface de entrada do carro seja um dispositivo conhecido como OBD (On-Board Diagnostic), dispositivo responsável por fazer leituras e possivelmente escritas nas ECUs presentes no veículo.

O estudo de caso utilizando a entrada OBD e smartphone é viável, pois não interfere na qualidade dos dados, apesar de limitar o acesso. Portanto, se o sistema fosse aplicado comercialmente pela montadora o maior interesse seria que o sistema fosse acessado via central de multimídia do veículo.

#### Detalhamento da Proposta

Abaixo é descrito o sistema proposto para solucionar a problemática apresentada na seção 1.2 (Problema).

O sistema deve estar conectado ao veículo de maneira a conseguir extrair eficientemente os DTCs e dados provenientes das ECUs do veículo. A captação dos dados que serão enviados à montadora poderá ocorrer de duas formas distintas:

- Primeira forma de captação:
  1. O motorista notifica a falha ao sistema (A categorização das reclamações provenientes da fala do cliente será feita com base nos dados de histórico de falhas da montadora, por meio de técnicas de mineração de dados).
  2. O sistema acessa as informações das unidades de controle do veículo.
  3. O sistema pode solicitar informações extras ao cliente.
  4. O sistema anexa a notificação do motorista, com as informações obtidas do veículo.
  5. O sistema envia a notificação à montadora.
  
- Segunda forma de captação
  1. O sistema detecta um DTC no veículo.
  2. O sistema acessa as informações das unidades de controle do veículo.
  3. O sistema questiona o motorista sobre sua percepção em relação àquela falha.
  4. O sistema pode solicitar informações extras ao cliente.
  5. O sistema anexa a notificação do motorista, com as informações obtidas do veículo.
  6. O sistema envia a notificação à montadora

Desta maneira, além dos DTCs que serão enviados, a montadora também terá a sua disposição um conjunto de relatórios provenientes dos clientes que possivelmente melhorarão a análise da qualidade do produto entregue ao mercado.

Para melhorar o sistema de diagnóstico, os questionamentos das reclamações foram programados com base na experiência de especialistas que vão determinar a ordem e a lógica das leituras a serem feitas.

Estes especialistas são profissionais que trabalham na área, os quais se terá acesso graças à oportunidade do mestrado em parceria com a montadora.

**Especificação do Sistema** O sistema a ser desenvolvido deve atender aos seguintes requisitos:

1. O cliente deve configurar a conexão bluetooth, entre o dispositivo OBD e o smartphone.
2. O sistema deve procurar automaticamente dentre os protocolos disponíveis, qual se aplica ao veículo conectado ao veículo.
3. O sistema deve permitir que o cliente escolha qual é o protocolo que deseja utilizar.
4. O usuário deve ser avisado pelo aplicativo caso o dispositivo OBD não seja compatível com o sistema do veículo.
5. O aplicativo deve permitir que o usuário habilite/desabilite o bluetooth do smartphone.
6. O aplicativo deve permitir que o usuário habilite/desabilite o GPS do smartphone.
7. O sistema deve possuir um manual rápido para acesso e orientação do motorista em relação às características do veículo.
8. O aplicativo deve permitir que o usuário registre sua impressão sobre um problema percebido no veículo.
9. O aplicativo deve classificar o registro do usuário, em uma determinada categoria de problema.
10. O aplicativo deve enviar a verbalização da impressão do cliente, acompanhado dos dados pertinentes obtidos do OBD para um servidor de propriedade da montadora.
11. O aplicativo deve alertar o usuário caso detecte algum problema com o veículo.
12. O aplicativo deve enviar um problema detectado automaticamente para o servidor da montadora.
13. O aplicativo deve detectar o surgimento de um DTC no sistema.
14. O aplicativo deve enviar a informação do DTC, somado às informações obtidas do OBD e percepções do motorista para um servidor da montadora.
15. O servidor deve oferecer à montadora todo o histórico de registros e DTCs à concessionária, com o intuito de melhorar seus serviços prestados.

Neste projeto foram desenvolvidos estudos de caso que abrangeram problemas ligados ao sistema multimídia e ao motor (estes estudos de casos serão descritos no capítulo de "Experimentos e Resultados"). Devido aos inúmeros sistemas que existem no veículo seria inviável analisar todas as possibilidades no âmbito de um trabalho acadêmico. A escolha deste conjunto de problemas foi feita desta forma, por que segundo o Departamento de Qualidade da montadora, reclamações ligadas à motor representam 82% do total de reclamações obtidas, enquanto o sistema de multimídia foi escolhido devido à proximidade do autor do trabalho com o departamento de multimídia.

A seguir é apresentada a classe de problemas ligada a multimídia:

- HandsFree - problemas ligados à utilização do celular para receber e efetuar ligações;
- Qualidade - problemas ligados à qualidade do som;
- Recepção - problemas ligados à recepção FM do Rádio;
- Bluetooth - problemas ligados à conexão e utilização do bluetooth;
- USB - problemas ligados à conexão de dispositivos na entrada USB do veículo;
- Antena - problemas ligados à antena do veículo (quebra, extravio) e
- GPS - problemas ligados à utilização do sistema de GPS do veículo.

Na área de motores os problemas foram categorizados nas seguintes classes:

- Ruídos e Vibrações;
- Problemas de partida, motor morre quando frio;
- Problemas de partida, motor morre quando quente;
- Marcha lenta instável (parada do motor);
- Falta de potência;
- Falhas e engasgamento;
- Consumo anormal de combustível;
- Escapamento (presença, ou cheiro de fumaça);
- Consumo anormal de óleo;
- Vazamento de Óleo;
- Incidentes Mecânicos;
- Injeção de Gasolina e
- Sistema de Alimentação do Ar.

Definidas então as propostas e as especificações, o capítulo seguinte apresentará detalhes da implementação do sistema proposto.

Na sequência são descritas particularidades do aplicativo desenvolvido.

### 3.2.3 Desenvolvimento do Aplicativo

O aplicativo desenvolvido para este trabalho tem como objetivo integrar usuário, veículo e servidor. A sua concepção foi de maneira a garantir que o usuário tenha possibilidade de:

- Se informar sobre como utilizar seu veículo de maneira otimizada (para isto foram implementados o manual rápido digital, dicas de direção, sugestões de vistorias antes de um viagem longa, guia de revisões programadas, a definição de ícones luminosos, dicas de mecânica automotiva e leis de transito).
- Poder reportar os problemas que percebe no veículo e consequentemente enviá-los à montadora.

#### Informações ao motorista

Seguem as funções voltadas instruir o usuário a utilizar o veículo de maneira utilizada. Na tela inicial do aplicativo, o cliente pode escolher a função “Guia Rápido Digital”. Ao escolher esta função o cliente terá a opção de se informar sobre os seguintes temas: “Abertura e Travamento das Portas”, “Amaciamento do motor”, “Ar Condicionado”, “Caixas de Fusíveis e Reles”, “Chamadas Telefônicas”, “conduzindo o Veículo”, “Dicas para reduzir o consumo de Combustível”, “Eco Drive”, “função CAR”, “Piloto Automático”, “Sandero”, “TPMS”, “Troca de Pneus”. Segue a Figura 3.13.

Figura 3.13: Tela Guia Rápido



Fonte: Autor

A Figura 3.13, exemplifica as informações disponibilizadas pelo Guia Rápido. A ideia é que além de estarem disponíveis para o acesso do usuário, estas informações sejam eventualmente utilizadas no retorno de uma requisição. Exemplo, um cliente reclama que está com a percepção de que o veículo está consumindo combustível excessivamente. Então, dentre as dicas apontadas, o aplicativo sugerirá ao cliente a leitura da página “Dicas para reduzir o consumo de Combustível” contida no Guia Rápido.

Uma lógica similar à esta também foi aplicada para o desenvolvimento das outras telas que buscam informar o cliente sobre a manutenção do veículo. Abaixo a Figura 3.14.

Figura 3.14: Funções de Informação ao Cliente



Fonte: Autor

A Figura 3.15 apresenta o guia de revisões. Com estas informações os clientes podem se informar sobre revisão programada de seus veículos, e assim se programar melhor para a manutenção que está por vir, os dados das revisões contidos nesta função são:

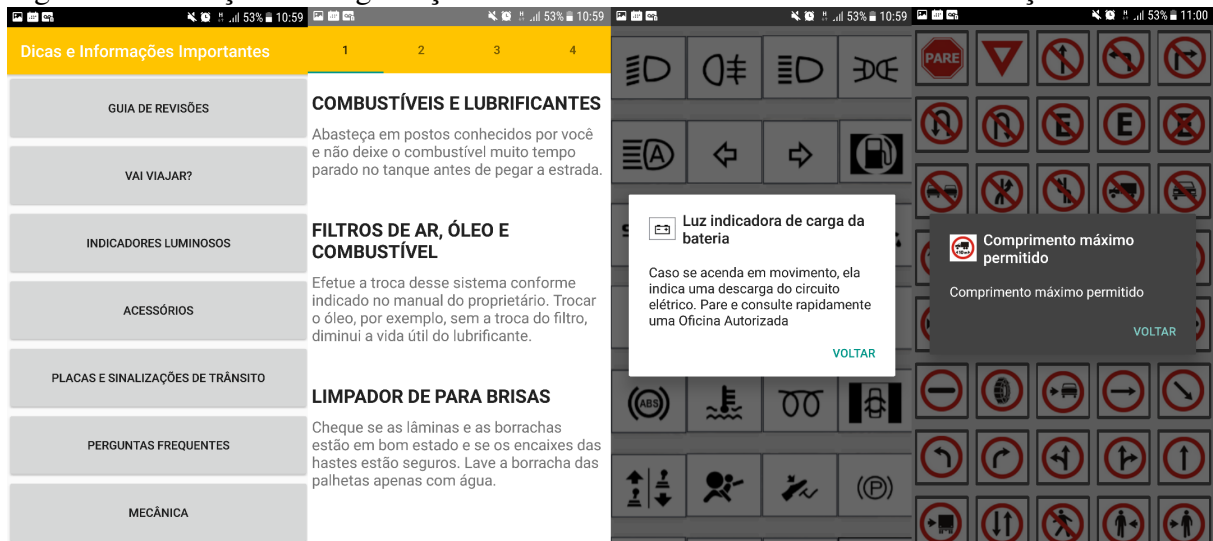
Figura 3.15: Guia de Revisões

<b>10.000 KM</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Óleo de motor</li> <li>• Filtro de óleo</li> <li>• Filtro de ar</li> <li>• Filtro de combustível</li> <li>• Limpeza dos Bicos</li> <li>• Pastilhas de freio e fluído</li> <li>• Alinhamento e Balanceamento</li> <li>• Sistema de iluminação</li> </ul>	<b>20.000 KM</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Óleo de motor</li> <li>• Filtro de óleo</li> <li>• Filtro de ar</li> <li>• Filtro do ar condicionado</li> <li>• Filtro de combustível</li> <li>• Limpeza dos Bicos</li> <li>• Velas de Ignição</li> <li>• Pastilhas de freio e fluído</li> <li>• Alinhamento e Balanceamento</li> <li>• Teste do alternador e bateria</li> <li>• Sistema de iluminação</li> </ul>	<b>30.000 KM</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Óleo de motor</li> <li>• Filtro de óleo</li> <li>• Filtro de ar</li> <li>• Filtro de combustível</li> <li>• Limpeza dos Bicos</li> <li>• Palhetas do para-brisa</li> <li>• Fluído do arrefecimento</li> <li>• Rodízio de pneus</li> <li>• Pastilhas de freio</li> <li>• Alinhamento e Balanceamento</li> <li>• Teste do alternador e bateria</li> <li>• Sistema de iluminação</li> </ul>	<b>40.000 KM</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Óleo de motor</li> <li>• Filtro de óleo</li> <li>• Filtro de ar</li> <li>• Filtro de combustível</li> <li>• Filtro do ar condicionado</li> <li>• Limpeza dos Bicos</li> <li>• Velas de Ignição</li> <li>• Correia dentada e auxiliares</li> <li>• Embreagem</li> <li>• Lonas e Tambores</li> <li>• Amortecedores</li> <li>• Alinhamento e Balanceamento.</li> <li>• Sistema de iluminação</li> </ul>
<b>50.000 KM</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Óleo de motor</li> <li>• Filtro de óleo</li> <li>• Filtro de ar</li> <li>• Filtro de combustível</li> <li>• Limpeza dos Bicos</li> <li>• Palhetas do para-brisa</li> <li>• Alinhamento e Balanceamento</li> <li>• Suspensão e molas</li> <li>• Sistema de iluminação</li> </ul>	<b>60.000 KM</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Óleo de motor</li> <li>• Filtro de óleo</li> <li>• Filtro de ar</li> <li>• Filtro de combustível</li> <li>• Limpeza dos Bicos</li> <li>• Velas de ignição</li> <li>• Correia dentada e auxiliares</li> <li>• Palhetas do para-brisa</li> <li>• Fluído do arrefecimento</li> <li>• Rodízio de pneus</li> <li>• Pastilhas de freio</li> <li>• Lonas e Tambores</li> </ul>	<b>80.000 KM</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Óleo de motor</li> <li>• Filtro de óleo</li> <li>• Filtro de ar</li> <li>• Filtro de combustível</li> <li>• Filtro do ar condicionado</li> <li>• Limpeza dos Bicos</li> <li>• Velas de Ignição</li> <li>• Correia dentada e auxiliares</li> <li>• Embreagem</li> <li>• Lonas e Tambores</li> <li>• Amortecedores</li> <li>• Alinhamento e Balanceamento</li> </ul>	<b>100.000 KM</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Óleo de motor</li> <li>• Filtro de óleo</li> <li>• Filtro de ar</li> <li>• Filtro de combustível</li> <li>• Limpeza dos Bicos</li> <li>• Velas de Ignição</li> <li>• Palhetas do para-brisa</li> <li>• Alinhamento e Balanceamento</li> <li>• Rodízio de pneus</li> <li>• Sistema de iluminação</li> </ul>

Fonte: Autor

Para finalizar a conteúdo informativo do sistema, o aplicativo oferece informações ligadas à segurança, na Figura 3.16.

Figura 3.16: Funções de Segurança - Indicadores Luminosos e Placas e Sinalização de Trânsito



Fonte: Autor

Nesta seção foram demonstradas as funções ligadas a informar o cliente, na próxima seção serão demonstradas as funções referentes a interação entre usuário e veículo.

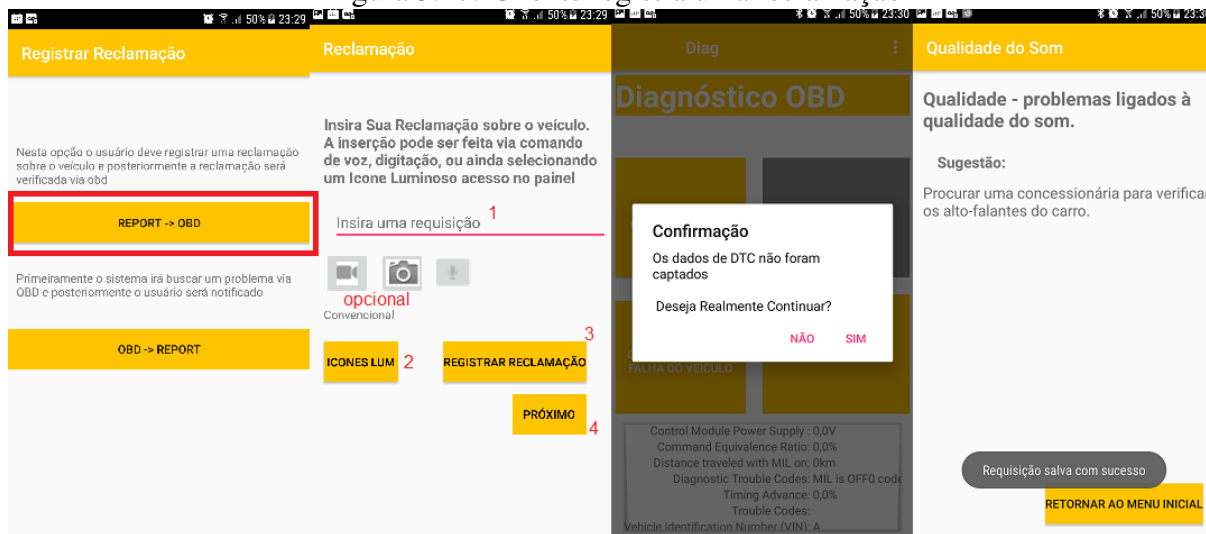
### Interação entre usuário e veículo

A motivação deste trabalho é incluir o cliente no processo de diagnóstico como um "sensor", nesta seção é apresentado o sistema desenvolvido para o diagnóstico interativo proposto.

Quando o usuário do sistema seleciona o diagnóstico, ele tem duas opções: A primeira é escolher registrar uma reclamação; e a segunda é procurar por uma falha no veículo.

Caso o cliente opte por registrar uma reclamação, ele deve primeiramente selecionar a opção "Report->OBD". Ele será então direcionado para a próxima tela. A Figura 3.17 ilustra o processo de registro de percepções do cliente.

Figura 3.17: Cliente registra uma reclamação



Fonte: Autor

Na tela de reclamação o cliente deverá registrar uma percepção sua em relação ao veículo.

O cliente pode optar por registrar dois tipos de percepções na primeira, “Convencional”, ele registra uma reclamação que não está ligada a nenhum ícone luminoso de seu painel. Já na segunda opção o cliente deve selecionar a opção “Ícones Lum”(indicado com 2 na figura 3.17) e então apontar qual é o ícone que ele deseja vincular à sua reclamação.

Adicionalmente, também é possível tirar uma foto ou gravar um vídeo para evidenciar ainda mais o tema central de seu descontentamento.

Após o término do processo de digitação (ou captação por voz), o cliente deve registrar sua reclamação (indicado com 3 na figura 3.17) e pressionar o botão “Próximo”(indicado com 4 na figura 3.17).

O usuário será direcionado para a tela de Diagnóstico, na qual ele deve solicitar a buscar por DTCs, e também deve selecionar uma leitura de dados provenientes da rede CAN. Após o fim deste processo de coleta de dados o cliente será para a página de comentários, na qual ele é instruído a tomar uma atitude em relação ao problema reportado.

Como última ação, o usuário deve finalizar o processo de diagnóstico. É neste momento que os dados colhidos são enviados para o servidor da montadora.

Um exemplo de dados enviados ao servidor pode ser similar ao demonstrado abaixo.

- Data: 24 de J de 2017 - 14:02h
- Nome: Leonardo Presoto
- Tipo: RecOBD
- Texto Reclamação: injeção
- Tipo Reclamação: Convecional
- Classificação Reclamação: Injeção de Ar

- Dados OBD:
- Dados DTC:
- DTC Reclamação:
- Video/Imagem:

No segundo processo de interação entre cliente e veículo, o veículo encontra uma falha no sistema e a encaminha ao usuário para que ele emita uma percepção, que posteriormente será enviada ao servidor da montadora.

Na opção em que carro encontra um problema, o manuseio do sistema é bem similar ao método de registrar reclamações. A única diferença está na ordem com que as telas aparecem para o cliente. Neste caso a primeira tela que aparece é a tela de diagnóstico, posteriormente aparece a tela de Reclamação, e a partir desta etapa o processo é o mesmo.

O dongle OBD-II é o dispositivo que se comunica e retira as informações vindas do carro. É um dispositivo baseado no circuito integrado conhecido como ELM327(ELETRONICS, 2012). Esta arquitetura é compatível com os carros que são produzidos na atualidade, sendo a responsável por detectar os protocolo utilizado pelo veículo, e assim garantir a comunicação via bluetooth entre o veículo e o módulo externo (podendo ser este um computador ou celular, por exemplo (ELETRONICS, 2012). A Figura 3.18

Figura 3.18: OBD Dongle



Os comandos enviados ao veículo seguem o padrão de comandos AT, este padrão é largamente aplicado para a leitura OBD, mais detalhes sobre a especificação destes comandos se encontram no datasheet do ELM327 (ELETRONICS, 2012).

Para o contexto deste projeto escolheu-se trabalhar com uma biblioteca Java conhecida como OBD-java-API<sup>4</sup>, com licença Apache, desenvolvida para aplicar o reconhecimento automático do protocolo utilizado no veículo a ser analisado, e enviar e interpretar os comandos desejados.

O dongle utilizado neste projeto foi adquirido em um site de compras e o seu valor varia de U\$20,00 a U\$50,00.

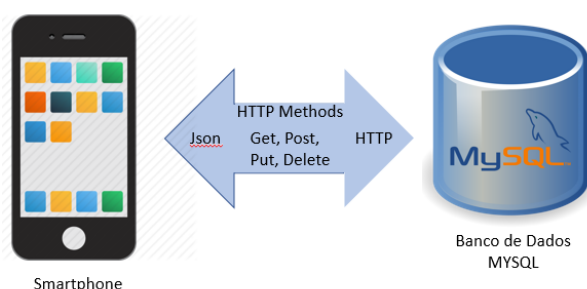
<sup>4</sup>Esta biblioteca está disponível em <https://github.com/pires/obd-java-api>



## Comunicação Aplicativo com o servidor

O servidor foi desenvolvido seguindo o paradigma REST (REpresentation State Transfer), que tem uma implementação mais simples se comparada ao processo descrito na seção anterior. Os dados trocados entre os componentes estão estruturados com o formato JSON (JavaScript Object Notation). A Figura 3.19 apresenta a estrutura do servidor desenvolvido.

Figura 3.19: Estrutura do servidor



No contexto deste trabalho, o protótipo do servidor foi desenvolvido com o banco de dados MySQL, trata-se de um banco que não suportaria a demanda de acesso para a implantação do serviço em ambiente real, porém para a prova de conceito desenvolvida neste trabalho, o banco se mostrou suficiente. As tabelas presentes no banco são:

- **Pessoas:** tabela que guarda os dados dos usuários do sistema. Os dados disponíveis são: id, nome, cpf, endereço, gênero, nascimento, estado civil, telefone, tipo do contato (residencial, particular, trabalho), endereço do trabalho.
- **Carros:** Tabela que mantém os dados do veículo. Os dados são id, marca, modelo, versão, tipo, combustível, ano.
- **notificações:** Tabela que armazena as notificações enviadas pelo cliente. Os dados são id, data, id do cliente, tipo da reclamação, texto da reclamação, tipo da reclamação (convencional, ou ligada a um ícone luminosos), Classificação da reclamação, dados do OBD, dados do DTC, DTC encontrado no carro, vídeo e imagem.
- **Históricos:** tabela que armazena o histórico dos serviços prestados para os clientes> Os dados são id, id concessionária, id carro, id pessoa, tipo da operação, operação, categoria do problema, necessidade de alerta (para casos de perigo como incêndio ou fumaça no veículo).
- **Concessionárias:** Esta Tabela armazena os dados sobre as concessionárias parceiras. Os dados são id, nome, latitude, longitude (para permitir a busca de concessionária mais próxima do cliente), telefone, email, endereço.

Foram desenvolvidos os métodos Get, Put, Post and Delete, que foram utilizados para administrar os dados vindos do celular do cliente. Com esta arquitetura desenvolvida é possível para o cliente registrar suas notificações, e a concessionária manter as informações do cliente consigo. Naturalmente deveria existir um sistema do lado da concessionária que analisasse esta

massa de dados e prestasse ao cliente toda a assessoria necessária. Do ponto de vista deste trabalho foi desenvolvido apenas um retorno confirmando o recebimento das notificações.

Com o sistema descrito nesta seção foi possível simular situações nas quais o cliente efetua uma notificação, o carro busca as informações no veículo e envia para o servidor. Um outro funcionamento possível de ser simulado é o cliente selecionar a função de varredura de DTCs, e caso o sistema encontrasse algo ele avisava ao cliente sobre o erro detectado, e solicitava informações ligadas ao problema detectado com base na numeração de DTC.

No próximo capítulo são descritos os experimentos e resultados obtidos com o sistema e aplicação do questionário.

## Capítulo 4

# EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os experimentos realizados e os resultados obtidos com estes experimentos.

Primeiramente são mostrados três estudos de casos desenvolvidos para avaliar o impacto do sistema proposto na análise do diagnóstico pelo profissional da concessionária. Em seguida são discutidos os resultados obtidos com os questionários que foram aplicados a profissionais que trabalham com diagnóstico automotivo (funcionários que recebem os clientes nas concessionárias, mecânicos, especialista em diagnósticos que trabalham nos projetos dos veículos, engenheiros que tem seu trabalho ligado a problemas referentes a motores ou multimídia, e profissionais da área de qualidade). Por fim, devido à natureza empírica dos experimentos, são discutidas as ameaças que podem invalidar os resultados.

### 4.1 ESTUDOS DE CASO

Nesta seção são apresentados os três estudos de caso desenvolvidos para testar a eficácia em auxiliar no diagnóstico automotivo do sistema desenvolvido. O intuito destes estudos de caso é que eles abranjam três classes de problemas que podem ser detectados com o sistema.

O primeiro estudo de caso caracteriza uma situação na qual uma determinada DTC foi encontrada, e então o sistema solicita informações ao cliente para enriquecer o diagnóstico, antes de enviá-la à concessionária.

No segundo estudo de caso foi levantada uma situação na qual o cliente percebe um problema no carro, e efetua uma reclamação. Então, além das informações obtidas via DTC, também são realizadas algumas questões para facilitar o trabalho do profissional que executará a análise do veículo.

No terceiro caso é tratado um problema que dificilmente é obtido via DTC, além de também não possuir variáveis que o evidenciem. Neste caso apenas a reclamação do cliente e a resposta às perguntas, são utilizadas para o refinamento do diagnóstico.

Os estudos de casos foram desenvolvidos com base em casos reais, que aconteceram na montadora e geraram problema na resolução, devido à falta de informação para diagnosticar o problema. Os analistas entrevistados responderam à questionários que continham estes estudos de casos descritos nas seções seguintes deste capítulo. O intuito era avaliar o quanto as informações obtidas junto ao cliente poderiam influenciar na análise do profissional de diagnóstico.

As perguntas que o cliente tem de responder estão ligadas a cada problema encontrado no veículo, são conjuntos de perguntas que fazem com que o problema possa ser refinado, guiando assim o analista para uma análise mais rápida e objetiva.

O conjunto de perguntas foi selecionado da base de conhecimento da montadora. Estas são as perguntas que idealmente o entrevistador técnico deveria fazer ao cliente. No contexto deste trabalho estas perguntas são feitas no momento que o problema é detectado (pelo carro ou pelo cliente). Assim, a concessionária pode receber com antecedência um relatório do veículo e antecipar a análise antes que o cliente entre com o carro na oficina.

#### **4.1.1 Estudo de Caso com evidência de captação do DTC**

Neste estudo de caso foi avaliada uma situação na qual o usuário seleciona a opção de procurar um problema no veículo, e então o sistema encontra uma DTC. O usuário então é questionado sobre o problema, e as informações são enviadas ao servidor.

##### **Descrição do Estudo de caso:**

O problema que o carro apresentava era um mal acoplamento do chicote elétrico do veículo, de forma que quando o automóvel passava em solo ondulado, o chicote trepidava, e consequentemente, fazia a luz de injeção se acender.

O usuário nota um indicador luminoso acesso no painel de seu veículo. O usuário acessa o sistema, e habilita a função que permite ao software buscar uma possível falha no veículo.

O sistema retorna a informação de que encontrou a DTC número C01061 (que indica falha no sensor de pressão do coletor).

O usuário é direcionado para uma tela, na qual ele deve responder sobre o problema detectado. As perguntas são as seguintes:

1) Qual é a frequência que o indicador luminoso de injeção ascende?

a) Continuadamente

**b) Intermitente**

c) Nunca

**Explicação:** A primeira pergunta visa definir a frequência com que o indicador luminoso se ascende, no caso deste estudo de caso como o problema está ligado a passagem em solo ondulado, o indicador deve ascender de maneira "intermitente". A escolha de "continuadamente" poderia levar o analista a avaliar que o problema pudesse ser no sensor de pressão ou até no calculador de injeção.

2) Em que situação de direção ocorre

a) Solo inclinado

**b) Solo ondulado**

c) Plano

**Explicação:** A segunda pergunta objetiva definir o tipo de solo em que o cliente percebe o problema. No Estudo de caso proposto o problema estava ligado à travessia em solo ondulado. A escolha de “solo inclinado” poderia levar a possibilidade de troca no sensor de injeção (um problema ligado à baixa pressão de injeção de combustível dependendo da ondulação do veículo). Já se o escolhesse a terceira opção, “solo plano”, isto eliminaria a possibilidade de mal acoplamento, levando o analista não executar este teste antes de trocar o calculador do veículo.

3) Problema ocorre com:

a) Motor Frio

b) Motor Quente

**c) Ambos**

**Explicação:** A terceira e última pretende determinar o ponto de temperatura que o motor apresenta problema, neste caso a pergunta é importante para que o analista possa simular as condições exatas com que o problema aparece para o cliente.

Para este estudo de caso as respostas estão indicadas em negrito (“Intermitente”, “Solo ondulado”, “Ambos”). O objetivo por trás destas perguntas é refinar o problema, e orientar o analista para o diagnóstico correto. Adicionando as respostas dadas pelo cliente à DTC detectada no veículo o analista tem mais informações para realizar o seu processo de diagnóstico.

#### **4.1.2 Estudo de Caso com problema diagnosticável**

No segundo estudo de caso foi avaliada uma situação na qual o usuário percebe um mal funcionamento de seu veículo ligado à perda de potência. O usuário, ao perceber o mal funcionamento, registra uma percepção sua no sistema. O sistema, responde ao usuário guiando-o para responder as perguntas necessárias, e posteriormente o sistema sugere informações relevantes sobre o problema classificado.

Neste estudo de caso o cliente relata de falta de potência, o problema é causado pelo mal acoplamento da bomba de combustível em seu alojamento, portanto

##### **Descrição do Estudo de caso:**

O usuário registra uma percepção sua em relação ao mal funcionamento percebido, a frase utilizada pelo cliente é:

“PERCEBI QUE ELE PERDE POTENCIA, CARRO 1.0 O CARRO E MUITO PESADO PARA O MOTOR FRACO COM MAIS DE DUAS PESSOAS NO CARRO, QUALQUER SUBIDINHA ELE PERDE POTENCIA. COMO O MOTOR QUENTE E FRIO. EM BAIXA VELOCIDADE. ELE CHEGA ATE A PRIMEIRA MARCHA AI ELE SOBE”(as palavras chaves identificadas pelo sistema aqui são: “potencia” e “fraco”).

O sistema classifica o problema como “Falta de potência”. Para este caso, nenhum DTC é encontrado, e o sistema não encontra nenhum problema aparente no veículo, que possa evidenciar este mal funcionamento.

Então, o cliente é direcionado para uma tela, na qual ele deve responder sobre o problema detectado. As perguntas são as seguintes:

- 1) Qual é a frequência que o indicador luminoso de injeção ascende?
  - a) Continuadamente
  - b) Intermitente
  - c) **Nunca**

**Explicação:** A primeira pergunta direciona o diagnóstico para a frequência com que o indicador luminoso se ascende no carro. Como o problema é físico (mal acoplamento da bomba em seu alojamento) o sistema do carro fica impedido de gerar DTC, então o indicador luminoso não deve se ascender. Logo a resposta correta é "Nunca".

- 2) Em que situação de direção ocorre
  - a) **Apenas Subida**
  - b) Apenas Descida
  - c) Plano
  - d) Solo ondulado

**Explicação:** A segunda pergunta visa determinar em que condições do o problema ocorre. Neste caso, tanto descida como subida poderiam indicar mal acoplamento. Já "plano" e "ondulado" seriam indicativos de outros tipos de problemas diferentes do proposto no estudo de caso. Consequentemente, as respostas "Apenas subida" ou "apenas descida" são consideradas as corretas.

- 3) Tipo de combustível que o problema ocorre:
  - a) **Álcool**
  - b) Gasolina
  - c) Ambos

**Explicação:** Como o sistema não gerou DTC, é importante perguntar ao cliente com que tipo de combustível o problema é percebido.

- 4) Frequência que percebe este mal funcionamento:
  - a) Continuadamente

b) **Intermitente**

c) Nunca

**Explicação:** Com esta pergunta o analista pode supor se o problema descrito pelo cliente é de fato uma falha no carro, ou uma insatisfação com o veículo. a resposta “Intermitente” é considerada correta, pois o erro, só deve ser evidente quando o carro se encontra inclinado para frente ou para trás.

### 4.1.3 Estudo de Caso com problema não diagnosticável

No terceiro estudo de caso é apresentado a existência de um ruído estranho que ocorre quando o cliente pressiona levemente o pedal de freio. A solução neste caso é realizar a troca dos pinos do cavalete das pinças de freio.

Neste estudo de caso foi avaliada uma situação não diagnosticável pelo sistema do veículo, na qual o cliente relata a existência de um ruído que o incomoda, durante a direção do veículo. O usuário, ao perceber o som desagradável, registra uma percepção sua no sistema. O sistema, responde ao usuário guiando-o para responder as perguntas necessárias, e posteriormente o sistema sugere informações relevantes sobre o problema classificado.

#### **Descrição do Estudo de caso:**

O usuário registra uma percepção sua em relação ao ruído percebido, a frase utilizada pelo cliente é:

“SO QUANDO DIMINUI A VELOCIDADE, ELE FAZ UNS BARULHOS, SOMENTE O BARULHO MESMO. ACHO QUE É UM BARULHO NORMAL. COM MOTOR QUENTE, EM MOVIMENTO. NÃO SEI A MARCHA QUE ELE ESTA.” (a palavra chave identificada pelo sistema é “barulho”, repetida três vezes. Neste caso “marcha”, repetida uma vez, é uma palavra chave para outro problema, porém, há uma prevalência das palavras chaves ligadas à “ruído e vibrações”).

O sistema classifica o problema como “Ruídos e Vibrações”. Para este caso, nenhum DTC é encontrado, e o sistema não encontra nenhum problema aparente no veículo, que possa evidenciar este ruído percebido.

Este caso é o mais dependente das informações do cliente, então o analista precisa ter detalhes de que condições o ruído aparece no veículo. Isto ajudará no processo de simulação da falha pela concessionária.

Então, o cliente é direcionado para uma tela, na qual ele deve responder sobre o problema detectado. As perguntas são as seguintes:

1) O som se concentra em que parte do veículo?

a) **Dianteira**

b) Traseira

c) Central

2) O som ocorre dentro ou fora do habitáculo?

a) Dentro do habitáculo

b) **Fora do habitáculo**

**Explicação:** A primeira e segunda pergunta são importantes para se determinar a área do veículo que deve ser analisada. As respostas marcadas em negrito estão corretas pois a peça que apresenta defeito se encontra na área do motor do carro (ou seja na parte dianteira e exterior ao habitáculo).

3) Tipo do som:

a) **Agudo**

b) Grave

**Explicação:** A terceira pergunta busca definir a natureza do som ouvido pelo cliente. O ruído característico do problema apresentado no estudo de caso é agudo.

4) O som ocorre em qual situação:

a) Quando piso bruscamente no freio

b) **Quando piso levemente no freio**

c) Em solo ondulado

d) Durante a aceleração

**Explicação:** Na última pergunta o objetivo é identificar em qual condição o erro ocorre. A característica do problema relatado é ocorrer quando o motorista pisa levemente no freio.

## 4.2 RESULTADOS OBTIDOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos os estudos de caso propostos na seção 4.1. Como descrito no Método (3.1), experimento realizado para o levantamento de dados foi a aplicação de dois questionários que objetivam demonstrar que os dados das variáveis dos veículos, adicionados às informações oriundos dos usuários otimizam o diagnóstico realizado pela concessionária, por meio de seus analistas.

O primeiro questionário é formado pelos três estudos de caso, porém são ocultadas as informações vindas dos clientes. Neste caso os entrevistados deveriam indicar qual seriam as atitudes a serem tomadas para resolver o problema, em ordem de prioridade. Portanto, na resposta do questionário o entrevistado deveria indicar como 1 a primeira ação que tomaria, 2 a seguinte, e assim sucessivamente. Também seria possível que o entrevistado indicasse alguma outra ação que não estava descrita entre as opções.



O segundo questionário apresentava os mesmos estudos de caso, porém com a adição das informações obtidas dos usuários. Assim como no primeiro questionário, os entrevistados também deveriam indicar a prioridade das ações que tomariam para resolver o problema e questão.

O impacto do sistema proposto no processo de diagnóstico será medido comparando-se o resultado obtido no primeiro questionário, com o resultado obtido com o segundo questionário. O sistema será eficiente na medida que diminui as etapas até que o analista efetue o procedimento correto.

Os questionários estão apresentados no Apêndice D - Questionários.

## 4.2.1 Análise dos resultado obtidos

### Estudo de Caso com evidência de captação do DTC:

A tabela 5.1 apresenta o resultado obtido para o primeiro estudo de caso, no qual os entrevistados responderam apenas com as informações providas do cliente, ou seja, sem as informações adicionais que o aplicativo poderia suprir. Nesta tabela as letras representam as respostas disponíveis para a primeira pergunta dos questionários “1” e “2”, sendo assim, A (Realizar teste de rotação), B (Analisar o sensor de pressão do coletor), C (Analisar o calculador de injeção), D (Analisar a conformidade do chicote elétrico do veículo) e E (Outro método não citado. Qual? - opção discursiva).

Tabela 4.1: Respostas à primeira questão do Questionário 1

	P1	P2	P3	P4	P5	P	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
<b>A</b>	5	4	4	2		4	4	4	4	4	2	4	4	1	4	4	4	4	4	2
<b>B</b>	1	1	1	3		2	2	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	1	1
<b>C</b>	3	5	2	5		3	3	2	3	3	3	2	3	4	2	3	3	3	3	4
<b>D</b>	4	2	3	4		1	1	3	2	2	4	3	1	2	3	2	2	2	2	3
<b>E</b>	2	3		1	1									5	5		5		5	5

Neste caso foi evidenciado que a análise convergia para esta etapa de diagnóstico em média 2 passos. Primeiro o analista efetuar a análise no sensor de pressão do coletor, e posteriormente analisaria o chicote elétrico. O problema é que o analista não possui informações de como o problema ocorreu no veículo, contudo, ele provavelmente trocaria o sensor de pressão do coletor acreditando ser um mal funcionamento no dispositivo. A tabela 5.2 aponta os resultados obtidos com este experimento.

Tabela 4.2: Resultado da primeira questão do Questionário 1

	A	B	C	D	E
<b>Moda</b>	4	1	3	2	5
<b>Frequência da Moda</b>	14	14	11	8	5

É possível notar que para este caso a moda para a opção de análise do chicote é 2 (segunda opção de ação), ou seja, esta ação seria tomada no segundo passo do diagnóstico para oito dos entrevistados. Porém, é importante ressaltar que dos 20 entrevistados, 3 tomariam esta ação como primeira na análise do defeito. Apenas 1 entrevistado não tomaria esta atitude, e oito tomariam depois do segundo passo.

Na tabela 5.3 é apresentado como os entrevistados responderam à primeira questão, quando estes possuíam as informações extras oferecidas pelo aplicativo.

Tabela 4.3: Respostas à primeira questão do Questionário 2

	P1	P2	P3	P4	P5	P	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
<b>A</b>	5		4		1	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	5		4
<b>B</b>	2	2	1		4	3	2	2	1	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2
<b>C</b>	4		2		2	5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	3	3	3
<b>D</b>	1	4	3		3	1	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>E</b>	3			1		2												4		

A tabela 5.4 relaciona os resultados obtidos com este experimento.

Tabela 4.4: Resultado da primeira questão do Questionário 2

	A	B	C	D	E
<b>Moda</b>	4	2	3	1	-
<b>Frequência da Moda</b>	12	14	11	14	NA

Para este experimento houve uma troca de posição entre analisar o sensor de pressão e conformidade do chicote, nesta situação a primeira ação seria verificar o chicote para 14, dos 20 entrevistados. Uma outra mudança considerável é que apenas 4 entrevistados tomariam atitudes diferentes, do que as descritas no passo a passo, mostrando que a análise se fechou em relação à primeira situação. Sendo assim, as informações extras do aplicativo, para este estudo de caso, ajudaram a convergir mais rapidamente para o diagnóstico correto. Mesmo que a melhora tenha sido de apenas uma etapa, isto para a realidade do cliente é impactante visto que ele visitaria menos a concessionária, e conseqüentemente teria seu veículo consertado mais rapidamente.

### Estudo de Caso com problema diagnosticável:

No segundo estudo de caso, o cliente relata problema de falta de potência do veículo que é causado pelo mal acoplamento da bomba de combustível em seu alojamento. Neste caso, o passo C é determinante para a resolução do problema.

Na tabela 5.5 são apresentadas as repostas dos entrevistados, quando estes tinham acesso restrito às informações relativas ao problema. Diferentemente do primeiro estudo de caso, para este experimento não havia um DTC presente, por isto o diagnóstico foi subjetivo e isto é evidenciado variação entre as respostas. A tabela 5.6 resume os resultados obtidos. Nestas tabelas as letras representam as respostas disponíveis para a primeira pergunta dos questionários "1" e "2", sendo assim, A (Analisar os cabos de vela, vela, bobina), B (Realizar teste de rodagem), C (Analisar o acoplamento da bomba no seu alojamento), D (Analisar os injetores de combustível) e E (Outro método não citado. Qual? - opção discursiva).

Tabela 4.5: Respostas à segunda questão do Questionário 1

	P1	P2	P3	P4	P5	P	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
<b>A</b>	3	4	1	2	4	2	3	3	1	3	3	3	3	2	1	1	1	2	3	2
<b>B</b>	1	1	3	1	2	1	2	1	4	1	1	4	2	1	4	4		1	1	1
<b>C</b>	5	5	4	5	5	4	5	4	3	4	5	5		4	3	3	3		5	5
<b>D</b>	4	3	2	4	3	5	4	2	2	2	2	2	4	3	1	2	2	3	2	3
<b>E</b>	2	2		3	1	3	1				4	1	1	5		5	4		4	4

Tabela 4.6: Resultado da segunda questão do Questionário 1

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>Moda</b>	3	1	5	2	1
<b>Frequência da moda</b>	8	11	9	9	4

Com a tabela é possível notar que a opção correta “C -Analisar o acoplamento da bomba no seu alojamento” seria no geral quinto passo no diagnóstico para 9 usuários entrevistados, sendo foi aplicada no terceiro passo para quatro entrevistados, e como quarto passo para cinco analistas. Neste caso a falta de informação influenciou o processo.

Para os entrevistados que responderam ao questionário com informações extras a conclusão também não foi satisfatória, apesar de o resultado ter sido ligeiramente melhor como apresentado nas tabelas 5.7 e 5.8.

Tabela 4.7: Respostas à segunda questão do Questionário 2

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>A</b>	4	2	1	4	3	2	3	4	3	4	3	4	1	2	2	2	3	2	3	
<b>B</b>	2		4	1	1	5	1	2	4	2	4	2	2		1	5	4	1	1	1
<b>C</b>	1		3	2	2	4	5	1	1	3	1	1	4	1	4	4		4	4	
<b>D</b>	3	1	2	3	4	1	4	3	2	5	2	3	3	3	3	3	2	3	5	2
<b>E</b>	5					3	2			1			5			1	1	5	2	

Tabela 4.8: Resultado da segunda questão do Questionário 2

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>Moda</b>	2	1	1	3	5
<b>Frequência da Moda</b>	6	7	6	9	3

É possível notar que o resultado esperado convergiu mais rapidamente para o esperado. As respostas “B” e “C” tem como moda a primeira ação a ser tomada, sendo que sete entrevistados executariam primeiro a ação “B” e seis entrevistados executariam primeiro a ação “C” porém sem ser considerado conclusivo, já que apenas seis respondentes tomaram a ação C. Diferentemente do que ocorreu com o primeiro estudo de caso, aqui o resultado é positivo, porém não é adequado para o cliente, que na sua maioria ainda teria que visitar a concessionária mais de uma vez para ter seu veículo concertado (exceto os que seriam atendidos pelos seis analistas que responderam “C” como primeira opção).

### **Estudo de Caso com problema não diagnosticável:**

As tabelas 5.9 e 5.10 apresentam as respostas obtidas na terceira questão do questionário, quando os respondentes não tinham acesso às informações extras do sistema. Nestas tabelas as letras representam as respostas disponíveis para a primeira pergunta dos questionários “1” e “2”, sendo assim, A (Verificar coxim do motor), B (Realizar teste de rodagem), C (Verificar pinos do cavalete das pinças de freio), D (Verificar se existe folga na bieleta -suspensão dianteira-) e E (Outro método não citado. Qual? - opção discursiva).

Em relação à contribuição com o diagnóstico realizado pelas concessionárias este caso é o que apresenta mais potencial, visto que o mal funcionamento não é detectado pelo sistema

do veículo. Neste exemplo cabe exclusivamente ao cliente perceber o problema e reportar para a concessionária.

Tabela 4.9: Respostas à terceira questão do Questionário 1

	P1	P2	P3	P4	P5	P	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
<b>A</b>	5	3	4		4	4	5	2	4	4	4	4	4	3		2	2		2	4
<b>B</b>	1	1	3	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	4			1	1
<b>C</b>	3	5	1		3	2	4	4	3	3	3	3	2	4		3	1		4	2
<b>D</b>	4	4	3	3	2	3	3	3	2	2	3	2	3	2		1	3		3	3
<b>E</b>	2	2		2		5	1				2			5		5				

Tabela 4.10: Resultado da terceira questão do Questionário 1

	A	B	C	D	E
<b>Moda</b>	4	1	3	3	2
<b>Frequência da moda</b>	9	15	7	10	4

Para a aplicação deste questionário, quinze entrevistados, ou 75% realizariam primeiramente um teste de rodagem para atestar a existência do som relatado pelo cliente. A medida correta para resolver o problema foi em média a terceira opção dos respondentes, sendo que apenas 2 entrevistados realizariam a análise correta, como primeira etapa de diagnóstico.

Por fim, as tabelas 5.11 e 5.12 apresentam os resultados obtidos para o terceiro estudo de caso, com os respondentes tendo acesso às informações do sistema.

Tabela 4.11: Respostas à terceira questão do Questionário 2

	P1	P2	P3	P4	P5	P	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
<b>A</b>	5	1	4	3	2	3	5	3	3	3	3		3	4	5	3	3	3	3	2
<b>B</b>	2	4	2	2	3	4	1	2	2	2	4		2	5	3	2	1	2	2	
<b>C</b>	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
<b>D</b>	4	3	3	4	4	2	4	4	4	4	2		4	3	4	4	4	4	4	3
<b>E</b>	1						3					2		1	2				5	

Tabela 4.12: Resultado da terceira questão do Questionário 2

	A	B	C	D	E
<b>Moda</b>	3	2	1	4	1
<b>Frequência da moda</b>	11	10	17	13	2

Este resultado foi o mais expressivo dentre os estudos de caso, pois a ação correta foi tomada por 17 dos 20 entrevistados, ficando evidente como as informações influenciaram no processo de análise. É a melhora mais impactante já que a solução foi encontrada em duas etapas a menos na média, sendo que 85% saíram da concessionária com o seu problema resolvido na primeira visita.

Trata-se de um caso importante, já que atualmente a concessionária não consegue identificar o mal funcionamento. Esta dificuldade se reflete no processo de teste rodagem, no qual o mecânico deve reproduzir exatamente a situação em que o cliente teve problema; e pela falta de detalhes nem sempre é possível reproduzir o evento como o esperado.

Nos casos neste projeto de pesquisa, outros departamentos se interessaram nos resultados e solicitaram adaptações. Dentre estes é possível citar o departamento de Qualidade, interessado no algoritmo de classificação. Departamento de Incidentologia, interessado no processo de captação da fala pelo celular e também na possibilidade de enviá-los ao servidor. Departamento de rodagem, interessados na possibilidade de utilizar as perguntas relacionadas aos problemas para melhor seu processo de aferição dos veículos. Departamento de informática, que buscou informações sobre o algoritmo para ligar o OBD ao celular.

Além deste supracitados, é possível citar também, serviços conectados, nos quais os clientes poderiam interagir com um sistema de atendimento automatizado, e serem direcionados para os atendentes somente se for necessário.

A seção a seguir discute as limitações do trabalho realizado, que indicam os cuidados que devem ser tomados para que os resultados obtidos empiricamente possam ser reproduzidos. Este levantamento permite reconhecer os pontos a serem melhorados em relação aos métodos aplicados.

#### **4.2.2 Limitações do trabalho realizado**

No experimento de levantamento das palavras chaves, foram estudados casos de reclamações de clientes entre o período de 2012 a 2016. As reclamações relatadas e os defeitos levantados estão fortemente ligados às expectativas e a percepção que o cliente tem em relação ao veículo neste período de tempo.

Se este trabalho for reproduzido com dados de outra época (sendo esta anterior ou posterior à data deste trabalho) as palavras chaves terão que ser reavaliadas, e colocadas em contexto. Por exemplo, se a tecnologia do carro autônomo realmente entrar em uso, talvez toda a percepção do cliente em relação ao veículo mude, e as expectativas mudem de forma com que o seu foco de atenção acompanhe esta mudança. Outro caso é de tecnologias diferentes entre veículos produzidos em anos distintos, como o CD player (presente em carros mais antigos), ou o estacionamento automático (possivelmente um problema que surgirá nos primeiros modelos autônomos).

Com a possibilidade de o usuário interagir diretamente com o volante de seu veículo, os resultados poderiam ser impactados pois os dados poderiam ser captados de maneira mais intensa, possibilitando mais notificações, já que o motorista não precisaria tirar suas mãos do volante ou desviar sua atenção.

A escolha dos casos de uso se deu pelo número de incidentes relatados, e a maneira com que eles são tratados está intrinsecamente ligada ao conhecimento adquirido na montadora que financiou o projeto. Dessa forma, é importante destacar que a maneira de tratar um problema pode variar de montadora para montadora. Neste caso o pesquisador deve se certificar que existe um método pré-definido que deveria ser seguido pelos envolvidos no processo de diagnóstico. Desta maneira ele pode avaliar melhor o impacto do método em seus resultados, já que a maneira dos analistas de concessionária trabalhar está ligada aos métodos definidos pela montadora.

Estes métodos estão relacionados principalmente na captação do conhecimento técnico das montadoras em relação aos defeitos presentes no veículo, pois estas informações foram determinantes para a criação das perguntas a serem realizadas e para árvore de decisão relacionada com cada problema estudado.

O questionário deve ser aplicado em profissionais que trabalhem diretamente com diagnóstico, a introdução de pessoas não especializadas no processo de análise poderia interferir negativamente nos resultados, é necessário que os entrevistados estejam ambientados com o setor automotivo e seus paradigmas.

## Capítulo 5

# CONCLUSÕES

O trabalho teve como foco principal desenvolver um sistema para auxiliar o diagnóstico automotivo usando a percepção do motorista captada pelo smartphone e os dados do veículo obtidos através do OBD, que são mandados para o servidor da montadora; conseqüentemente foram exploradas as informações que o cliente e o veículo podem oferecer para enriquecer o diagnóstico que a concessionária aplica para detectar falhas ou problemas.

Com a aplicação da abordagem proposta é possível criar não só uma análise reativa, mas também, por meio dos dados salvos no servidor, permitir que a montadora seja proativa e se adiante aos problemas que poderão ocorrer com o veículo. Desta maneira, dentre os problemas selecionados para os estudos de caso, buscou-se demonstrar a mais diversa natureza de problemas que poderiam ocorrer, desde problemas detectáveis (com DTC presente), até problemas ligados à ruídos dificilmente são diagnosticáveis pelos sistemas do veículo.

Os experimentos realizados e os resultados obtidos evidenciaram que a integração de informações vindas do cliente pode enriquecer o processo de diagnóstico. Com os casos de estudo foi possível obter uma diminuição no número de ações para a correção no defeito do veículo.

O caso mais evidente de melhora no processo de diagnóstico foi o terceiro estudo de caso (Estudo de Caso com problema não diagnosticável). Sem as informações supridas pelos clientes o analista levaria três análises para chegar à causa do defeito causador do ruído (neste contexto cada análise representa uma nova visita do cliente à concessionária). Dos entrevistados apenas três entrevistados analisariam os pinos do cavalete das pinças de freio em seu primeiro contato com o veículo.

Já com as informações do cliente, 85% dos entrevistados foram direcionados para a ação correta logo no primeiro passo da análise. O processo convergiu mais rapidamente para a solução, diminuindo em dois passos, isto por sua vez, podendo representar duas visitas a menos do cliente à concessionária.

Conclui-se que o método ajudou na melhoria do processo de diagnóstico no ponto de vista das montadoras e concessionárias. Apesar de o estudo ter sido focado em problemas ligados à multimídia ou motores, é possível evoluir o classificador para aceitar mais classes de problemas, aumentando assim a capacidade do sistema em detectar erros.

O descobrimento e tratamento destes casos é importante para que o cliente não seja afetado na utilização de seu veículo. A diferença da quantidade de dias para a descoberta deste tipo de defeito pode representar milhões economizados tanto na adequação dos veículos, quanto na imagem de marca da empresa.

Com o aumento do número de sistemas integrados aos veículos, o diagnóstico está se tornando cada vez mais complexo devido ao elevado número de variáveis que interferem no funcionamento do automóvel. A tendência de mercado é que o veículo se torne autônomo e auto diagnosticável deixando o cliente (e proprietário) em segundo plano no controle do carro. Neste projeto foi avaliada não só a possibilidade de “reintegrar” o motorista no processo de avaliações de defeitos, mas também, de que maneira as informações providas por ele poderiam aprimorar o diagnóstico.

Esta conclusão se deve principalmente às análises do estado da arte e estado da técnica. Do ponto de vista dos trabalhos acadêmicos, não foi encontrado na pesquisa nenhum trabalho no qual o cliente participava tão ativamente do processo. O cliente é mero espectador. Todavia os resultados mostram que as informações comunicadas valor no processo, trazendo ganhos mútuos na relação cliente-concessionária.

O levantamento das informações juntamente com a montadora, foi um aspecto que trouxe dificuldade para o desenvolvimento do trabalho. A empresa conta com muitos documentos e muita gente capacitada. Porém o trabalho se concentrou em sintetizar este conhecimento, que por sua vez é segmentado entre os departamentos responsáveis. Por exemplo, a pessoa que tem conhecimento aprofundado em diagnóstico, não necessariamente conhece os processos aplicados pelo departamento de Qualidade. Portanto, obter as informações coerentes foi o processo que mais demandou tempo de projeto.

A metodologia utilizada para a condução deste trabalho envolveu as seguintes atividades: Análise dos dados de entrevista com clientes da montadora, reconhecimento de fala pela utilização de palavras chaves, desenvolvimento do aplicativo, levantamento dos casos de uso e aplicação do questionário para aferimento dos resultados.

A análise dos dados de entrevistas foi importante para o entendimento de como é a lógica de tratamento de uma um conjunto grande e extenso de problemas por uma montadora que atua em diferentes continentes. Os problemas são categorizados em diversos subproblemas, cerca de 200 ao todo e cada um deles é direcionado para um departamento responsável pelo seu tratamento.

O desenvolvimento do aplicativo e do servidor foi finalizado após o entendimento de como se dava o tratamento dos problemas detectados pelo diagnóstico e o levantamento das perguntas relevantes para cada caso de problema relacionado. A maioria dos componentes do aplicativo foi desenvolvida e implementada autor do deste trabalho, exceto a biblioteca de comunicação entre o dispositivo OBD e o celular, que foi implementada usando uma biblioteca de terceiros.

A aplicação do questionário para aferir os resultados a aplicação da abordagem proposta foi facilitada, pois neste ponto do trabalho, os envolvidos já estavam em sua maioria cientes do projeto e dos objetivos a serem alcançados. Com base nos resultados obtidos foi possível aferir que o sistema proposto realmente interferiu no processo, pois o número de etapas até a resolução dos problemas diminuiu um passo para o primeiro estudo de caso, um passo para o segundo estudo e três passos para o terceiro estudo de caso relacionado à ruídos.

Em trabalhos futuros propõe-se a utilização de outros métodos para a obtenção da fala do cliente, podendo ser um dispositivo diretamente conectado ao carro, dispensando assim a necessidade do celular. Se o objetivo for a aplicação comercial seria necessário substituir o celular pelo sistema de multimídia do veículo.

Um método a ser desenvolvido poderia ser a análise com base no sentimento do cliente, através da definição do nível de satisfação, ou insatisfação no relatório/informe do usuário.



Esta informação pode melhorar a análise pois teria potencial de identificar quais defeitos mais influem na percepção do cliente em relação à qualidade do veículo.

Como opção à análise das palavras chaves, poderia ser desenvolvida uma análise com base em n-gramas; ao invés de se analisar apenas uma palavra por vez, poderia ser analisado a sequência de duas, três ou mais palavras.

O método deste projeto foi aplicado no âmbito automotivo, porém poderia ser expandido para outras áreas e outros produtos, por exemplo o tratamento de um televisor, ou o diagnóstico de um avião particular de pequeno porte. Caso as informações vindas do cliente sejam tratadas de forma adequada, elas podem auxiliar o processo de diagnóstico.

Outra possibilidade seria a avaliação da aplicação do método em outras ECUs do veículo, permitindo assim que o conjunto de problemas suportados pelo sistema proposto possa ser aumentada significativamente.

Há outras possibilidades para avaliar como é a melhor forma de abordar o cliente, selecionar o que deve ou não ser mostrado a ele, criar uma maneira de pontuar o cliente que mais auxilia no processo. Todos estes exemplos são possibilidades de análises que poderiam ser aplicadas em outros ramos de estudo como Marketing, Psicologia ou Administração.

# Referências Bibliográficas

- AGRAWAL, R.; IMIELŃSKI, T.; SWAMI, A. **Mining association rules between sets of items in large databases**. *ACM SIGMOD Record*, ACM, v. 22, n. 2, p. 207–216, 1993.
- AGRAWAL, R.; SRIKANT, R. et al. **Fast algorithms for mining association rules**. In: *Proc. 20th int. conf. very large data bases, VLDB*. [S.l.: s.n.], 1994. v. 1215, p. 487–499.
- AKAMATSU, M.; GREEN, P.; BENGLER, K. **Automotive technology and human factors research: Past, present, and future**. *International journal of vehicular technology*, Hindawi Publishing Corporation, v. 2013, 2013.
- ALIEXPRESS. *Ferramenta de Scanner Automotivo* . 2017. <<https://pt.aliexpress.com/cp/automotive-scanner-online-shopping.html>>. Acesso em: 17 de Julho de 2017.
- ALQASSIM, S. et al. **Sleep apnea monitoring using mobile phones**. In: *IEEE. e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), 2012 IEEE 14th International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 443–446.
- ANFAVEA, A. N. d. F. d. V. A. . *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira*. 2015. <<http://www.anfavea.com.br>>. Acesso em: 15 de Junho de 2015.
- AUTOESPORTE. *Contran suspende obrigatoriedade de chip com rastreador em veículos*. 2016. <<http://g1.globo.com/carros/noticia/2015/10/contran-suspende-obrigatoriedade-de-chip-com-rastreador-em-veiculos.html>>. Acesso em: 07 de Agosto de 2017.
- AUTOMÓVEIS, F. *Novo Uno - Manual de uso e manutenção (2015)* . [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.
- BARBOSA, L. R. G. **Rede CAN**. In: . [S.l.]: Escola de Engenharia da UFMG. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.
- BARONE, S.; D’AMBROSIO, P.; ERTO, P. **A statistical monitoring approach for automotive on-board diagnostic systems**. *Quality and Reliability Engineering International*, Wiley Online Library, v. 23, n. 5, p. 565–575, 2007.
- BENGLER, K. et al. **Three Decades of Driver Assistance Systems**. 2014.
- BERGMEIR, C.; BENÍTEZ, J. M. **Package ‘RSNNS’**. 2015.
- BOSCH, R. *Manual de tecnologia automotiva*. 25ª edição. ed. [S.l.]: Editora Edgard Blucher, 2005.

- BRIN, S. et al. **Dynamic itemset counting and implication rules for market basket data.** In: ACM. *ACM SIGMOD Record*. [S.l.], 1997. v. 26, n. 2, p. 255–264.
- CARSTEN, P. et al. **In-Vehicle Networks: Attacks, Vulnerabilities, and Proposed Solutions.** In: ACM. *Proceedings of the 10th Annual Cyber and Information Security Research Conference*. [S.l.], 2015. p. 1.
- CHEN, S.-H.; CHEN, J.-Y.; LU, K.-Y. **The Use of Cloud Speech Recognition Technology in Vehicle Diagnosis Applications.** In: IEEE. *Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), 2011 Fifth International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 567–570.
- CHEN, Y.-g. **Applications of Bayesian Network in Fault Diagnosis of Braking System.** In: IEEE. *Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2011 International Conference on*. [S.l.], 2011. v. 1, p. 234–237.
- CHO, Y. H.; KIM, J. K.; KIM, S. H. **A personalized recommender system based on web usage mining and decision tree induction.** *Expert systems with Applications*, Elsevier, v. 23, n. 3, p. 329–342, 2002.
- CHRISTIDIS, P.; HIDALGO, I.; SORIA, A. **Dynamics of the introduction of new passenger car technologies.** *Sevilla: IPTS*, 2003.
- CONTRAN. *SIMRAV - Sistema integrado de monitoramento e registro automático de veículos*. 2007. <[http://www.denatran.gov.br/download/resolucoes/resolucao\\_CONTRAN\\_245\\_07.pdf](http://www.denatran.gov.br/download/resolucoes/resolucao_CONTRAN_245_07.pdf)>. Acesso em: 18 de Abril de 2016.
- CORRIGAN, S. **Introduction to the controller area network (CAN).** *Texas Instrument, Application Report*, 2008.
- COX, R. *Introduction to OBD II*. [S.l.]: Delmar Cengage Learning, 2006.
- CULLER, D.; ESTRIN, D.; SRIVASTAVA, M. **Guest editors' introduction: Overview of sensor networks.** *Computer*, IEEE, n. 8, p. 41–49, 2004.
- DENATRAN. *Portaria DENATRAN no. 570/11 Anexo IV Especificação da Tecnologia SINIAV - Especificações Técnicas de Equipamentos SINIAV da geração Zero (G0)*. 2011. <[www.denatran.gov.br/images/Portarias/2011/Portaria5702011.rar](http://www.denatran.gov.br/images/Portarias/2011/Portaria5702011.rar)>. Acesso em: 07 de Agosto de 2017.
- DEPING, G. K. W. **A Preliminary Theoretical Study on Anti Slip Regulation J.** *Journal of Jilin University of Technology*, v. 3, 1997.
- DIEM, E. D. *Method and system for analyzing an on-board vehicle computer system*. [S.l.]: Google Patents, 2003. US Patent 6,529,808.
- EKLUND, U. et al. **A reference architecture template for software-intensive embedded systems.** In: ACM. *Proceedings of the WICSA/ECSA 2012 Companion Volume*. [S.l.], 2012. p. 104–111.

ELETRONICS, E. **ELM327 - OBD to RS232 Interpreter**. *ELM Electronics Datasheets*, 2012.

FARSI, M.; RATCLIFF, K.; BARBOSA, M. **An overview of controller area network**. *Computing & Control Engineering Journal*, IET, v. 10, n. 3, p. 113–120, 1999.

FAYYAD, U. M. et al. **Advances in knowledge discovery and data mining**. the MIT Press, 1996.

FIAT AUTOMÓVEIS. **Bravo - Manual de uso e manutenção (2015)** . [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.

FIAT AUTOMÓVEIS. **Linea - Manual de uso e manutenção (2015)**. [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.

FIAT AUTOMÓVEIS. **Novo Palio - Manual de uso e manutenção (2015)** . [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.

FIAT AUTOMÓVEIS. **Punto - Manual de uso e manutenção (2015)**. [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.

FORD MOTOR COMPANY. **Novo Ka - Manual do Proprietário (2015)**. [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.

GAO, A. L.; WU, Y. X. **A design of voice control car base on SPCE061A single chip**. In: IEEE. *Electronics, Computer and Applications, 2014 IEEE Workshop on*. [S.l.], 2014. p. 214–217.

GILL, N.; WINKLER, M. **"Cars Online 2014 - Generation Connected"**. [S.l.], 2014.

GINZARLY, R.; HOBLOS, G.; MOUBAYED, N. **Decision on prognosis approaches of Hybrid Electric Vehicles' electrical machines**. In: IEEE. *Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAECE), 2015 Third International Conference on*. [S.l.], 2015. p. 175–180.

GRUPO VOLKSWAGEN. [S.l.].

GRUPO VOLKSWAGEN. **Manual Amarok (2015)**. [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.

GRUPO VOLKSWAGEN. **Manual Fox(2015)**. [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.

GRUPO VOLKSWAGEN. **Manual Gol (2015)** . [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.

GRUPO VOLKSWAGEN. **Manual UP! (2015)** . [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.

GUIMARÃES, A. d. A.; SARAIVA, A. M. **O Protocolo CAN: Entendendo e Implementando uma Rede de Comunicação Serial de Dados baseada no Barramento "Controller Area Network"**. *Universidade de São Paulo. São Paulo, SP–Brasil*, p. 10, 2002.

GUIMARÃES, A. de A. **Eletrônica embarcada automotiva**. [S.l.]: Editora Érica, 2007.

- GUIMARÃES, A.; SARAIVA, A. **Um roteiro de implementação de uma rede CAN (Controller Area Network)**. In: *CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA-SIMEA*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 12, p. 2003.
- HAHSLER, M. et al. *CRAN Packages ‘arules*. 2014. <<https://cran.r-project.org/web/packages/arules/index.html>>.
- HALL, M. et al. **The WEKA data mining software: an update**. *ACM SIGKDD explorations newsletter*, ACM, v. 11, n. 1, p. 10–18, 2009.
- HALL, M.; WITTEN, I.; FRANK, E. **Data mining: Practical machine learning tools and techniques**. Kaufmann, Burlington, 2011.
- HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. *Data mining: concepts and techniques*. [S.l.]: Elsevier, 2011.
- HANDEL, P. et al. **Smartphone-based measurement systems for road vehicle traffic monitoring and usage-based insurance**. *Systems Journal, IEEE*, IEEE, v. 8, n. 4, p. 1238–1248, 2014.
- HAYKIN, S.; NETWORK, N. **A comprehensive foundation**. *Neural Networks*, v. 2, n. 2004, 2004.
- HAYKIN, S. S. **Redes neurais artificiais: princípio e prática**. 2a Edição, Bookman, São Paulo, Brasil, 2000.
- HEBB, D. O. *The organization of behavior: A neuropsychological approach*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1949.
- HILL, K. *How Target figured out a teen girl was pregnant before her father did*. 2012. <<http://www.edventure-ga.com/apsistat/Activities/Articles/How%20Target%20Figured%20Out%20A%20Teen%20Girl%20Was%20Pregnant%20Before%20Her%20Father%20Did%20-%20Forbes.pdf>>.
- HONG, J.-H.; MARGINES, B.; DEY, A. K. **A smartphone-based sensing platform to model aggressive driving behaviors**. In: ACM. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. [S.l.], 2014. p. 4047–4056.
- HOTHORN, T. et al. **Package ‘party’**. *Package Reference Manual for Party Version 0.9-998*, v. 16, p. 37, 2015.
- HYUNDAI MOTOR COMPANY. *Veloster - Manual do proprietário (2014)*. [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.
- INOKUCHI, H.; AKIYAMA, T. **Development and verification of estimation model of environmental impact of automobile**. In: IEEE. *Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS), 2012 Joint 6th International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 749–754.
- INSTRUMENTS, N. *"Controller Area Network (CAN) Overview"*. [S.l.], 2014.

- JING, Y. et al. **AndroRC: An Android remote control car unit for search missions**. In: IEEE. *Systems, Applications and Technology Conference (LISAT), 2014 IEEE Long Island*. [S.l.], 2014. p. 1–5.
- JR, C. N. S.; KAESTNER, C. A. **Estudo de métodos automáticos para sumarização de textos**. *Simpósio de Tecnologias de Documentos*, v. 1, p. 45–49, 2002.
- KANEWALA, U.; BIEMAN, J. M. **Testing scientific software: A systematic literature review**. *Information and software technology*, Elsevier, v. 56, n. 10, p. 1219–1232, 2014.
- KANG, L. et al. **EcoDrive: A Mobile Sensing and Control System for Fuel Efficient Driving**. In: ACM. *Proceedings of the 21st Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*. [S.l.], 2015. p. 358–371.
- KEAHEY, T. A. **Getting along: Composition of visualization paradigms**. In: IEEE. *Infovis*. [S.l.], 2001. p. 37.
- KIENCKE, U.; DAIS, S.; LITSCHER, M. *Automotive serial controller area network*. [S.l.], 1986.
- KITCHENHAM, B. **Procedures for performing systematic reviews**. *Keele, UK, Keele University*, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004.
- KITCHENHAM, B. et al. **Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review**. *Information and software technology*, Elsevier, v. 51, n. 1, p. 7–15, 2009.
- KRÜGER, I. et al. **Improving the development process for automotive diagnostics**. In: IEEE. *Software and System Process (ICSSP), 2012 International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 63–67.
- KUSHWAHA, A.; KUSHWAHA, V. **Location based services using android mobile operating system**. 2011. ISSN 2231-1963.
- LI, L. et al. **Cognitive cars: A new frontier for ADAS research**. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 13, n. 1, p. 395–407, 2012.
- LINDAU, L. A. et al. **Benefícios de um programa de renovação acelerada da frota de automóveis no Brasil**. In: *Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes*. [S.l.: s.n.], 2015. v. 29.
- LOGÍSTICA, N. . *As Dúvidas e Confusões a respeito dos Sistemas SINIAV e SIMRAV*. 2012. <<http://www.portalntc.org.br/servicos/as-duvidas-e-confusoes-a-respeito-dos-sistemas-siniav-e-simrav/47317>>. Acesso em: 07 de Agosto de 2017.
- LU, Y.; CHEN, T. Q.; HAMILTON, B. **A fuzzy diagnostic model and its application in automotive engineering diagnosis**. *Applied Intelligence*, Springer, v. 9, n. 3, p. 231–243, 1998.

LUHN, H. P. **The automatic creation of literature abstracts.** *IBM Journal of research and development*, IBM, v. 2, n. 2, p. 159–165, 1958.

MACARIO, G.; TORCHIANO, M.; VIOLANTE, M. **An in-vehicle infotainment software architecture based on google android.** In: IEEE. *Industrial Embedded Systems, 2009. SIES'09. IEEE International Symposium on*. [S.l.], 2009. p. 257–260.

MACQUEEN, J. et al. **Some methods for classification and analysis of multivariate observations.** In: OAKLAND, CA, USA. *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*. [S.l.], 1967. v. 1, n. 14, p. 281–297.

MAGE, M. A. G.; SOUZA, V. R. P. de; SANTOS, J. J. dos. **PRINCÍPIO DA PROPORCIONALIDADE E OS ARTIGOS 302 E 303 DO CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO.** *ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-ISSN 21-76-8498*, v. 1, n. 1, 2009.

MANZONI, C. A. S. **A QUALIDADE DE SERVIÇOS COMO DIFERENCIAL COMPETITIVO EM CONCESSIONÁRIAS DE AUTOMÓVEIS.** [S.l.]: Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Brasil., 2010.

MCCALL, J. C.; TRIVEDI, M. M. **Driver behavior and situation aware brake assistance for intelligent vehicles.** *Proceedings of the IEEE*, IEEE, v. 95, n. 2, p. 374–387, 2007.

MESCHTSCHERJAKOV, A. et al. **Computerized experience sampling in the car: Issues and challenges.** In: ACM. *Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. [S.l.], 2013. p. 220–223.

MILLER, C.; VALASEK, C. **Adventures in automotive networks and control units.** In: *DEF CON 21 Hacking Conference. Las Vegas, NV: DEF CON*. [S.l.: s.n.], 2013.

MINSKY, M.; PAPERT, S. **Perceptrons.** MIT press, 1969.

MORI, F. M. **Uma metodologia de desenvolvimento de diagnóstico guiado para veículos automotivos.** [S.l.]: UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014. <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/981>>.

MURPHY, S.; NAFAA, A.; SERAFINSKI, J. **Advanced service delivery to the Connected Car.** In: IEEE. *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2013 IEEE 9th International Conference on*. [S.l.], 2013. p. 147–153.

NAGY, D. **System for monitoring, controlling, and reporting vehicle operation through onboard diagnostic port.** [S.l.]: Google Patents, 2007. US Patent App. 11/715,590.

NEAIMEH, M. et al. **Investigating the effects of topography and traffic conditions on the driving efficiency of Electric Vehicles to better inform smart navigation.** IET, 2012.

NOLTE, T.; HANSSON, H.; BELLO, L. L. **Automotive communications-past, current and future.** In: *2005 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*. [S.l.: s.n.], 2005. v. 1, p. 8 pp.–992. ISSN 1946-0740.

- NOLTE, T.; HANSSON, H.; BELLO, L. L. **Automotive communications-past, current and future**. In: IEEE. *Emerging Technologies and Factory Automation, 2005. ETFA 2005. 10th IEEE Conference on*. [S.l.], 2005. v. 1, p. 8–pp.
- NORVIG, P.; RUSSELL, S. **Inteligência Artificial, 3a Edição**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2014. v. 1.
- OCHI, L. S.; DIAS, C. R.; SOARES, S. S. F. **Clusterização em Mineração de Dados**. Instituto de Computação-Universidade Federal Fluminense-Niterói, 2004.
- OLIVEIRA, L. P.; WEHRMEISTER, M. A.; OLIVEIRA, A. S. **Systematic Literature Review on Automotive Diagnostics**. In: *2017 VII Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC)*, Los Alamitos: IEEE, v. 1, p. 1–8, 2017.
- PAEFGEN, J. et al. **Driving behavior analysis with smartphones: insights from a controlled field study**. In: ACM. *Proceedings of the 11th International Conference on mobile and ubiquitous multimedia*. [S.l.], 2012. p. 36.
- PALLADINO, A.; FIENGO, G.; LANZO, D. **A portable hardware-in-the-loop (HIL) device for automotive diagnostic control systems**. *ISA transactions*, Elsevier, v. 51, n. 1, p. 229–236, 2012.
- PAULA, M. C. et al. **An embedded VDTN testbed for the evaluation of vehicular safety systems**. In: IEEE. *ITS Telecommunications (ITST), 2011 11th International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 1–6.
- POSTOLACHE, M.; NEAMTU, G.; TROFIN, S. D. **CAN-Ethernet gateway for automotive applications**. In: IEEE. *System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2013 17th International Conference*. [S.l.], 2013. p. 422–427.
- RENAULT DO BRASIL. **Renault Clio - Manual do Proprietário (2015)**. [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.
- RENAULT DO BRASIL. **Renault Duster - Manual do Proprietário (2015)**. [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.
- RENAULT DO BRASIL. **Renault Duster 2 - Manual do Proprietário (2015)**. [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.
- RENAULT DO BRASIL. **Renault Fluence - Manual do Proprietário (2015)**. [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.
- RENAULT DO BRASIL. **Renault Logan - Manual do Proprietário (2015)**. [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.
- RENAULT DO BRASIL. **Renault Sandero - Manual do Proprietário (2015)**. [S.l.], 2015. Acesso em: 16 de Junho de 2015.
- RIENER, A. **Driver-vehicle confluence or how to control your car in future?** In: ACM. *Proceedings of the 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. [S.l.], 2012. p. 217–224.



- RIENER, A.; REDER, J. **Collective Data Sharing to Improve on Driving Efficiency and Safety**. In: ACM. *Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. [S.l.], 2014. p. 1–6.
- SAGSTETTER, F. et al. **Security challenges in automotive hardware/software architecture design**. In: EDA CONSORTIUM. *Proceedings of the Conference on Design, Automation and Test in Europe*. [S.l.], 2013. p. 458–463.
- SALCIANU, M.; FOSALAU, C. **A new CAN diagnostic fault simulator based on UDS protocol**. In: IEEE. *Electrical and Power Engineering (EPE), 2012 International Conference and Exposition on*. [S.l.], 2012. p. 820–824.
- SALUNKE, A.; JAKHETE, M. **Designing and Modeling of Distant Words Recognition Pattern System for the Motion Control Systems in Vehicles**.
- SAMPLETEMPLATE. *Decision Tree*. 2017. <<https://www.sampletemplates.com/business-templates/decision-tree-template.html>>. Acesso em: 17 de Julho de 2017.
- SANTANA, A. L.; SANTIAGO, R. de. **Sistemas Distribuídos para Redes Automotivas**. *Anais do Computer on the Beach*, p. 437–439, 2014.
- SANTOS, M. M. D. R. d. **Comunicação automotiva: características, tecnologias e aplicações**. São Paulo: Érica, 2010.
- SCHITTENHELM, H. **The vision of accident free driving—how efficient are we actually in avoiding or mitigating longitudinal real world accidents**. In: *Proceedings of the 21st International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*. Washington DC: National Highway Traffic Safety Administration. [S.l.: s.n.], 2009.
- SCHNEIDERMAN, R. **Car makers see opportunities in infotainment, driver-assistance systems [special reports]**. *IEEE Signal Processing Magazine*, v. 1, n. 30, p. 11–15, 2013.
- SEIDEL, E. J. et al. **Comparação entre o método Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite**. *Ciência e Natura*, Universidade Federal de Santa Maria-Centro de Ciências Naturais e Exatas, v. 30, n. 1, p. 7, 2008.
- SILVA, B. S. S. *Desenvolvimento de software embarcado automotivo aderente ao padrão AUTOSAR*. 2015.
- SKOG, I.; HÄNDEL, P. **In-car positioning and navigation technologies—A survey**. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 10, n. 1, p. 4–21, 2009.
- STARON, M. *Automotive Software Architectures: An Introduction*. [S.l.]: Springer, 2017.
- STD, I. **15031-6 road vehicles-communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics-part 6: Diagnostic trouble code definitions**. Iso. *International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland*, 2005.
- STUDIO, R. **R Studio: integrated development environment for R**. *Version 0.98*, v. 1048, 2012.

SURESH, V.; NIRMALRANI, V. **Android based vehicle diagnostics and early fault estimation system**. In: IEEE. *Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC), 2014 International Conference on*. [S.l.], 2014. p. 417–421.

SZYMAŃSKI, G. et al. **Application of time–frequency analysis to the evaluation of the condition of car suspension**. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Elsevier, v. 58, p. 298–307, 2015.

TANENBAUM, A. S. **Computer networks, 4-th edition**. ed: Prentice Hall, 2003.

TANG, K. et al. **Development of a remote telemetry and diagnostic system for electric vehicles and electric vehicle supply equipment**. In: IEEE. *Control and Automation (ICCA), 2013 10th IEEE International Conference on*. [S.l.], 2013. p. 609–613.

TELLES, P. E. et al. **O DESAFIO DO INOVAR AUTO NO AVANÇO TECNOLÓGICO DA SEGURANÇA VEICULAR NO PAÍS**. 2014. 481–490 p.

VAIDYA, A.; KOLTE, M. **Design and Implementation of Intelligent Vehicle System based on ARM Cortex**.

VARRIER, S.; KOENIG, D.; MARTINEZ, J. **Robust fault detection for vehicle lateral dynamics**. In: IEEE. *Decision and Control (CDC), 2012 IEEE 51st Annual Conference on*. [S.l.], 2012. p. 4366–4371.

VASCONCELOS, L. d.; CARVALHO, C. d. **Aplicação de regras de associação para mineração de dados na web**. *Relatório Técnico*, 2004.

WANG, J.-S.; KNIPLING, R. R.; GOODMAN, M. J. **The role of driver inattention in crashes: New statistics from the 1995 Crashworthiness Data System**. In: *40th Annual proceedings of the association for the advancement of automotive medicine*. [S.l.: s.n.], 1996. v. 377, p. 392.

WANG, Z. et al. **Design of an arduino-based smart car**. In: IEEE. *SoC Design Conference (ISOCC), 2014 International*. [S.l.], 2014. p. 175–176.

WITTEN, I. H. et al. **Data Mining: Practical machine learning tools and techniques**. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2016.

WOLZ, U. **The required technologies for Automotive towards 2020**. In: IEEE. *Design Automation Conference (ASP-DAC), 2015 20th Asia and South Pacific*. [S.l.], 2015. p. 1–1.

WOO, S.; JO, H. J.; LEE, D. H. **A practical wireless attack on the connected car and security protocol for in-vehicle can**. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 16, n. 2, p. 993–1006, 2015.

YOON, J.-H. et al. **Communication architecture and application for vehicle to nomadic devices communication**. In: IEEE. *Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2014 International Conference on*. [S.l.], 2014. p. 681–682.

YOU, S.; KRAGE, M.; JALICS, L. **Overview of remote diagnosis and maintenance for automotive systems**. *SAE Technical Paper*, Citeseer, p. 1–8, 2005.

YOUNG, K.; REGAN, M.; HAMMER, M. **Driver distraction: A review of the literature.** *Distracted driving*, p. 379–405, 2007.

YUN, D. S.; LEE, S.-J. et al. **A study on the vehicular wireless base-station for in-vehicle wireless sensor network system.** In: IEEE. *Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2014 International Conference on.* [S.l.], 2014. p. 609–610.

ZALDIVAR, J. et al. **Providing accident detection in vehicular networks through OBD-II devices and Android-based smartphones.** In: *Local Computer Networks (LCN), 2011 IEEE 36th Conference on.* [S.l.: s.n.], 2011. p. 813–819. ISSN 0742-1303.

ZALMAN, R.; MAYER, A. **A secure but still safe and low cost automotive communication technique.** In: ACM. *Proceedings of the 51st Annual Design Automation Conference.* [S.l.], 2014. p. 1–5.

## Apêndice A

# APÊNDICE A - LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Neste apêndice é apresentado o processo de pesquisa que foi realizado para o levantamento e caracterização do problema a ser resolvido por este trabalho.

A ferramenta de pesquisa escolhida neste caso foi o questionário, trata-se de um método de levantamento de dados no qual o entrevistado deve responder a uma sequência de perguntas, sem que haja interação com o entrevistador. O sucesso no levantamento de dados com o questionário está ligado à qualidade das questões formuladas.

O questionário proposto para este trabalho foi composto por 6 afirmações, com as quais os entrevistados deveriam indicar o seu nível de concordância por meio de múltipla escolha. As opções de respostas para as afirmações eram: “Concordo Completamente”, “Concordo Parcialmente”, “Indiferente”, “Discordo Parcialmente”, “Discordo Completamente”.

A intenção deste questionário é avaliar a qualidade do processo de diagnóstico desenvolvido pelas concessionárias credenciadas, abaixo são apresentadas as 6 afirmações de pesquisa:

- Afirmação A** O método de diagnóstico realizado pelas concessionárias é executado em conformidade com o sugerido pela montadora
- Afirmação B** O método de diagnóstico das concessionárias apaga indevidamente DTCs que estavam presentes no veículo no momento de sua chegada.
- Afirmação C** O não envio das DTCs (presentes no veículo no momento de sua chegada à concessionária), é uma falha relevante para a análise das causas raízes<sup>1</sup> realizada pela Engenharia/Qualidade
- Afirmação D** O método de reparo das concessionárias, utilizando ferramentas de diagnóstico (scanner automotivo) gera falsas DTCs que não estavam presentes no recebimento do veículo.
- Afirmação E** A montadora poderia melhorar a eficiência/eficácia a sua ferramenta de diagnóstico em relação a atual
- Afirmação F** Esta melhoria, proposta na afirmação anterior, é imperativa para aumentar a completude e confiabilidade diagnóstico automotivo atual

---

<sup>1</sup>o termo “causas raízes” neste contexto se refere aos eventos responsáveis pelas falhas no veículo que poderão gerar reclamações futuras por parte do cliente

A afirmação "A" busca determinar a opinião do entrevistado em relação a como o processo de diagnóstico vem sendo realizado pelas concessionárias, e se este está realmente de acordo com o que é proposto pela montadora, o ponto importante aqui é determinar se, na opinião dos entrevistados, há ou não discrepância entre o método proposto pela montadora e o realmente executado pelas concessionárias.

Tanto a afirmação "B", quanto a "D", avaliam processo de diagnóstico realizado pela concessionária. Quando o veículo chega para a revisão o mecânico, supostamente, apaga todas as DTCs que estavam presentes no veículo, para que estas sejam novamente carregadas na memória do veículo. Porém, apenas as panes presentes são recarregadas prontamente, sendo assim é provável que as panes memorizadas se percam devido a este procedimento, supostamente, executado pelo mecânico da concessionária.

Já as falsas DTCs podem ser geradas no processo de revisão; se durante a troca de uma peça, por exemplo, ou qualquer outro processo invasivo ao sistema do veículo. Caso a troca ou concerto da peça não ocorra de maneira correta, pode ser que o cliente saia da revisão com um aviso de DTC que não estava presente no veículo no momento que se iniciou o diagnóstico.

O intuito da afirmação "C", é descobrir se, na opinião dos entrevistados, o não envio das DTCs presentes no veículo na chegada à concessionária pode impactar negativamente no trabalho de análise das causas raízes, realizado na montadora pelos departamentos de Qualidade e Engenharia.

As afirmações "E" e "F" buscam determinar respectivamente, a opinião dos entrevistados, se a montadora poderia melhorar seu processo de diagnóstico; e se esta mudança seria realmente importante para a melhoria da confiabilidade e completude do processo realizado atualmente.

Para o levantamento estatístico das respostas, cada opção de resposta ganhou um valor variando de um a cinco, a Tabela A.1 apresenta a relação entre os valores de cada opção de resposta.

Tabela A.1: Valores relacionados ao grau de concordância do entrevistado

Concordo Completamente	5
Concordo Parcialmente	4
Indiferente	3
Discordo Parcialmente	2
Discordo Completamente	1

O questionário foi aplicado em 16 profissionais do Departamento de Engenharia, que tem suas funções impactadas diretamente pelo diagnóstico automotivo realizado pelas concessionárias. Destes 16 questionários aplicados, apenas um foi devolvido em branco. Portanto, na análise das estatísticas este questionário foi descartado. O resultado obtido com o questionário é apresentado na Tabela A.2.

Tabela A.2: Resultado do Questionário

ID	Idade	Anos Trabalhados na empresa	A	B	C	D	E	F
1	27	0.83	2	5	5	3	4	5
2	27	1	3	3	5	5	4	4
3	28	3	4	5	4	3	5	5
4	29	2	1	4	5	4	5	5
5	31	5	4	3	5	3	5	5
6	32	1,5	2	4	4	2	5	5
7	32	8	2	4	5	2	3	3
8	32	10	4	4	2	1	5	4
9	32	10	4	4	4	2	4	4
10	33	8	2	4	5	1	5	5
11	35	1	4	4	5	2	5	5
12	36	10	4	4	5	3	4	5
13	38	1	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo
14	42	18	3	4	5	3	5	5
15	48	18	4	4	5	4	4	4
16	50	17	1	4	5	3	5	5

Com os resultados apresentados na Tabela A.2, foi realizada uma análise estatística de cada afirmação. A Tabela A.3 ilustra esta análise.

Tabela A.3: Estatística obtida com o questionário

Afirmação	Num de Respostas	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão
<b>A</b>	15	1	4	3	2,93	1,16
<b>B</b>	15	3	5	4	4,00	0,53
<b>C</b>	15	2	5	5	4,60	0,83
<b>D</b>	15	1	5	3	2,73	1,10
<b>E</b>	15	3	5	5	4,53	0,64
<b>F</b>	15	3	5	5	4,60	0,63

Como resultado desta pesquisa é possível concluir que, em relação às afirmações A, B, C e D, os engenheiros tendem a pensar que o método sugerido pela montadora não é completamente seguido pelas concessionárias (A). Isto por que a concessionária muitas vezes não envia os dados colhidos do veículo à montadora (C), apaga indevidamente os DTCs gravados(B), e pode incluir novos erros que não estavam presentes no veículo, quando este chegou à concessionária (D).

Em relação a esta situação descrita no paragrafo anterior, é possível concluir (com o resultado das afirmações E e F) que para os entrevistados a montadora poderia trabalhar para melhorar a eficiência do seu método atual. Sendo esta melhoria imperativa para otimizar a maneira que o diagnóstico automotivo é aplicado atualmente.

## Apêndice B

# APÊNDICE B - REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

### B.1 INTRODUCTION

The systematic review is an evaluating interpretation of the most relevant publications for a certain research or phenomenon in which the reviewer is interested (KITCHENHAM, 2004). The general goal of a systematic review is allowing the performance of a review on scientific papers in order to group concepts around a topic. Through analysis criteria, the systematic review allows the assessment of paper quality.

The goal of this process is identifying which are the most common problem techniques in automotive diagnostics, and, in doing so, defining new challenges to be approached.

According to the “Brazilian Automotive Industry Yearbook (ANFAVEA, 2015), the Brazilian production in 2014 was of 71.2 million assembled vehicles, employing about 1.5 million people who work directly or indirectly in the automotive industry.

Brazilian automotive industry, according to (TELLES et al., 2014), generated in 2013 5% of Brazil’s total GDP <sup>1</sup>, and 25% of the industrial GDP. These numbers accounted for a revenue above US\$ 100 billions a year at the time. In 2014, the share of industrial GDP decreased to 23%, but the billing reached the US\$ 110 billions mark (ANFAVEA, 2015).

In order to improve the product offered to the client and, obviously, increase sales, the automakers have been adding new functions and new systems to meet the demand coming from the market. However, this evolution has some negative aspects for the automakers with the increased complexity of projects and its vehicles.

Besides the increased complexity of the automobile, the automakers will also have to enhance the techniques to diagnose problems and failures in the vehicles ECUs. Failures are detected thanks to DTCs <sup>2</sup>, codes generated by ECUs which determine the malfunction in a given system.

Currently the diagnosis is made both in the end of the production line (when the vehicle passes through an intense battery of tests), and at the dealers (when a client detects a malfunction and seeks technical assistance).

---

<sup>1</sup>GDP - Gross Domestic Product

<sup>2</sup>Diagnostic Trouble Codes

Automobiles may be considered as Onboard Distributed Systems (NOLTE; HANSSON; BELLO, 2005b), as they comprise several modules controlled by the ECM-Electronic Control Module.

From this complex architecture, which must work safely, arose a need to develop ideas for automotive diagnostics. Mechanisms and protocols were created to exchange information between ECM modules, and the creation of DTC (Data Trouble Control), whose main role is storing fault codes detected in vehicles.

These control systems resulted in the concept of “on-board diagnostic”(OBD), which is simply the appropriate collection of data from the ECM and DTC by an external equipment. OBD has evolved from a simple engine trouble indicator light to a complex system that allows for the prognosis, identification, and solution of different vehicle problems.

As studies show (NOLTE; HANSSON; BELLO, 2005b), (CHRISTIDIS; HIDALGO; SORIA, 2003), (SKOG; HÄNDEL, 2009), (BENGLER et al., 2014),(AKAMATSU; GREEN; BENGLER, 2013),(LI et al., 2012), there is a trend for vehicles to become increasingly more complex and more connected. As such, diagnostics processes tend to progress along with the evolution of automotive technology, since with more systems embedded in a vehicle it becomes harder to coordinate all of them in order for components to work harmoniously.

This article is structured as follows:

- Section II presents the method through which the systematic review was developed;
- Section III presents the results obtained from the systematic review (the answers to each question in the survey);
- Section IV presents a discussion on the results obtained;
- Section V lists the final conclusions and the definitions for future work;

## **B.2 METHOD**

This study was developed based on the guidelines suggested by Kitchenham in papers (KITCHENHAM, 2004) and (KITCHENHAM et al., 2009). In the first, the author proposes a method for developing a systematic literature review and, in the second, she applies the previously proposed techniques. The method is divided in 6 steps, which are presented in this section.

### **B.2.1 Research Questions**

The purpose of a systematic review is finding the main approaches developed in a certain field of study and then defining the problems that still need to be addressed in that field. However, it is necessary for the researcher to clearly understand the topic to be approached.

In this case, the topic of study is automotive diagnostics. The following are the selected Research Questions (RQ):

RQ1 - What are the main challenges in automotive diagnostics?

RQ2 - What are the methods most often used?

RQ3 - What are the difficulties found in those methods?



RQ4 - What problems still need to be discussed in automotive diagnostics?

RQ1 will likely be obtained by analyzing the introductions, general goals and conclusions found in the publications. The goal is becoming aware of the main topics of research within automotive diagnostics.

As an example, maybe the challenge in the field is not extracting data from vehicles, that problem may have been solved, and the main concerns of authors is studying the consistency and reliability of data. By answering this question, it will be clear which stages of diagnostics (extraction, sending or analysis) need to be further developed in research.

With RQ2, the goal is assessing what are the main methods and tools used by researchers, as well as which have become obsolete. The intention is finding the trends that researchers are following.

Related to RQ2, RQ3 aims to determine what are the difficulties met by the methods and tools used, i.e., what are the concerns that apply when selecting a given tool.

As for RQ4, the most important and also the most challenging to be detected in texts, aims to list the problems that have not been solved by the papers. It is possible that information is implicit in final conclusions or presented more explicitly in suggestions for future work.

## B.2.2 Research Process

The research process was performed in the main repositories available on the Internet:

- Google Scholar
- IEEE Xplorer
- ACM
- Direct Science
- Springer
- Wiley Online Library

It is worth mentioning that Google Scholar is not a repository but a search engine. Google Scholar indexes many distinct repositories including the ones mentioned above. Thus, it was included in this research process in order to increase the reach of the search procedure.

Searches were performed based on the following search tags:

- *car diagnostic*
- *automotive diagnostic*
- *automobilistic diagnostic*

Furthermore, the search was filtered for papers published from 2011 and sorted according to their respective relevance (these depositories rate relevance mainly by the number of citations in other works). Table B.1 shows the total number of papers found when searching each of the repositories.

The number of papers found represent only the result from tag filters and year of publication, however the use of the search term “diagnostic” yielded several papers from different fields, unrelated to automotive topics. These papers were filtered out in the “Inclusion and Exclusion Criteria” stage, which shall be explained below.

Tabela B.1: TOTAL PAPERS FOUND IN ONLINE REPOSITORIES

	No. of Papers Found
Google Scholar	241.000
IEEE Xplorer	3343
ACM	369
Direct Science	15315
Springer	73705
Wiley Online Library	64302

### B.2.3 Inclusion and Exclusion Criteria

The results of the previous step were “manually” filtered, with papers selected based on their titles and relevance. Table B.2 presents the number of papers selected from each repository for further review during this trial.

Tabela B.2: PAPERS FILTERED BY TITLE

	No. of Papers Found
Google Scholar	36
IEEE Xplorer	31
ACM	20
Direct Science	5
Springer	15
Wiley Online Library	3

From the total of 110 publications listed in B.2, a new filter was performed based on the summaries, keywords and inclusion and exclusion criteria presented in Table B.3, which was prepared based on the paper submitted by (KITCHENHAM, 2004).

Tabela B.3: INCLUSION CRITERIA

<b>Inclusion Criteria</b>
Paper describes work steps in detail
Studies that present results clearly
Papers that discuss results, strengths and weaknesses of research
Papers that describe tests and assessments of chosen methods
Studies focused on automotive diagnostics

Papers that passed this evaluation are those that have been actually analyzed during the systematic review. Table B.4 lists the number of papers selected from each repository:

In the end of this article the Table B.5 shows each papers and their respective repositories.

Tabela B.4: PAPERS SELECTED FOR SYSTEMATIC REVIEW ANALYSIS

	No. of Papers Selected
Google Scholar	14
IEEE Xplorer	15
ACM	7
Direct Science	2
Springer	1
Wiley Online Library	1

## B.2.4 Quality assessment of selected studies

According to what was proposed by (KANEWALA; BIEMAN, 2014), a ranking was created in order to rate papers according to their concordance to the topic and the quality of the paper. Quality Issues (QI) are:

QI1 Is the paper's goal clear?

QI2 Does the assessment approach the goals?

QI3 Can the method be replicated?

QI4 Are results shown in detail?

For each of these quality issues, articles were rated as: Yes (Y), when the issue is addressed in the text, Partial (P) when the issue is partially addressed in the text, and No (N), when the issue is not addressed in the text. These ratings were scored as Yes = 1 point, Partial = 0.5, and No = 0. Thus, if a paper achieves a maximum score for the for quality issues it receives an extra point.

Table B.6 shows the papers that were analyzed in this SLR and also shows their respective scores based on the Quality Issues discussed above.

## B.2.5 Data Collection

In order to collect the data, a spreadsheet was created to list the relevant information in each paper. This technique helps in extracting and viewing the data, streamlining the later review of information found in the studied papers.

For each paper, the following information was collected:

- Publication title
- Citation
- Source and type of publication
- Problem to be approached by publication
- Similar prior work that was cited
- Limitations in field

Tabela B.5: Systematic Review Studies

Citation	Repositorie	Year
(LU; CHEN; HAMILTON, 1998)	Springer	1998
(BARONE; D'AMBROSIO; ERTO, 2007)	Wiley	2007
(MACARIO; TORCHIANO; VIOLANTE, 2009)	Google Scholar	2009
(CHEN; CHEN; LU, 2011)	IEEE	2011
(KUSHWAHA; KUSHWAHA, 2011)	Google Scholar	2011
(PAULA et al., 2011)	IEEE	2011
(CHEN, 2011)	IEEE	2011
(ALQASSIM et al., 2012)	IEEE	2012
(EKLUND et al., 2012)	ACM	2012
(INOKUCHI; AKIYAMA, 2012)	IEEE	2012
(KRÜGER et al., 2012)	ACM	2012
(NEAIMEH et al., 2012)	IEEE	2012
(PAEFGEN et al., 2012)	ACM	2012
(PALLADINO; FIENGO; LANZO, 2012)	Direct Science	2012
(RIENER, 2012)	ACM	2012
(SALCIANU; FOSALAU, 2012)	IEEE	2012
(VARRIER; KOENIG; MARTINEZ, 2012)	IEEE	2012
(MESCHTSCHERJAKOV et al., 2013)	Google Scholar	2013
(MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013)	IEEE	2013
(POSTOLACHE; NEAMTU; TROFIN, 2013)	IEEE	2013
(SAGSTETTER et al., 2013)	Google Scholar	2013
(SALUNKE; JAKHETE, )	Google Scholar	2013
(SCHNEIDERMAN, 2013)	IEEE	2013
(TANG et al., 2013)	IEEE	2013
(GAO; WU, 2014)	Google Scholar	2014
(HANDEL et al., 2014)	IEEE	2014
(HONG; MARGINES; DEY, 2014)	Google Scholar	2014
(JING et al., 2014)	Google Scholar	2014
(RIENER; REDER, 2014)	ACM	2014
(SURESH; NIRMALRANI, 2014)	Google Scholar	2014
(WANG et al., 2014)	Google Scholar	2014
(YOON et al., 2014)	Google Scholar	2014
(YUN; LEE et al., 2014)	IEEE	2014
(ZALMAN; MAYER, 2014)	ACM	2014
(CARSTEN et al., 2015)	ACM	2015
(GINZARLY; HOBLOS; MOUBAYED, 2015)	IEEE	2015
(KANG et al., 2015)	Google Scholar	2015
(SZYMAŃSKI et al., 2015)	Direct Science	2015
(VAIDYA; KOLTE, )	Google Scholar	2015
(WOO; JO; LEE, 2015)	Google Scholar	2015

Tabela B.6: RATING OF REVIEWED ARTICLES

Reference	QI1	QI2	QI3	QI4	Extras	Total
(CHEN; CHEN; LU, 2011)	S	P	S	P	N	3
(PAULA et al., 2011)	S	S	S	P	N	3.5
(SCHNEIDERMAN, 2013)	S	S	S	S	S	5
(ALQASSIM et al., 2012)	S	S	S	P	N	3.5
(VARRIER; KOENIG; MARTINEZ, 2012)	S	S	N	S	N	3.5
(SALCIANU; FOSALAU, 2012)	S	S	S	P	N	3.5
(NEAIMEH et al., 2012)	S	S	S	P	N	3.5
(INOKUCHI; AKIYAMA, 2012)	S	S	S	S	S	5
(TANG et al., 2013)	S	S	S	P	N	3.5
(MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013)	S	S	S	S	S	5
(HANDEL et al., 2014)	N	N	N	N	N	5
(POSTOLACHE; NEAMTU; TROFIN, 2013)	S	P	S	P	N	3
(YUN; LEE et al., 2014)	S	S	S	P	N	3.5
(GINZARLY; HOBLOS; MOUBAYED, 2015)	S	S	S	S	S	5
(MACARIO; TORCHIANO; VIOLANTE, 2009)	S	P	S	P	N	3.5
(KUSHWAHA; KUSHWAHA, 2011)	S	S	S	P	N	3.5
(GAO; WU, 2014)	S	P	S	P	N	3
(WOO; JO; LEE, 2015)	S	S	S	S	S	5
(RIENER; REDER, 2014)	S	P	S	S	N	3.5
(ZALMAN; MAYER, 2014)	S	P	P	N	N	2
(CARSTEN et al., 2015)	S	S	S	P	N	3.5
(PAEFGEN et al., 2012)	S	S	S	S	S	5
(KRÜGER et al., 2012)	P	P	P	P	N	2
(EKLUND et al., 2012)	S	S	S	S	S	5
(RIENER, 2012)	S	S	P	S	N	3.5
(MESCHTSCHERJAKOV et al., 2013)	P	N	P	N	N	1
(KANG et al., 2015)	S	S	S	S	S	5
(SAGSTETTER et al., 2013)	S	P	P	S	S	3
(HONG; MARGINES; DEY, 2014)	S	S	S	S	S	5
(CHEN, 2011)	S	P	S	P	N	3
(SURESH; NIRMALRANI, 2014)	S	S	S	P	N	3.5
(JING et al., 2014)	S	P	S	P	N	3
(YOON et al., 2014)	P	P	P	P	P	5
(VAIDYA; KOLTE, )	S	P	S	P	N	3
(WANG et al., 2014)	S	P	P	P	N	2.5
(SALUNKE; JAKHETE, )	S	P	S	P	N	3
(PALLADINO; FIENGO; LANZO, 2012)	S	S	P	S	N	3.5
(SZYMAŃSKI et al., 2015)	S	S	P	S	N	3.5
(LU; CHEN; HAMILTON, 1998)	S	S	S	S	S	5
(BARONE; D'AMBROSIO; ERTO, 2007)	S	S	P	S	N	3.5
			<b>Average</b>	3.49	p-value	1,15

- Proposal (new idea/approach/architecture)
- Results obtained
- Conclusions
- Answers to research questions
- Rating of quality issues
- Final paper score

### B.2.6 Data Analysis

Data were tabbed and shall be shown in the following sections:

- **Results:** Number of publications per year
- **Results:** Number of publications per repository
- **Results:** Distribution of scores per publication
- **Results:** Distribution of topics approached by papers
- **Results:** Distribution of techniques used by papers

Other than the tabbed results, an analysis was also conducted in order to discuss the research questions.

## B.3 RESULTS

This section presents the general analysis of the developed studies and each subsection will answer one of the previously presented research questions.

### B.3.1 General Data Analysis

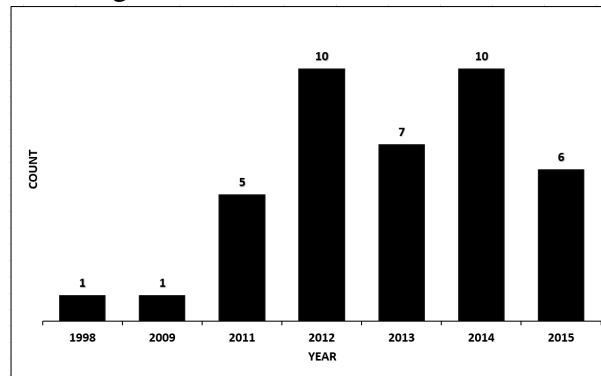
Data can be more clearly visualized in three histograms that relate their distribution by year, by repository, and by the scores given to each study.

Figure 1 lists papers according to their respective year of publication. The histogram shows that 25% of the papers were published in 2012. This result may be derived from the fact that the research was conducted based on paper relevance. However, the papers published in 2012 may have had more time for referencing, or the year 2012 may have represented a breakthrough in the automotive diagnostics paradigm that has been followed since.

Papers from 1998 and 2009 were included in the study due to an error in the online repositories that did not filter them out (the query selected papers from 2011), however, due to their relevance they were kept among the results.

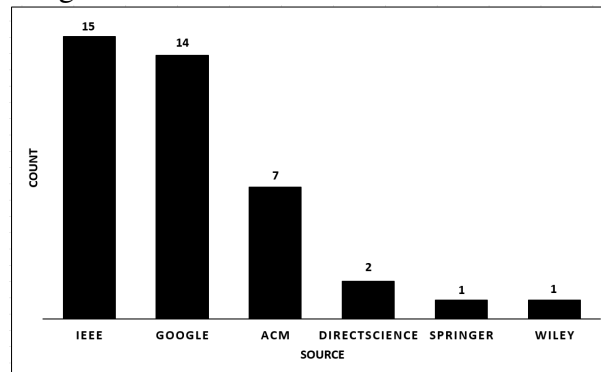
Figure 2 shows paper distribution per repository. It demonstrates that 37.5% of papers belong to the IEEE repository, and that number may be even greater considering that some papers found through Google Scholar are also IEEE published papers, however they were listed according to the repository where they were found. The Springer and Wiley repositories do not

Figura B.1: STUDIES FOR YEAR



Fonte: Autor

Figura B.2: STUDIES FOR REPOSITORY

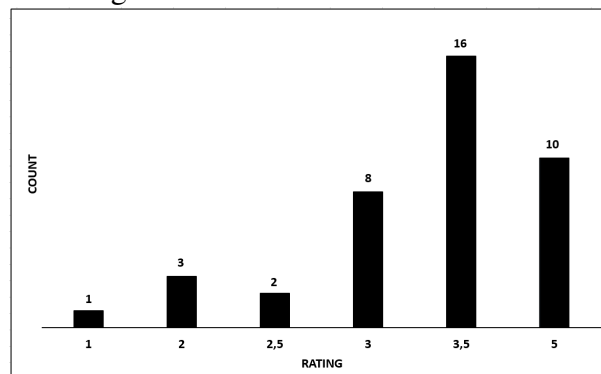


Fonte: Autor

hold many papers actually related to automotive diagnostics, most papers addressed medical diagnostics or topics related to the automotive industry without focusing on diagnostics itself.

Figure 3 lists the score distribution for papers. This distribution shows a prevalence of 3.5 and 5 point scores. This is due to the previously applied filters. Any articles that have reached this stage fulfill the pre-established quality requirements.

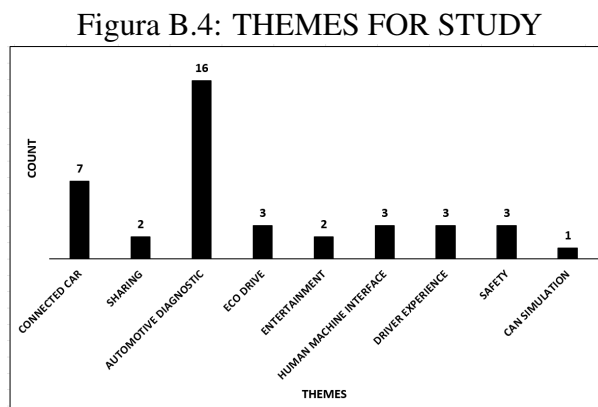
Figura B.3: RATING FOR STUDY



Fonte: Autor

### B.3.2 RQ1 - What are the main challenges in automotive diagnostics?

Figure 4 shows a histogram of the distribution of papers in relation to their addressed topics.



Fonte: Autor

Among 40 reviewed papers, the main challenge to which researchers dedicated themselves was a means of performing a more consistent automotive diagnostics. Despite the topic being debated for a long period, researchers are still looking for ways to perform it. This was found in 40% (16) of the papers (GAO; WU, 2014) (CHEN; CHEN; LU, 2011) (VARRIER; KOENIG; MARTINEZ, 2012) (TANG et al., 2013) (HANDEL et al., 2014) (POSTOLACHE; NEAMTU; TROFIN, 2013) (YUN; LEE et al., 2014) (CHEN, 2011) (SURESH; NIRMALRANI, 2014) (WANG et al., 2014) (SALUNKE; JAKHETE, ) (PALLADINO; FIENGO; LANZO, 2012) (SZYMAŃSKI et al., 2015) (LU; CHEN; HAMILTON, 1998) (BARONE; D'AMBROSIO; ERTO, 2007) (KRÜGER et al., 2012), which deal specifically with assessing or proposing new methods for extracting data from vehicles. These papers discuss matters such as extracting information efficiently from a vehicle, taking into consideration the sources that may produce noise in the data obtained and how accurate are the methods proposed in each respective paper.

Another problem that deserves being highlighted is developing mechanisms to enable the use of connected vehicles, a topic approached by 17.5% (7) of the reviewed studies.

These papers discuss matters related to security of the data that connected cars send or receive citewoo2015practical (ZALMAN; MAYER, 2014), control against external attacks (CARSTEN et al., 2015) (EKLUND et al., 2012), and also the major trends and consequences for the future of this technology (SCHNEIDERMAN, 2013) (MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013) (SAGSTETTER et al., 2013).

With a lower incidence, but still important, are topics such as the paper (GINZARLY; HOBLOS; MOUBAYED, 2015) that presents the existing types of automotive diagnostics, the papers (PAULA et al., 2011) (RIENER; REDER, 2014) that discuss matters related to sharing information between vehicles, as well as performing EcoDrive (raising driver awareness regarding their driving style) (INOKUCHI; AKIYAMA, 2012) (PAEFGEN et al., 2012) (KANG et al., 2015) requires data to be extracted from the vehicle. However, the central discussion in those studies is not on diagnostics, but in the benefits obtained with EcoDrive.

Paper (SALCIANU; FOSALAU, 2012) is the only one to present a simulation model for a CAN Network that can be used in vehicle projects.



Papers that present experiences related to entertainment (MACARIO; TORCHIANO; VIOLANTE, 2009) (KUSHWAHA; KUSHWAHA, 2011) and improving the driving experience summarize matters related to the comfort of vehicle occupants.

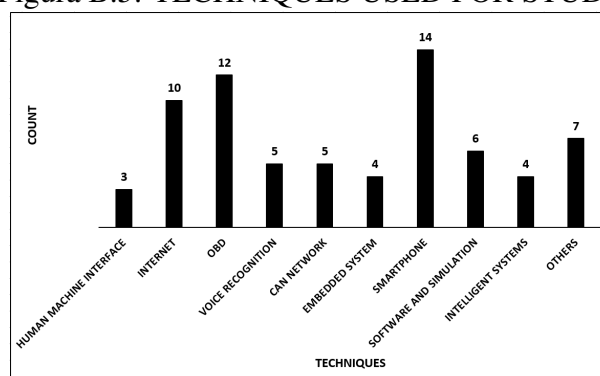
Regarding papers that approach matters for connected cars, they include papers that focus primarily on vehicle safety (HONG; MARGINES; DEY, 2014) (JING et al., 2014) (YOON et al., 2014), presenting measures that aim to decrease the number of automotive accidents.

### B.3.3 RQ2 - What are the methods most often used?

Figure 5 depicts through a histogram the distribution of the most often used techniques in the papers.

Due to the demand for connected services and the processing limitations for vehicle onboard multimedia systems, an interesting option is using smartphones, which have more powerful and less critical processors (since vehicle processing must prioritize services that ensure the safety of occupants) when compared to the systems found in currently marketed vehicles in the country. This technique was used by 14 studies (35% of the papers), showing that the trend adopted by manufacturers such as Audi and BMW has also been followed in the academic field.

Figura B.5: TECHNIQUES USED FOR STUDY



Fonte: Autor

Regarding the use of mobile devices, they are used together with the OBD device in ten cases (CHEN; CHEN; LU, 2011) (HANDEL et al., 2014) (HONG; MARGINES; DEY, 2014) (KANG et al., 2015) (TANG et al., 2013) (MESCHTSCHERJAKOV et al., 2013) (MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013) (PAEFGEN et al., 2012) (RIENER; REDER, 2014) (SURESH; NIRMALRANI, 2014). In those studies, among other functions, the smartphone is used to interface with the OBD (reading or writing data). This is the most constant approach among the reviewed papers.

In seven cases (HANDEL et al., 2014) (HONG; MARGINES; DEY, 2014) (MESCHTSCHERJAKOV et al., 2013) (MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013) (RIENER; REDER, 2014) (SURESH; NIRMALRANI, 2014) (TANG et al., 2013), the data obtained from smartphones is sent through the Internet to a server or database for a wide range of services: telemetry, driver profile recognition, car status review, points of interest.

This architecture, joining the OBD system to smartphones and sending data through the Internet, is predominant among the reviewed studies. However, other approaches are

also found, such as voice recognition, which is applied in five studies (CHEN; CHEN; LU, 2011)(GAO; WU, 2014)(SALUNKE; JAKHETE, )(VAIDYA; KOLTE, )(WANG et al., 2014). In those approaches, the driver uses voice commands to interact with the vehicle, requesting information or controlling the vehicle.

Approaches that use the CAN Network directly are found in (CARSTEN et al., 2015) (GAO; WU, 2014)(POSTOLACHE; NEAMTU; TROFIN, 2013)(WOO; JO; LEE, 2015)(ZALMAN; MAYER, 2014). This is a valid technique in research, but in practice a direct access to the CAN Network is highly critical and limited by manufacturers, as any interference to its operation may compromise the safety of the vehicle occupants. Thus, the option of working directly with the CAN Network must always be performed through simulations, only then being applied in tests.

Techniques listed as “OTHER” refer to the use of Xbee (YUN; LEE et al., 2014), microprocessors (Arduino and Arm) (JING et al., 2014) (SALUNKE; JAKHETE, )(VAIDYA; KOLTE, ) (WANG et al., 2014), Vehicular Delay Tolerant Networks (PAULA et al., 2011), and analytic approach (PAULA et al., 2011). Intelligent system techniques are used to handle and classify data (LU; CHEN; HAMILTON, 1998) (CHEN, 2011) (INOKUCHI; AKIYAMA, 2012) (BARONE; D’AMBROSIO; ERTO, 2007).

A negative highlight of the review is the fact that only three papers directly address matters related to human-machine interfaces (ALQASSIM et al., 2012) (RIENER, 2012)(RIENER; REDER, 2014), a topic that discusses how the system interacts with its user, and the user perception regarding the system. Human-machine interfaces are essential to the vehicle driving process, as they directly affect how a given system impacts on the driver’s attention to the driving process. Driver distraction is widely debated in (MAGE; SOUZA; SANTOS, 2009) (MCCALL; TRIVEDI, 2007) (WANG; KNIPLING; GOODMAN, 1996) (YOUNG; REGAN; HAMMER, 2007), as it is a relevant topic that needs to be addressed, due to being one of the main sources of accidents.

### **B.3.4 RQ3 - What are the difficulties found in those methods?**

The main problems found for each method used were:

**Smartphone** - The main difficulties of using a smartphone relate to the fact that the driver must always have their cellular phone active while driving. Another difficulty is ensuring that the main features of the system work properly for the different operating systems available. Some tools, such as Google Maps (NEAIMEH et al., 2012) (YOON et al., 2014), may not be available in other operating systems and in those cases optional solutions need to be created.

When using a smartphone, it is also necessary to send data to the Internet (when required) (CARSTEN et al., 2015) (JING et al., 2014) (MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013) (NEAIMEH et al., 2012) (POSTOLACHE; NEAMTU; TROFIN, 2013) (RIENER; REDER, 2014) (SURESH; NIRMALRANI, 2014) (TANG et al., 2013) (YOON et al., 2014) (YUN; LEE et al., 2014), so that it is optimized in order not to impact data usage by the device owner.

**OBD:** Challenges related to OBD usage are mainly ensuring that any readings made are consistent with the vehicle architecture (CHEN; CHEN; LU, 2011) (HANDEL et al., 2014) (HONG; MARGINES; DEY, 2014) (INOKUCHI; AKIYAMA, 2012) (KANG et al., 2015) (MESCHTSCHERJAKOV et al., 2013) (MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013) (NEAIMEH et al., 2012) and also that the data can be sent (bluetooth or wireless). Manufacturers have already developed devices to access advanced functions in their vehicles, however the

concern when creating a new OBD device is that it may be obsolete due to the wide range of models available.

**Internet:** Internet connectivity is involved, data security must be taken into consideration (WOO; JO; LEE, 2015) (ZALMAN; MAYER, 2014) (CARSTEN et al., 2015) (EKLUND et al., 2012) (SCHNEIDERMAN, 2013) (MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013) (SAGS-TETTER et al., 2013)], both to ensure that they are sent properly, as well as to ensure that they are not intercepted, leading to safety issues [55] (when vehicle systems are affected), or that a company's data is accessed by others. Solutions to these problems can range from cryptography to data integrity verification.

**Voice Recognition:** In this case, the key challenges relate to the software's ability to process speech and convert it into text (CHEN; CHEN; LU, 2011) (GAO; WU, 2014) (SALUNKE; JAKHETE, ) (VAIDYA; KOLTE, ) (WANG et al., 2014). Besides voice processing, noises inherent to the environment must be taken into consideration, in relation to Brazil, different regional accents may complicate system generalization.

### **B.3.5 RQ4 - What problems still need to be discussed in automotive diagnostics?**

Despite being applied to real cars and being tested under real driving conditions, most papers (due to legal or safety reasons) could not apply the necessary tests in a wide range of vehicles and apply them under consistent traffic conditions (streets with different cars of different brands). This future work is proposed by the following authors (LU; CHEN; HAMILTON, 1998) (SALCIANU; FOSALAU, 2012) (PALLADINO; FIENGO; LANZO, 2012) (ZALMAN; MAYER, 2014) (HONG; MARGINES; DEY, 2014) (BARONE; D'AMBROSIO; ERTO, 2007) (YUN; LEE et al., 2014) (PAULA et al., 2011) (MACARIO; TORCHIANO; VIOLANTE, 2009) (MACARIO; TORCHIANO; VIOLANTE, 2009) (SURESH; NIRMALRANI, 2014) (JING et al., 2014) (SZYMAŃSKI et al., 2015) (POSTOLACHE; NEAMTU; TROFIN, 2013) (MESCHTSCHERJAKOV et al., 2013) (INOKUCHI; AKIYAMA, 2012) (TANG et al., 2013) (KANG et al., 2015) (KRÜGER et al., 2012) (HANDEL et al., 2014) (CHEN; CHEN; LU, 2011).

This is a problem that will not be solved easily and will likely persist in future works. One way to solve those issues would be to standardize the architecture of any data sent (even if the content differs) and standardize the development of such systems. However, those directives could clash with the interests of manufacturers and of free competition. Thus, tests need to simulate those scenarios with excess data, as empirical testing may be unfeasible.

Based on the results, little explored fields that should be highlighted are: voice recognition and human-machine interfaces. This takes into consideration that the use of smartphones, the Internet, and data obtained via OBD are constant trends in automotive diagnostics projects, and are also feasible, as they are not dependent on cooperation by manufacturers (direct development of multimedia systems used in vehicles and unfeasible due to the difficulty in accessing their codes).

Voice recognition is interesting as it could minimize driver loss of attention, as the driver would not have to divert their eyes from the road to use the feature. However, if communication is not efficient, the driver will likely not have their request fulfilled.

Evaluating the quality of the interaction between user and system is essential to the success of a study. It is not enough for a system to answer satisfactorily and provide consis-

tent data, if the user faces difficulties in using the system. As seen in the results, only three papers directly approached questions related to human-machine interfaces. It is also possible to conclude that manufacturers can use the data generated by vehicles to assess their production processes or even offer better services to their customers.

## B.4 DISCUSSION

The goal of this systematic review is to identify the main methods and approaches used for automotive diagnosis, as well as to establish its main challenges and problems.

This section aims to clarify the perceptions given by presenting the results in the previous section, and also to present the strengths and weaknesses of this systematic review.

With the first research question (RQ1 - What are the main challenges in automotive diagnostics?) it was possible to see that the main discussion on automotive diagnostics still focuses in a system model that will be responsible for obtaining data from the car and how that information will be handled. Concepts such as connected cars, human-machine interface, safety and EcoDrive are kept in the background, though they are essential topics when creating a diagnostics system.

With the second question (RQ2 - What are the methods most often used?) it was possible to identify that the most often used techniques for automotive diagnostics are: interface through smartphones, obtaining data from the OBD and using the Internet to spread that data to manufacturers or other direct stakeholders. The rise of services based on this architecture ensures both an improvement in the production process for the manufacturer, as well as an increase in the feeling of comfort and satisfaction in the driving experience.

The problems found in each of these approaches are related to the third question (RQ3 - What are the difficulties found in those methods?). Table B.7 presents the central discussion topic for each paper and the technique used in the paper.

By answering the RQ4 question, it was possible to see that the problems for executing automotive diagnosis are constantly solved with the use of OBD to extract the data, smartphones and the Internet to spread and handle the information sent by the vehicle controls. It is important to highlight that speech recognition and issues related to human-machine interface are approached in a reduced number of papers. In relation to speech recognition, the tools have evolved and it is currently possible, through the use of Java tools or Google, for instance, to develop tools that can be easily transported from one language to others.

Human-machine interfaces, on the other hand, influence the way the driver will interact with the system and, in the case of a moving vehicle, that interaction should be simple so that the driver does not lose focus on traffic.

The research process, which was performed manually through searches for keywords in the five online repositories, is in section II-B of this systematic review. The survey found studies published in journals, conferences, congresses, and others. A manual approach was used based on the inclusion and exclusion criteria, aiming to select the most relevant papers. After the review, 40 papers were selected to undergo the systematic review.

It is noteworthy that the research presented favorable spots and points to develop. The favorable point of the review is that the papers selected for analysis based on the inclusion and exclusion criteria were classified according to the quality questions, so it was possible to see from the selected studies which ones really stood out in relation to the others (thus, it stands out that the selected studies really reflect the quality criteria desired by the author).

Tabela B.7: Used Techniques

Article	Theme of study	Techniques
(CHEN, 2011)	Automotive Diagnostic	Bayes Network
(GAO; WU, 2014),(POSTOLACHE; NEAMTU; TROFIN, 2013)	Automotive Diagnostic	CAN Network
(PALLADINO; FIENGO; LANZO, 2012)	Automotive Diagnostic	dSPACE devices
(WANG et al., 2014),(SALUNKE; JAKHETE, )	Automotive Diagnostic	Embedded System
(LU; CHEN; HAMILTON, 1998)	Automotive Diagnostic	Fuzzy
(POSTOLACHE; NEAMTU; TROFIN, 2013),(SURESH; NIRMALRANI, 2014),(TANG et al., 2013),(YUN; LEE et al., 2014)	Automotive Diagnostic	Internet
(BARONE; D'AMBROSIO; ERTO, 2007)	Automotive Diagnostic	Kalman Filters
(VARRIER; KOENIG; MARTINEZ, 2012)	Automotive Diagnostic	Mathematics
(CHEN; CHEN; LU, 2011),(HANDEL et al., 2014),(SURESH; NIRMALRANI, 2014),(YUN; LEE et al., 2014)	Automotive Diagnostic	OBD
(CHEN; CHEN; LU, 2011),(HANDEL et al., 2014),(SURESH; NIRMALRANI, 2014)	Automotive Diagnostic	Smartphone
(TANG et al., 2013),(WANG et al., 2014)	Automotive Diagnostic	Smartphone
(GAO; WU, 2014),(SALUNKE; JAKHETE, ),(WANG et al., 2014)	Automotive Diagnostic	Speech Recognition
(SZYMAŃSKI et al., 2015)	Automotive Diagnostic	Software Simulation
(CHEN; CHEN; LU, 2011)	Automotive Diagnostic	Voice recognition
(YUN; LEE et al., 2014)	Automotive Diagnostic	Xbee
(SALCIANU; FOSALAU, 2012)	CAN Simulation	Software Simulation
(CARSTEN et al., 2015),(WOO; JO; LEE, 2015),(ZALMAN; MAYER, 2014)	Connected Car	CAN Network
(CARSTEN et al., 2015),(MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013)	Connected Car	Internet
(MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013)	Connected Car	OBD
(MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013),(SAGSTETTER et al., 2013)	Connected Car	Simulation Software
(MURPHY; NAFAA; SERAFINSKI, 2013)	Connected Car	Smartphone
(VAIDYA; KOLTE, )	Driver Experience	Embedded System
(NEAIMEH et al., 2012)	Driver Experience	GPS
(NEAIMEH et al., 2012)	Driver Experience	Internet
(NEAIMEH et al., 2012)	Driver Experience	OBD
(VAIDYA; KOLTE, )	Driver Experience	Speech Recognition
(RIENER; REDER, 2014)	Driver Exp and Sharing	HMI
(RIENER; REDER, 2014)	Driver Exp and Sharing	Internet
(RIENER; REDER, 2014)	Driver Exp and Sharing	OBD
(RIENER; REDER, 2014)	Driver Exp and Sharing	Smartphone
(RIENER; REDER, 2014)	Driver Exp and Sharing	Software Simulation
(INOKUCHI; AKIYAMA, 2012)	Eco Drive	Neural Network
(INOKUCHI; AKIYAMA, 2012),(KANG et al., 2015),(PAEFGEN et al., 2012)	Eco Drive	OBD
(PAEFGEN et al., 2012)	Eco Drive	Smartphone
(MACARIO; TORCHIANO; VIOLANTE, 2009)	Entertainment	Linux
(KUSHWAHA; KUSHWAHA, 2011)	Entertainment	Simulation Software
(KUSHWAHA; KUSHWAHA, 2011),(MACARIO; TORCHIANO; VIOLANTE, 2009)	Entertainment	Smartphone
(ALQASSIM et al., 2012),(RIENER, 2012)	Human Machine Interface	HMI
(MESCHTSCHERJAKOV et al., 2013)	Human Machine Interface	OBD
(ALQASSIM et al., 2012),(MESCHTSCHERJAKOV et al., 2013)	Human Machine Interface	Smartphone
(JING et al., 2014)	Security	Embedded System
(YOON et al., 2014)	Security	GPS
(JING et al., 2014),(YOON et al., 2014)	Security	Internet
(HONG; MARGINES; DEY, 2014)	Security	OBD
(HONG; MARGINES; DEY, 2014),(JING et al., 2014)	Security	Smartphone
(PAULA et al., 2011)	Sharing	VDTN

A point to be developed is about the fact that the research was conducted based on key words, it's not possible to be certain that all the relevant articles of the diagnosed area have been found in the scanning process. Google Academics is a very comprehensive repository, but it doesn't always specify in which conference or journal the study was published.

In the stage of initial research, no other systematic review was found about the theme of automotive diagnose. The approaches, techniques, tools, and architecture used were identified so the research questions could be answered in this review.

## B.5 CONCLUSIONS

This paper contributes to focusing the research on problems that are really relevant in the study area. This review may help other researchers that are developing projects in the automotive diagnose area, because it shows what the problems and most discussed possibilities in literature are, as well as the studies and their methods.

This article presents a systematic literature review, identifies the most addressed subjects, the most commonly used tools and approaches, the difficulties faced in each tool and what are the issues that still behove discussion in the automotive diagnose area. These information were found based on the research questions (RQ), inclusion and exclusion criteria and ranking

of quality concerns. Over 1000 articles' titles were evaluated in the repositories, among which 40 remained for deeper analysis of the systematic review process. Most read articles still mainly discuss the architecture to carry automotive diagnose, this is an open problem, and it got more attention over other issues as security, changes with connected cars, data sharing, among others.

The methods most commonly used by articles are the utilization of OBD, for data extraction in cars, interfacing made with cellphone and also sending these data to an online server (Internet connection). The voice recognition techniques prove themselves interesting once they decrease the driver's distraction, since the driver doesn't have to avert his eyes from the road to interact with the system. The point to be developed is the poor approach to issues related to the human machine interface. In general, the projects are more technical and discuss the quality of its models based on errors obtained in trials, not discussing the adaptability of their systems to the use of drivers.

This study suggests that the data extraction through OBD devices is a problem that wasn't developed in the analyzed studies (OBD was used as a tool, not as a study object). It is also possible to conclude from reading the related works that the direct interference in the CAN Network is not a simple approach, once it can jeopardize the functioning of the vehicle; if one decides to directly use CAN, a deep study must be developed about its impact on other services provided by CAN, that like the break system, for example, will obviously have highest priority.

In addition to the analysis made in this systematic review, a research to detect the current situation of automotive technology in products marketed in Brazil was also carried out. The result of this research showed that security technologies are more present in vehicles, if compared with connectivity, entertainment, or comfort technologies. This can be the result of laws that demand these security related services. The result is that in the connectivity and multimedia areas national cars are far behind if compared with vehicles marketed abroad.

# Apêndice C

## Apêndice C - COMPARATIVOS ENTRE TECNOLOGIAS AUTOMOTIVAS

As tecnologias presentes em carros nacionais estão defasadas em relação às opções presentes no mercado exterior; para ilustrar esta situação foram criadas tabelas nas quais são comparadas características de carros nacionais com carros produzidos no exterior.

Para a classificação dos carros nacionais, o critério utilizado foi: se um carro nacional possui, então a tecnologia será marcada, porém, não necessariamente todos carros possuam.

É importante ressaltar que neste trabalho são aplicados os conceitos de tecnologias automotivas, e será criada uma classificação básica dos diferentes tipos de tecnologias. As palavras em negrito representam a ideia central utilizada na classificação de cada tecnologia.

- **ADAS** (Advanced Driver Assistance System) - Nesta classificação as tecnologias envolvidas são focadas principalmente na **SEGURANÇA** do motorista.
- **Conectividade** - São tecnologias que aplicadas à **SERVIÇOS** oferecidos clientes.
- **Multimídia** - Aspectos presentes não carro que buscam oferecer **ENTRETENIMENTO** ao motorista.
- **Conforto** - Sistemas que não influem na segurança do carro, nem entretenimento e somente estão presentes para melhorar a sensação de **CONFORTO**, enquanto o motorista dirige o carro.

Os carros nacionais analisados foram:

- Fiat: Bravo 2015 (FIAT AUTOMÓVEIS, 2015a), Linea (FIAT AUTOMÓVEIS, 2015b), Novo Uno (AUTOMÓVEIS, 2015), Novo Palio (FIAT AUTOMÓVEIS, 2015c), Punto (FIAT AUTOMÓVEIS, 2015d).
- Ford: Novo Ka (FORD MOTOR COMPANY, 2015), Novo Ka+ [Novo Ka+ 2015]
- Hunday: Hb20 [HB20 2013], Veloster (HYUNDAI MOTOR COMPANY, 2015)
- Renault: Clio (RENAULT DO BRASIL, 2015a), Duster (RENAULT DO BRASIL, 2015b), Duster 2 (RENAULT DO BRASIL, 2015c), Fluence (RENAULT DO BRASIL, 2015d), Logan (RENAULT DO BRASIL, 2015e), Sandero (RENAULT DO BRASIL, 2015f)

- Volkswagen: Amarok (GRUPO VOLKSWAGEN, 2015a, ), Fox (GRUPO VOLKSWAGEN, 2015b, ), Gol (GRUPO VOLKSWAGEN, 2015c, ), Up! (GRUPO VOLKSWAGEN, 2015d, )

Na Tabela C.1 estão presentes as tecnologias básicas de ADAS, presentes na maioria dos carros tanto nacionais , quanto importados

Tabela C.1: Sistemas Adas Básicos

	Montadora	TESLA - MODEL S	NACIONAIS
ABS - Antilock Braking System	•	•	•
EBD - Electronic Brake Force Distribution	•	•	•
ASR - Anti Slip Regulation	•	•	•
Trancamento Automático,das Portas	•	•	•
BAS - Brake Assist System	•	•	•
ESP-Electronic Stability Program	•	•	•
Hill Holder	•	•	•
Freio Off-Road			•
EDS Electronic Differential System	•	•	•

- ABS (Antilock Braking System) evita que as rodas travem durante a frenagem; diminuindo assim a probabilidade que o carro derrape (SCHITTENHELM, 2009).

- EBD (Eletronic Brake Distribution) - sistema que funciona em conjunto com o ABS; o EBD distribui as forças de frenagem para cada roda (SCHITTENHELM, 2009).

- ASR (Anti Slip Regulation) - controle de tração que diminui a derrapagem em pistas com aderência baixa, e na partida do veículo(DEPING, 1997).

- Trancamento Automático das Portas - Sistema entra em ação quando o carro atinge uma velocidade mínima

- BAS (Brake Assist System) - nos casos de colisão eminente, o veículo começa a frear.

- EPS (Electronic Stability Program) - atua no aumento da estabilidade do veículo.

- Hill Holder - Presente em veículos off-Road, aumenta a tração para subida de pista muito inclinadas.

- Freio Off-Road - Freio especializado para pistas com baixa aderência (terra, barro)

- EDS (Electronic Differential System) - Controle de torque do veículo

A Tabela C.2 apresenta as tecnologias ADAS mais avançadas, que ainda não são exigidas por lei no mercado brasileiro.

- Controle de Suspensão Inteligente - sistema disponível no Tesla, no qual o carro memoriza as trocas das configurações de suspensão com base na posição geográfica do carro

- Sistema de Estacionamento, Radar Dianteiro, Radar Traseiro, Radares Laterais: sistemas de radares Ultrassom que detectam a presença de corpos estranhos nas proximidades do carro.

- Câmera Dianteira, Câmera Traseira - Auxiliam no estacionamento do carro. No caso do Tesla, quando um objeto está muito próximo de carro, as câmeras mostram a imagem no painel.

- Blind Spot - Detector do ponto cego do carro.

- Head-UP display - os dados do Trip Computer são mostrados em um display acima do volante.



Tabela C.2: Sistemas ADAS Avançados

	Montadora	TESLA - MODEL S	NACIONAIS
Controle de Suspensão Inteligente		•	
Sensor de Estacionamento	•	•	•
Radar Dianteiro	•	•	•
Radar Traseiro	•	•	•
Radares Laterais		•	•
Câmera Dianteira		•	
Câmera Traseira	•	•	•
Blind Spot	Ultrassom	Ultrassom e imagem	Ultrassom
Head-Up Display	•		
Sistema que mantém o carro em linha reta		•	
Sensor de chuva		•	•
Personaliza a força no volante			•
Cruise Control	•	•	•
Active Cruise Control	•	•	•
Detector de Portas Abertas	•	•	•
Aviso de Excesso de Velocidade	•		•
Sistema de bloqueio de combustível	•	•	•
Aviso nos Cintos de segurança	Todos Passageiros	Motorista	Dianteiros

- Sistema que mantém o carro em linha reta.
- Sensor de Chuva - o carro detecta a presença de chuva e liga automaticamente os limpadores do para-brisa.
- Personaliza a força do volante - sistema presente em modelos esportivos, que aumenta a força do volante em baixa velocidade.
- Cruise Control - Controle automatizado da velocidade.
- Active Cruise Control - Além do controle de velocidade, o carro também controla a velocidade do carro à frente.
- Detector de portas abertas
- Aviso de excesso de velocidade - quando o carro atinge uma velocidade específica, o aviso sonoro é acionado. No Tesla o sistema é diferente das outras marcas.
- Sistema de bloqueio de combustível - Sistema que impede a passagem do combustível em casos de acidentes.
- Sensor de cinto de segurança - No veículo da montadora financiadora o sistema identifica quais cintos de segurança estão sendo utilizados. Já no Tesla, o sistema só avisa caso haja alguma pessoa sentada no local. Abaixo segue a Tabela C.3 sobre as tecnologias de Conectividade e Multimídia

Keyless - O veículo da montadora financiadora possui o keycard, enquanto no Tesla o controle é feito pelo celular. Atualização dos Mapas - por 7 anos o carro recebe atualizações

Tabela C.3: Sistemas de Multimídia

	<b>Montadora</b>	<b>TESLA - MODEL S</b>	<b>NACIONAIS</b>
Keyless	KeyCard	Celular APP	•
Local Based Air Suspension		•	
Bluetooth celular	•	•	•
Atualização dos mapas		•	
Leitura da sinalização de trânsito no modo ACC		•	
Permite ligamento Remoto	Raio de atuação do KeyCard	Pelo Aplicativo (Remoto)	
Traffic-Based Navigation		•	
Muda a rota em função de problemas com o tráfego		•	
Calendar - Sincronização de agenda	•	•	
Prepara rotas de acordo com a agenda		•	
Aplicativo		Keyless, Change Status, Climate, GPS	
Sistema imobilizador do carro	•	•	
Sistema para encontrar o carro estacionado	Acionamento Farol	Posição do GPS (APP)	
Função Coming e Leaving Home	•	•	•
Energy Save		•	
Sistema permite dar um nickname ao carro		•	
Bluetooth música	•	•	•
Acento com mensagem	•		
Retrovisor se ajusta quando acontece a Ré			•
Trip Computer	•	•	•

dos mapas em seu carro. Leitura da sinalização de trânsito no modo ACC - O carro reconhece automaticamente a sinalização e atualiza suas configurações de velocidade.

Permite Ligamento Remoto - O veículo da montadora financiadora permite o ligamento remoto no alcance do keycard. O Tesla permite ligar o carro em qualquer lugar do mundo via celular conectado à internet

Traffic-Based Navigation - Muda a rota em função de problemas com o tráfego; são funções complementares nas quais o carro recebe constantemente atualizações do trânsito e pode planejar novas rotas.

Calendar - prepara rotas de acordo com a agenda - Estas funções são eficientes para sincronizar a agenda do celular com a agenda do carro. Quando o motorista tem algum compromisso o carro o avisa, sobre o horário e a condição do trânsito.

Segue Tabela C.4 que ilustra os quesitos de conforto presentes no carro.

Tabela C.4: Opções de Conforto

	<b>Montadora</b>	<b>TESLA - MODEL S</b>	<b>NACIONAIS</b>
Tela Touch Screen	•	•	•
Função DNA			•
Carro seleciona preferências do motorista		Conhece o celular	
Retrovisor para visão dos passageiros de trás			•
Máquina de Café Expresso			•



# Apêndice D

## Apêndice D - QUESTIONÁRIOS

### D.1 QUESTIONÁRIO 1

Questionário – Este questionário será utilizado para o levantamento de dados necessários para a caracterização do estudo de caso do meu projeto de mestrado. Não é necessário colocar identificação pessoal.

#### TEMA DA PESQUISA, DIAGNÓSTICO AUTOMOTIVO

1) O cliente procura a concessionária alegando seu veículo está com a luz de injeção acesa. É averiguada que o carro apresenta o seguinte código de falha: DTC01061C (que indica falha no sensor de pressão do coletor).

Dado este diagnóstico como você agiria para resolver o problema (indique numericamente a ordem de as ações que tomaria para resolver o problema):

- Realizar o teste de rodagem
- Analisar o sensor de pressão do coletor
- Analisar o calculador de injeção
- Analisar a conformidade do chicote elétrico do veículo
- Outro método não citado. Qual? \_\_\_\_\_

2) O cliente procura a concessionária reclamando de falta de potência, e diz que não está satisfeito com o desempenho do veículo.

Dado este diagnóstico como você agiria para resolver o problema (indique numericamente a ordem de as ações que tomaria para resolver o problema):

- Analisar os cabos de vela, vela, bobinas
- Realizar o teste de rodagem
- Analisar o acoplamento da bomba no seu alojamento
- Analisar os injetores de combustível
- Outro método não citado. Qual? \_\_\_\_\_

3) O cliente procura a concessionária reclamando ruídos intermitentes em seu veículo.

Dado este diagnóstico como você agiria para resolver o problema (indique numericamente a ordem de as ações que tomaria para resolver o problema):

- Analisar o Coxim do Motor
- Realizar Teste de Rodagem
- Analisar os Pinos do cavalete das pinças de freio
- Verificar se existe folga na bieleta (suspensão dianteira)
- Outro método não citado. Qual? \_\_\_\_\_

## D.2 QUESTIONÁRIO 2

Questionário – Este questionário será utilizado para o levantamento de dados necessários para a caracterização do estudo de caso do meu projeto de mestrado. Não é necessário colocar identificação pessoal.

### TEMA DA PESQUISA, DIAGNÓSTICO AUTOMOTIVO

1) O cliente procura a concessionária alegando seu veículo está com a luz de injeção acesa. É averiguada que o carro apresenta o seguinte código de falha: DTC01061C (que indica falha no sensor de pressão do coletor).

Além destas informações, é relatado que:

- a) **A luz ascende de forma intermitente.**
- b) **Ocorre com gasolina ou álcool.**
- c) **Ocorre com o motor frio ou quente.**
- d) **O PROBLEMA OCORRE QUANDO O VEÍCULO TRAFEGA EM SOLO ONDULADO (INDEPENDENTEMENTE DE SER SUBIDA, DESCIDA OU PLANO).**

Dado este diagnóstico como você agiria para resolver o problema (indique numericamente a ordem de as ações que tomaria para resolver o problema):

- Realizar o teste de rodagem
- Substituir o sensor de pressão do coletor
- Substituir o calculador de injeção
- Verificaria chicote elétrico do veículo
- Outro método não citado. Qual? \_\_\_\_\_

2) O cliente procura a concessionária reclamando de falta de potência, e diz que não está satisfeito com o desempenho do veículo.

Além destas informações, é relatado que:

- a) **NÃO APRESENTA DTC**
- b) **NÃO ASCENDE LUZ DE INJEÇÃO**
- c) **A FREQUÊNCIA É INTERMITENTE**
- d) **O problema ocorre apenas com álcool.**
- e) **APENAS EM SUBIDAS**
- f) **Ocorre com o motor quente**

Dado este diagnóstico como você agiria para resolver o problema (indique numericamente a ordem de as ações que tomaria para resolver o problema):

- Troca de cabos de vela, vela, bobinas
- Realizar o teste de rodagem
- Análise do acoplamento da bomba no seu alojamento
- Troca dos injetores de combustível
- Outro método não citado. Qual? \_\_\_\_\_

3) O cliente procura a concessionária reclamando ruídos intermitentes em seu veículo.

Além destas informações, é relatado que:

- a) **O ruído concentra-se na parte dianteira do veículo**
- b) **FORA DO HABITÁCULO**
- c) **SOM AGUDO**
- d) **Não necessariamente quando passo em buracos**
- e) **Ocorre independentemente da temperatura do motor**
- f) **OCORRE QUANDO PISO NO FREIO LEVEMENTE**

Dado este diagnóstico como você agiria para resolver o problema (indique numericamente a ordem de as ações que tomaria para resolver o problema):

- Verificar Coxim do Motor
- Realizar Teste de Rodagem
- Verificar Pinos do cavalete das pinças de freio
- Verificar se existe folga na bieleta (suspensão dianteira)
- Outro método não citado. Qual? \_\_\_\_\_