

Sistema FIEB



PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu
em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial

RONALDO PEREIRA EVANGELISTA

Arquitetura de Referência para interfaces AR-HUD em
Sistemas de Assistência à Direção

Salvador, 2020

RONALDO PEREIRA EVANGELISTA

Arquitetura de Referência para interfaces AR-HUD em Sistemas de Assistência à Direção

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu , Curso de em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial do Centro Universitário Senai Cimatec, como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial**.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Albano Moret Simões Gonçalves
Centro Universitário Senai Cimatec

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Ingrid Winkler
Centro Universitário Senai Cimatec

Salvador 2020

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Centro Universitário SENAI CIMATEC

E92a Evangelista, Ronaldo Pereira

Arquitetura de referência para interfaces AR-HUD em sistemas de assistência à direção / Ronaldo Pereira Evangelista. – Salvador, 2020.

149 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Albano Moret Simões Gonçalves.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Ingrid Winkler.

Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2020.

Inclui referências.

1. Heads-Up display. 2. Realidade aumentada. 3. Arquitetura de referência. I. Centro Universitário SENAI CIMATEC. II. Gonçalves, Marcelo Albano Moret Simões. III. Winkler, Ingrid. IV. Título.

CDD 005.1

Ronaldo Pereira Evangelista

Arquitetura de Referência para interfaces AR-HUD em Sistemas
de Assistência à Direção

Aprovada em 06 de Agosto de 2020.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Marcelo Albano Moret Simões Gonçalves – Orientador

Doutor em Ciências Biológicas (Biofísica) pela Universidade de Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – Centro Universitário Senai Cimatec

Prof^a. Dr^a. Ingrid Winkler – Coorientadora

Doutora em Administração pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) – Centro Universitário Senai Cimatec

Prof. Dr. Eduardo Manuel de Freitas Jorge - Membro externo da Banca

Doutor em Difusão do Conhecimento no programa multi institucional pela UFBA\LNCC\UNEB\UEFSIU\FABCM\FET\SENAI-CIMATEC - Universidade do Estado da Bahia (UNEB)

Prof. Dr. Hugo Saba Pereira Cardoso - Membro externo da Banca

Pós Doutorado em Modelagem Computacional pelo Centro Universitário Senai Cimatec – Universidade do Estado da Bahia (UNEB)

Dedicatoria

Este trabalho é dedicado a todos que, de alguma forma, compartilharam os esforços ou contribuíram e compreenderam as muitas horas de trabalho e dedicação a esta pesquisa.

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores, professor Marcelo Moret e professora Ingrid Winkler, pelos ensinamentos, dedicação e paciência na elaboração deste trabalho. Agradeço, ainda, aos colegas que contribuíram e compartilharam conhecimentos para melhorar a qualidade dos estudos.

Agradeço especialmente aos amigos Marcos Lapa, Uedson Reis, Eduardo Jorge e Chrislaine Marinho pela atenção, paciência e contribuições para a concretização desta pesquisa.

Registro, por fim, meus sinceros agradecimentos aos professores membros da banca, por aceitarem o convite para avaliar este trabalho, e a todos que contribuíram, de forma direta ou indireta, para que a realização deste trabalho fosse possível.

Salvador, Brasil
06 de Agosto de 2020

Ronaldo Pereira Evangelista

Resumo

A Realidade Aumentada vem sendo aplicada na indústria automotiva como técnica para construção de dispositivos ou interfaces chamadas de *heads-up display*. Sistemas *Augmented Reality Heads-Up Displays* (AR-HUD) e *Full Windshield Heads-Up Display* (FW-HUD) são utilizados para apresentar informações vindas de sistemas de assistência à direção. Soluções variadas são apresentadas utilizando de fluxogramas e diagramas de forma resumida pela literatura. Arquiteturas de referência facilitam o processo de desenvolvimento, possibilitam a redução de custos, fornecem critérios de qualidade e de melhoria contínua, além de sintaxe e representação estrutural. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo especificar uma arquitetura de referência que, utilizando realidade aumentada, seja capaz de conceber soluções no domínio dos sistemas de assistência à direção. Nesse sentido, adotou-se uma revisão sistemática da literatura focada no âmbito da realidade aumentada e dos *heads-up display*. Identificou-se e analisou-se arquiteturas de referência e a sua utilização em sistemas de assistência à direção, bem como a construção de arquiteturas concretas para interfaces em AR-HUD. A pesquisa se concentra na utilização do *design* abstrato e arquitetural e nos componentes. Foi realizado uma análise da qualidade, para verificar a viabilidade e potencial de utilidade por meio de um protótipo. Entre os resultados obtidos, observou-se que há uma carência quanto as arquiteturas de referência para padronizar e guiar organizações, bem como orientar e apoiar desenvolvedores na implementação e construção de instâncias concretas. Verificou-se, ainda, a crescente expansão do tema que tem sido abordado de forma interdisciplinar. Por fim, conclui-se que, as arquiteturas de referência atende a propósitos variados na aplicação da realidade para cadeia de produção dos sistemas de assistência à direção, reunindo conhecimento especializado e padrões para construir instâncias concretas.

Palavras-chave: *Heads-Up Display, Realidade Aumentada, Arquitetura de Referência*

Abstract

Augmented Reality has been applied in the automotive industry as a technique for building devices or interfaces called heads-up display. Augmented Reality Heads-Up Displays (AR-HUD) and Full Windshield Heads-Up Display (FW-HUD) systems are used to present information from management assistance systems. Various solutions are presented using flowcharts and diagrams in a summarized way by the literature. Reference architectures facilitate the development process, enable cost reduction, and provide quality criteria and continuous improvement, in addition to syntax and structural representation. Given the above, the present work aims to specify a reference architecture that, using augmented reality, is capable of conceiving solutions in the field of management assistance systems. Accordingly, we adopted a systematic literature review focused within the augmented reality and heads-up display. Reference architectures and their use in management assistance systems were identified and analyzed, as well as the construction of concrete architectures for AR-HUD interfaces. The research focuses on the use of abstract and architectural design and components. A quality analysis was carried out to verify the feasibility and potential for utility through a prototype. Among the results obtained, it was observed that there is a lack of reference architectures to standardize and guide organizations, as well as guide and support developers in the implementation and construction of concrete instances. There was also a growing expansion of the theme that has been addressed in an interdisciplinary way. Finally, it is concluded that the reference architectures serve varied purposes in the application of reality to the production chain of management assistance systems, gathering specialized knowledge and standards to build concrete instances.

Keywords: *Heads-Up Display, Augmented Reality, Reference Architecture*

Lista de Tabelas

2.1	<i>Strings</i> de busca e resultados da consulta classificadas por base de dados.	40
2.2	Seleção dos Trabalhos	41
2.3	Classificação dos Trabalhos por Área	43
2.4	Trabalhos de Revisão da Literatura.	45
2.5	<i>Driving safety</i> Classificação por área de pesquisa	48
2.6	Score segundo os critérios de Qualidade para os 21 trabalhos na area de <i>User Interface</i>	50
2.7	Quadro de desafios para as tecnologias de RA baseados no contexto.	58
4.1	Componentes Requeridos na camada de Aquisição	95
4.2	Análise da qualidade segundo o método ATAM	108
4.3	Cálculo dos Indicadores	111

Lista de Figuras

1.1	Etapas para desenvolvimento da Arquitetura de Referência.	15
2.1	Representação simplificada do contínuo real-virtual.	21
2.2	Realidade aumentada automotiva para navegação.	22
2.3	HUD de um F/A-18 C.	24
2.4	<i>Navdy NVD150-EN Display</i>	25
2.5	O HUDWAY possui um suporte para fazer um <i>smartphone</i> funcionar como um HUD.	26
2.6	Tipos de Navegação em Veículos	27
2.7	Conceito Visteon para exibição de gráficos no pára-brisa.	30
2.8	<i>Hudly hud</i>	32
2.9	Parâmetros comuns indicados pelos Sistemas HUD	34
2.10	Modelo de referência para o princípio funcional dos HUDs para para-brisa.	35
2.11	Metodologia para SLR.	38
2.12	Resumo do Processo de Pesquisa.	42
2.13	Oportunidades e Desafios para aplicações com a RA Automotiva.	58
3.1	Processo simplificado para o desenvolvimento de <i>Software</i>	65
3.2	Relacionamentos entre modelos de referência, arquiteturas de referência e arquiteturas concretas.	66
3.3	Processo para o estabelecimento de Arquiteturas de Referência	69
3.4	Arquitetura padrão definida pela AUTOSAR.	73
3.5	Visteon Platforms and Technology.	74
3.6	Design em alto nível para os Sistemas ADAS e carros autônomos	81
3.7	Proposta para o <i>Framework</i> Conceitual	82
4.1	Processo para desenvolvimento do Modelo de Referência.	87
4.2	Visão geral em alto nível dos principais componentes da arquitetura de referência proposta.	89
4.3	Interfaces e tecnologias	91
4.4	Core reúne os módulos centrais	92
4.5	Visão para o modelo arquitetural	94
4.6	Visão Simplificada	100
4.7	Visão da área do para-brisa	101
4.8	Projeto conceitual para a interface	101
4.9	Visão para o modelo arquitetural	104
4.10	Diagrama de componentes, visão por domínios	105

Lista de Siglas

2D	Duas Dimensões	p.58
3D	três dimensões	p.18
ACC	<i>Adaptive Cruise Control</i>	p.31
ADAS	<i>Advanced Driver Assistance Systems</i> ou Sistemas Avançados de Direção Assistida	p.7
ADL	<i>Architecture Description Language</i>	p.86
AEB	<i>Autonomous Emergency Braking</i>	p.31
API	<i>Application Programming Interface</i>	p.74
AR-HUD	<i>Augmented Reality Heads-Up Displays</i>	p.i
ATAM	<i>Architecture Trade-off Analysis Method</i>	p.83
AUTOSAR	<i>AUTomotive Open System ARchitecture</i>	p.71
AV	<i>Autonomous Vehicles</i>	p.78
BCW	<i>Backward Collision Warning</i>	p.30
CMI	<i>Carnegie Mellon Institute</i>	p.83
CoRR	<i>Computing Research Repository</i>	p.73
CTA	<i>Cross Traffic Alert</i>	p.31
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>	p.10
ECUs	Unidades de Controle Eletrônico	p.71
FCW	<i>Forward Collision Warning</i>	p.30
FoV	<i>Field of View</i>	p.25
FW-HUD	<i>Full Windshield Heads-Up Display</i>	p.i
HMD	<i>head-mounted displays</i>	p.55
HUD	<i>Heads-Up Display</i>	p.7
ICSA-C	<i>International Conference on Software Architecture Companion</i>	p.73
IDMF	<i>Interaction Design Method Framework</i>	p.10
IHC	Interação Humano Computador	p.25
IHM	Interface homem-máquina	p.93
IoT	<i>Internet of things</i>	p.28
IPC	<i>Inter Process Communication</i>	p.110
IVIS	<i>In-Vehicle Information System</i>	p.51
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>	p.15
LDWS	<i>Lane Departure Warning Systems</i>	p.30
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>	p.31

LPS	<i>Linha de Produtos de Software</i>	p.68
MVC	<i>Model View Control</i>	p.81
OEMs	<i>Original Equipment Manufacturer</i>	p.71
OSA	<i>Over Speed Alarm</i>	p.30
PD	<i>Pedestrian Detection</i>	p.30
PICOC	<i>Population, Intervention, Comparison, Outcomes and Context</i>	p.37
PoC	<i>Prova de Conceito</i>	p.85
QML	<i>Qt Modeling Language</i>	p.100
RA	<i>Realidade Aumentada</i>	p.7
RI	<i>Route Information</i>	p.30
RM	<i>Realidade Mista</i>	p.19
RNF	<i>Requisitos não Funcional</i>	p.108
RSL	<i>Revisão Sistemática de Literatura</i>	p.35
RTOS	<i>Real-Time Operating System</i>	p.15
RUP	<i>Rational Unified Process</i>	p.66
RV	<i>Realidade Virtual</i>	p.55
SAAM	<i>Scenario-Based Architecture Analysis Method</i>	p.83
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>	p.110
TFT	<i>thin-film-transistor</i>	p.31
TSR	<i>Trafic Sing Recognition</i>	p.30
UI	<i>User Interface</i>	p.47
UML	<i>Unified Modeling Language</i>	p.15
UX	<i>User Experience</i>	p.114
VA	<i>Veículo Autônomo</i>	p.7
WARP	<i>Windshield-refracted Augmented Reality Projector</i>	p.34
WSD	<i>Windshield Displays</i>	p.50

Sumário

1	Introdução	9
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
1.2	Metodologia	15
1.3	Limites e limitações	16
1.4	Organização da Dissertação de Mestrado	18
2	Interfaces <i>Heads-Up display</i> e realidade aumentada para para-brisas	20
2.1	Realidade Aumentada RA	20
2.2	Aplicações para a tecnologia de Realidade Aumentada	22
2.3	Heads-Up Display	23
2.4	O design da informação em ambientes de RA	26
2.5	A informação e os desafios para projetar sistemas de interação em RA	29
2.6	Desafios com a apresentação de informações	31
2.7	Modelo e arquiteturas de referência para sistemas de <i>heads-up display</i>	34
2.8	Revisão Sistemática	37
2.9	Metodologia de Revisão Sistemática	38
2.10	Resultados e Discussão	43
2.10.1	Calibration Method	44
2.10.2	Revisão da Literatura	45
2.10.3	Driving Safety	47
2.10.4	Cognitive and Behavior	48
2.10.5	Hud System	49
2.10.6	User Interface	49
2.10.7	Desafios e oportunidades	57
2.11	Considerações	60
3	Arquitetura de Referência	64
3.1	Arquitetura e Modelos de Referência	64
3.2	Tipos de Arquitetura de Referência	72
3.3	Arquitetura de Referência na Indústria Automotiva	73
3.4	Trabalhos Correlatos	75
3.5	Benefícios do uso de Arquiteturas de Referência	76
3.6	Elicitação de Requisitos segundo a Literatura	77
3.7	Análise dos Cenários e da Complexidade	79
3.8	<i>Guidelines</i> para a Arquitetura de Referência	81
3.9	Avaliação para arquiteturas	84
4	Resultados e Discussão	86
4.1	Metodologia para construção da arquitetura de referência	86
4.2	Modelagem da arquitetura de referência	88
4.2.1	Dispositivos de Interação e IHC & Tecnologias	90
4.2.2	Controle & <i>Core</i>	91
4.2.3	Interfaces para acesso e Controle	93

4.2.4	Hardware & Simulação	93
4.3	Visão Arquitetural	94
4.4	Prova do Conceito	97
4.5	Visão Geral	99
4.6	Requisitos do Conceito	102
4.7	Visões Arquiteturais	103
4.8	Análise da Qualidade	106
4.9	Considerações	112
5	Considerações Finais	114
5.1	Caracterização da Pesquisa	115
5.2	Contribuições	117
5.3	Trabalhos Futuros	118
A	Caso de Uso - UC001	120
B	Análise dos Caso de Uso versus os requisitos não funcionais	121
C	Visão dos Módulos	122
D	Código Fonte	123
	Referências	133

Introdução

A visibilidade é um dos requisitos mais importantes para uma condução veicular segura. Situações de condução perigosa podem surgir devido a más condições atmosféricas (*e.g.*, reflexo da luz solar, chuvas, neblina, poeira e fumaça) que resultam em baixa visibilidade e, conseqüentemente, promovem risco à vida de pedestres, passageiros e condutores de veículos. Em outros termos, é certo que essas condições ocasionam um número considerável de acidentes que provocam danos ao patrimônio e a integridade física (MICLEA; SILEA; SANDRU, 2017; DRAGOMIR *et al.*, 2017; ABDI; MEDDEB, 2017c).

O índice crescente de acidentes tem levado a indústria automotiva a desenvolver formas para auxiliar ou fornecer assistência aos condutores através de uma tecnologia chamada de *Advanced Driver Assistance Systems* ou Sistemas Avançados de Direção Assistida (ADAS) (DRAGOMIR *et al.*, 2017). Dispositivos de *hardware* e de *software* auxiliam os humanos, seja de forma automática, semi-autônoma ou autônoma, tornando-se uma tendência da evolução destas tecnologias.

Os Sistemas ADAS têm por objetivo mitigar problemas relacionados à direção de automóveis, sendo considerados como os sistemas precursores dos veículos inteligentes, também chamados de Veículo Autônomo (VA) (YIN *et al.*, 2018).

O conjunto de informações fornecidos pelos sistemas ADAS permite que o condutor receba instruções e avisos quanto à presença de obstáculos nas vias que podem comprometer a segurança de pessoas, animais e outros veículos (ABDI; MEDDEB, 2017b).

Informações obtidas pelos sistemas de direção podem ser apresentadas através de um sistema de Realidade Aumentada (RA) (BETANCUR *et al.*, 2018; ABDI; MEDDEB, 2017b; LEE *et al.*, 2015). A RA é definida como uma técnica que complementa o mundo real com objetos virtuais (gerados por computador) que parecem coexistir no mesmo espaço que o espectador (AZUMA, 2017; AZUMA *et al.*, 2001). Fabricantes de veículos têm investido em tecnologias para apresentar informações e técnicas como a holografia em pequenas telas (com superfícies transparentes ou semitransparentes). O objetivo é aprimorar as interfaces visuais chamadas de *Heads-Up Display* (HUD).

O HUD é um dispositivo composto por uma tela transparente na qual a informação é exibida. A tela é mantida na linha de visão do condutor (KNOLL, 2017; CHOUKSEY; SIRSIKAR, 2016; HAEUSLSCHMID *et al.*, 2016) onde as informações são exibidas. A mencionada tela é mantida na linha de visão do expectador, ou seja, do campo de visão do condutor, graças a capacidade de

sobrepor informações em conformidade com a paisagem externa.

Os HUDs do tipo para-brisa ou FW-HUD têm se popularizado na indústria como uma forma de projetar informações, e podem ser considerados como os primeiros dispositivos de RA (QIN *et al.*, 2017; CHOI *et al.*, 2018; CONI; BARDON, 2018). Segundo Park e Jung (2014), este tipo de dispositivo é definido como um sistema de exibição baseado em RA para exibir informações sem que o condutor tenha que mudar o seu foco da rodovia para o painel do veículo (CHOUKSEY; SIRSIKAR, 2016). A aplicação do conceito AR-HUD permite explorar áreas tais como a área útil do para-brisa (GABBARD; FITCH; KIM, 2014), tendo em vista que os sistemas HUD com telas pequenas que também fazem uso das técnicas de RA não são tão imersivos. A incorporação da RA no para-brisa de automóveis como *display* vem sendo implementada ao passo que a indústria caminha para o desenvolvimento dos carros inteligentes e autônomos (RIENER; GABBARD; TRIVEDI, 2019; RIEGLER *et al.*, 2018; QIN *et al.*, 2017; LÖCKEN *et al.*, 2017).

Entre os desafios apresentados por este novo paradigma, os sistemas AR-HUD possuem também uma série de limitações a serem solucionados, *e.g.*, a projeção de imagens brilhantes com cores saturadas, que apresentem legibilidade e luminância suficiente para combater a luz solar (QIN *et al.*, 2017), e telas pequenas localizadas fora do campo de visão do condutor. Este contexto tem impulsionado as pesquisas e o desenvolvimento de ferramentas para projeção, bem como nos métodos e nas técnicas utilizadas para exibir as informações em dispositivos AR-HUD.

Os estudos atuais concentram-se em métodos para prevenir, alertar e fornecer informações relevantes para os condutores que precisam ter uma visão ampla e geral do ambiente, sem perder o foco principal que está em execução (RIENER; GABBARD; TRIVEDI, 2019; KNOLL, 2017; YOO; JU, 2017). Destaca-se a perspectiva de segurança no trânsito, segundo Haeuslschmid *et al.* (2017), Beck e Park (2018).

O uso da RA em diversos seguimentos da indústria também é uma questão de grande importância para o desenvolvimento de veículos inteligentes. Observa-se o crescimento de estudos em relação aos efeitos dessas tecnologias, seus impactos, entre outros desafios que possibilitam o desenvolvimento de questões relacionadas aos padrões ou arquiteturas de referência para guiar pesquisadores e desenvolvedores (PARK; PARK, 2019; CHENG *et al.*, 2019).

De acordo com Park e Park (2019), o conhecimento e os dados existentes na literatura parecem desarticulados e mal integrados, por isto, os autores apresentam soluções para melhorar o *design* de HUDs automotivos e torná-los úteis, além de identificar futuras direções de pesquisa.

Serban, Poll e Visser (2018) apresentam uma arquitetura de *software* funcional adotando uma abordagem prescritiva, ou seja, iniciam o projeto pelos requisitos e padrões automotivos, tomando como referência sistemas de tempo real, sistemas inteligentes e padrões. Nesse cenário, tomam como referência os princípios de *design*. Para os citados autores, neste tipo de abordagem, os

requisitos não podem ser rastreados com relação aos componentes funcionais, deste modo os componentes agrupam a maioria das funcionalidades.

Ulbrich *et al.* (2017) apresentam uma arquitetura de sistema funcional para um veículo automatizado fornecendo uma estrutura genérica independente de implementação específica. Tal arquitetura prevê que os módulos devem ser agrupados de forma que existam interfaces desacopladas entre si. Os autores focam na separação funcional de forma hierárquica e nas interfaces entre os componentes, que são detalhadas tecnicamente de forma objetiva.

Sabe-se que a construção de modelos de informação e a apresentação de informações exigem representações computacionais e padrões de interface gráfica. É possível, ainda, que requeiram ferramentas especializadas, a fim de mitigar a entrega de grandes volumes de informações.

A mencionada mitigação é de suma relevância para prevenir efeitos indesejáveis, como a sobrecarga de informações visuais. Nesse sentido, sabe-se que a apresentação de conteúdo por estes sistemas vem aumentando, tornando o ambiente da direção mais complicado, tendo em vista que pode dificultar o tempo de resposta do condutor. Em outros termos, esta sobrecarga de informações pode afetar a concentração e as capacidades cognitivas do condutor (HAJISEYEDJAVADI *et al.*, 2018; BETANCUR *et al.*, 2018; ABDI; MEDDEB, 2017b; CHARISSIS, 2014).

Segundo Chen (2006), a visualização de informação é um campo de pesquisa que busca aplicar a transformação gráfica de dados, em sua maioria abstratos e não espaciais. Uma parcela da produção gráfica de dados visa transmitir com rigor a essência do dado bruto em uma interação intuitiva, precisa e fiel. A busca por novas formas de exibição convergem para as técnicas de realidade aumentada. Esta abordagem é uma tendência crescente nos últimos anos, sendo uma questão de grande importância para o desenvolvimento de veículos inteligentes (CHENG *et al.*, 2019; BECK; PARK, 2018), bem como para o estudo sobre os efeitos e os impactos da aplicação dessas tecnologias nos condutores.

Considerando a possibilidade de fornecer informações de forma precisa para decisões rápidas, observa-se que a crescente criação de dispositivos eletrônicos e a aplicação de *software* para a exibição de informações relevantes à direção de veículos. Nesse cenário, são principalmente utilizadas as plataformas móveis, como os *Smartphones* e dispositivos portáteis, além de tecnologias embarcadas para assistência integradas aos veículos (MA; ZHOU; XU, 2014).

Para Park e Kim (2013), proporcionar uma representação adequada e eficiente para a perspectiva do expectador é uma maneira precisa para a realização apropriada de uma tarefa. As regras de organização visual pode interferir no *design* da interface e nos elementos de informação que são importantes no cenário que cerca o condutor (JIN; YOU; WANG, 2016). Segundo Charissis (2014), as interfaces atuais estão associadas a alertas ambíguos e a elementos que podem distrair os condutores, criando perigo com o excesso de informações (*e.g.* vindas do monitoramento do

veículo, do ambiente e multimídia).

Com as pesquisas para o desenvolvimento de sistemas ADAS e veículos autônomos inúmeras questões emergem quanto aos elementos de *hardware* e de *software* que podem compor uma plataforma padrão, soluções finais ou abstrações de alto nível para ajudar o desenvolvedores.

De acordo com [Curiel-Ramirez et al. \(2018\)](#), o desafio 2004 (DARPA *Challenge*), promovido pela *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA), foi a primeira competição a promover a geração de técnicas e arquiteturas voltadas ao desenvolvimento de veículos autônomos. Na oportunidade, de modo geral, foram produzidos inúmeros desafios complexos relacionados ao processo de direção.

Para [Cheng et al. \(2019\)](#), a utilização de estruturas sistemáticas são requeridas como ferramentas práticas, tendo em vista que o desenvolvimento de produtos tem se tornado mais complexo. Deste modo, o *design* de interação para produtos inteligentes está enfrentando novos desafios, o que requer metodologias de projeto como o *Interaction Design Method Framework* (IDMF). A mencionada metodologia foi proposta para ajudar os profissionais a criar *designs* baseados em tecnologia. Segundo [Park e Park \(2019\)](#), devido a diversidade de variáveis envolvidas no contexto de condução de veículos, a definição de *frameworks* e arquiteturas que forneçam uma visão integrada do conhecimento sobre os pontos de vista dos requisitos funcionais e de *design* são requeridos como padrões.

Embora a literatura apresente soluções variadas para modelar informações e para o *design* de interação, não há a apresentação de arquiteturas de referência ou arquiteturas concretas de forma completa. De modo geral, os trabalhos apresentam fluxogramas e diagramas de arquitetura simplificados para os módulos principais isolados fornecendo uma visão superficial que compreende sistemas AR-HUDs e *design* ([BILA et al., 2017](#); [ABDI](#); [MEDDEB, 2017c](#); [ABDI; MEDDEB, 2017b](#); [KIM; HWANG, 2016](#); [LANGNER et al., 2016](#); [PARK; KIM, 2013](#); [GEORGE et al., 2012](#)).

De forma simplificada, os trabalhos apresentam uma visão geral para arquiteturas modulares e cooperativas, desde a captação dos dados até a apresentação de informações em AR-HUD. Além disso, não detalham algoritmos e elementos arquiteturais.

Ocorre, contudo, que os modelos de referência são essenciais para o desenvolvimento de sistemas. Nesse sentido, a utilização de arquiteturas de referência traz inúmeras vantagens, a saber: a abstração, o encapsulamento e diversas formas de reúso para os componentes, para a construção de arquiteturas concretas, melhorias na qualidade do produto e redução de custos. Ademais, também facilitam o processo de desenvolvimento.

O termo “modelo” é muito utilizado para identificar abstrações, representar conceitos e reunir

regras, premissas e suposições em diagramas. Segundo [Borba \(2018\)](#), nos últimos anos, os termos “arquitetura de referência” e “modelo de referência” têm sido utilizados sem restrição ou até mesmo como sinônimos. [Duarte et al. \(2004\)](#), definem o modelo como uma representação de um sistema sob o ponto de vista do funcionamento para compreensão do usuário. [Vernadat \(1996\)](#) e [Silva e Catelli \(2019\)](#), por sua vez, descrevem a ideia de modelo como uma representação abstrata da realidade, sendo expressa em termos que são dotados de alguma formalidade. Assim um modelo é uma idealização simplificada para abstrair complexidade, auxiliando a compreensão de ideias, de soluções, metas e objetivos.

[Domingos et al. \(2004\)](#), por sua vez, ensinam que um modelo de referência é uma divisão de funcionalidades juntamente com o fluxo de dados entre as partes. Trata-se da decomposição padrão de um problema conhecido em partes que, cooperativamente, resolvem o problema. Na engenharia de *software* os temas modelagem e modelo são largamente utilizados, considerando a definição dada pelos autores.

O modelo arquitetural de *software* ou sistema computacional é definido por [Bass, Clements e Kazman \(2012\)](#) como uma abstração que compreende elementos e propriedades internas e externas, além de seus relacionamentos omitindo certos detalhes dos mesmos. Uma arquitetura é antes de tudo um modelo utilizado para descrever aspectos estruturais de um sistema. Diante da similaridade dos termos e o fato de serem conceitos complementares, adotaremos nesta pesquisa o termo arquitetura de referência como padrão.

Arquiteturas de referência têm sido adotadas para atender a domínios como, por exemplo, a indústria automotiva. Segundo [Serban, Poll e Visser \(2018\)](#), a literatura existente adota uma abordagem descritiva e apresenta experimentos com foco em veículos autônomos ou implementações para domínios específicos e limitados. Adotadas como estratégia por diversos setores, tendo em vista a modularidade, tais arquiteturas de referência são utilizadas tanto no desenvolvimento de produtos quanto na configuração produtiva. Características como a padronização e a modularidade beneficiam a indústria automotiva que possui uma normatização rígida para os requisitos funcionais, bem como padrões arquiteturais definidos por organismos internacionais para todo e qualquer módulo, independente dos níveis de automação ([SERBAN; POLL; VISSER, 2018](#)).

[Sommerville \(2011\)](#) define os padrões arquiteturais, bem como sinaliza que podem e devem ser utilizados em outros projetos as soluções e maneiras já experimentadas para organizar artefatos. De acordo com [Larman \(2000\)](#), quando uma arquitetura de referência toma forma ela descreve e possibilita uma visão útil para desenvolvedores, além de fornecer apoio ao aprendizado quanto a compressão do domínio a ser implementado. Ainda segundo o autor, para cada solução há inúmeras visões possíveis e cada uma reflete pontos de vista diferentes.

O processo de validação para uma arquitetura de referência, segundo [Souza \(2017\)](#) e [Oliveira](#)

e Nakagawa (2009), deve passar pelo processo de experimentação, onde desenvolvedores implementam instâncias concretas para validar a modelagem. Pode-se utilizar métricas para aferir qualidade por meio de *Survey* (Sistema de coleta de informações de usuários para descrever, comparar e explicar o conhecimento e o comportamento, ou ainda uso da instância de uma arquitetura implantada considerando as diferentes partes interessadas). Nesse cenário, pela visão de especialistas e usuários é possível identificar pontos de melhorias e os aspectos não tratados, auxiliando, deste modo, no registro de possíveis contribuições para a evolução da arquitetura.

Todas essas questões indicam uma carência quanto às representações abstratas e a necessidade de arquiteturas de referência que descrevam, de forma objetiva, as abstrações, as diretrizes de *design* e os elementos conceituais necessários para a construção de arquiteturas concretas no domínio da realidade aumentada, no âmbito da indústria automobilística.

Diante deste cenário, qual a melhor forma para apresentar métodos, técnicas e tecnologias de *hardware* e *software*? E como integrá-las de forma a permitir o desenvolvimento de soluções finais padronizadas para sistemas AR-HUD?

O problema a ser tratado nesta pesquisa é a falta de arquiteturas de referência e abstrações que possam oferecer uma visão útil para desenvolvedores, tanto do ponto de vista da engenharia de *software* quanto dos requisitos exigidos pelo domínio e as tecnologias e estruturas envolvidas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo especificar uma arquitetura de referência que, utilizando realidade aumentada, seja capaz de conceber soluções no domínio de sistemas de assistência à direção.

A pesquisa se concentra na utilização do *design* abstrato e arquitetural e nos elementos de *hardware* e *software* que podem compor o ambiente de projeção para realidade aumentada.

1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, pretende-se:

1. Caracterizar o conhecimento atual sobre o tema AR-HUD em sistemas de assistência à

direção;

2. Identificar as principais arquiteturas de referência e a utilização em sistemas de assistência à direção;
3. Especificar uma arquitetura de referência para interfaces AR-HUD em sistemas de assistência, utilizando realidade aumentada;
4. Desenvolver prova de conceito para validar a arquitetura de referência com escopo reduzido, focando na parte central do artefato;

1.2 Metodologia

Os procedimentos metodológicos adotados neste estudo foram divididos em 5 etapas descritas a seguir conforme a Figura 1.1 que ilustra a visão esquemática:

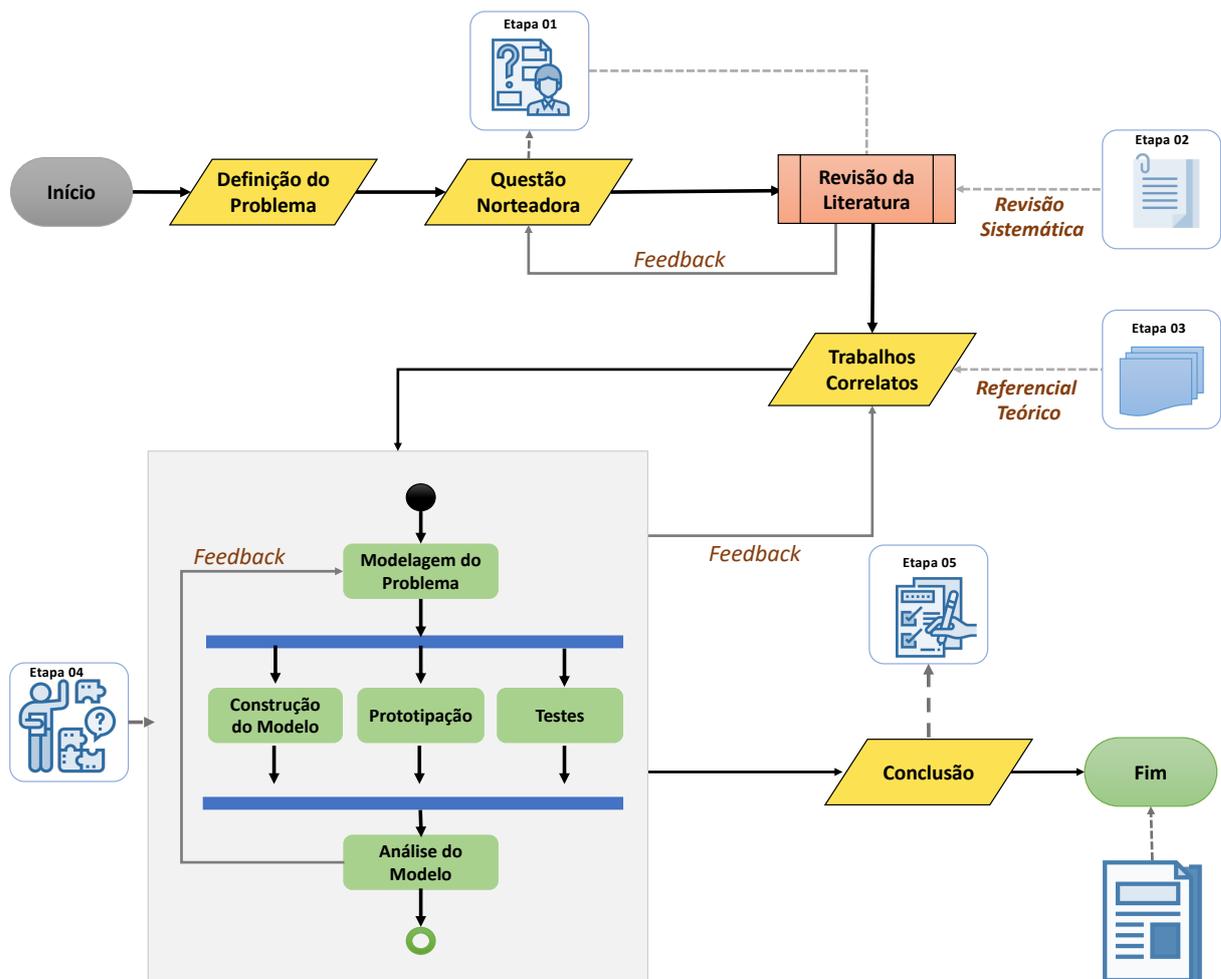


Figura 1.1: Etapas para desenvolvimento da Arquitetura de Referência.

Fonte: Própria.

Na primeira etapa para caracterizar o conhecimento atual sobre o tema AR-HUD em sistemas de assistência à direção, realizou-se uma pesquisa no campo da RA para indústria automobilística.

Tal contextualização, mostrou-se necessária para delinear o tema e o desenvolvimento desta dissertação.

Na segunda etapa, foi iniciada uma Revisão Sistemática, apresentada no Capítulo 2, com o objetivo de identificar os trabalhos anteriores e seus pontos significativos no campo de pesquisa, bem como as lacunas existentes que orientam a condução o presente estudo.

Na terceira etapa, identificou-se as arquiteturas de referência e a sua utilização em sistemas de assistência à direção nos trabalhos que discutem a temática e a modelagem arquitetural. Ademais, buscou-se identificar e definir os requisitos capazes de gerar a especificação da arquitetura de referência pretendida, respeitando os aspectos técnicos.

Na quarta etapa, após a análise dos trabalhos correlacionados, realizou-se o embasamento teórico quanto aos principais padrões arquiteturais, no âmbito da engenharia de *software*. A disciplina da engenharia de *software* apresenta soluções, métodos, padrões e ferramentas que facilitam a concepção, a definição de requisitos e a proposição de tecnologias e estruturas. Tais elementos possibilitam a integração entre as soluções a serem desenhadas e as já implementadas.

Em seguida, foi desenvolvido protótipo para validar a arquitetura de referência executando em paralelo a prototipação e execução dos testes. Durante o processo os requisitos são revisitados para realizar possíveis adequações que se façam necessárias de forma incremental. A metodologia adotada para o desenvolvimento do protótipo será detalhada no capítulo 4 seção 4.1.

A Figura 1.1 ilustra a visão esquemática, na quinta e última etapa, apresenta as conclusões, contribuições e sugestões para pesquisas futuras.

1.3 Limites e limitações

Ao longo deste trabalho serão propostos arquétipos e técnicas de modelagem, segundo a evolução das arquiteturas de referência nas plataformas de *hardware* e de *software*, como solução abstrata. Os elementos como integrações físicas ou soluções finais devem ficar por conta dos respectivos desenvolvedores da solução. Com efeito, elencaremos a seguir alguns itens que não serão abordados, por se tratarem de limites e limitações dessa pesquisa.

O conteúdo a ser exibido na interface ou fonte dos dados, a aquisição, o tratamento e o processamento do ambiente pelo ADAS não serão levados em consideração do ponto de vista de especificação e desenvolvimento, assim, assume-se que há uma fonte dos dados disponível.

Não faz parte do escopo desta pesquisa o domínio que trata dos veículos autônomos e os níveis de automação, embora, por questões contextuais, sejam consideradas e abordadas situações no

domínio. A menção ocorre diante da necessidade de fundamentar a origem dos dados e dos módulos a serem discutidos. Por fim, é certo que a escala de níveis que classifica a capacidade de autonomia nas decisões de um veículo autônomo não será tratada.

Segundo [Field, Hayes e Hess \(1993\)](#), sabe-se que as capacidades de percepção da visão do cérebro humano são limitadas quanto as questões de profundidade, foco em multi tarefas e concentração quando há uma sobrecarga de informações. Assim, ao lidar com um processo de visualização em telas de tipos variados, há a exigência de adaptações e filtros para priorizar e simplificar o que deve ser visualizado. Isto implica em incremento de custo e tempo de desenvolvimento. O ecossistema de *displays* existente hoje trás muitos desafios para o *design* de informação em todos os ambientes, como é caso do ambiente da realidade aumentada. Portanto, não serão considerados para o presente trabalho outros tipos de telas, *e.g. tablets, Liquid Crystal Display (LCD)* e mini *displays* transparentes.

Entende-se, ainda, que visualizadores ou telas de grande porte permitem a apresentação de uma gama maior de informações, sendo possível que um *design* não adequado torne a interface mais complexa e sobrecarregada. Nesse cenário, será utilizada nesta pesquisa uma solução simplificada, sem grandes recursos gráficos, bem como define uma área de interesse em função da perspectiva do condutor.

Por ser uma tecnologia nova e em desenvolvimento, as técnicas de projeção a *laser*¹ e as *leds*² possuem restrições em relação a iluminação ou radiação solar. Diante disso, essas técnicas não serão tratadas neste trabalho.

A característica inerente aos sistemas de direção ou sistemas autônomos, definida como *Real Time* ou tempo real, não será tratada nesta pesquisa, tendo em vista que a implementação requer a execução em plataforma *Real-Time Operating System (RTOS)*.

Neste estudo, os componentes arquiteturais são definidos e apresentados de forma conceitual e abstrata, com o objetivo de elucidar os conceitos quanto a modularidade dos componentes e aos conceitos de modularidade e interoperabilidade. As conexões são apresentadas segundo a linguagem *Unified Modeling Language (UML)* através de interfaces publicadas (portas) que são pontos de acesso públicos abstraindo detalhes de implementação.

Não será realizada nesta pesquisa uma validação por pares. Ou seja, não haverá a implementação por terceiros com o intuito de validar a modelagem proposta pela arquitetura de referência. Isto porque a implementação está limitada a uma prova de conceito com escopo restrito, pois considera-se esta aplicação como suficiente para validação. A implementação foca na parte

¹ Acrônimo do inglês para *Light Amplification by Stimulated Emission Radiation*, amplificação de luz por emissão estimulada de radiação.

² Acrônimo do inglês para *light-emitting diode* (diodo emissor de luz), é uma fonte de luz semicondutora que emite luz quando a corrente flui através dele.

central, limitando-se ao “*core*” da arquitetura. A instância compreende um conjunto de *features*, elencadas mediante a elicitação prescritiva de requisitos. No tocante a validação e a aferição da qualidade neste trabalho, a arquitetura de referência não será implementada em sua totalidade. Será materializada uma instância concreta do artefato através de uma prova de conceito.

Segundo Nakagawa (2016), a análise de viabilidade e aferição de qualidade para uma arquitetura pode ser feita utilizando métodos de avaliação arquitetural. A validação, por sua vez, é feita por meio de uma aplicação. No entanto, há a necessidade de contextos diferentes, a exemplo da instanciação ser realizada por outros usuários, organizações e desenvolvedores.

Diante disto, qualificamos o artefato por meio da prova de conceito, focando nos atributos de qualidade listado por Bass, Clements e Kazman (2012) (*e.g.*, desempenho, modularidade e interoperabilidade) e segundo o método de avaliação desenvolvido pelos mencionados autores, embora a instância seja capaz de validar as características da arquitetura de *software* apenas no contexto da pesquisa e domínio da arquitetura de referência.

Os métodos e os critérios para a avaliação de arquiteturas de *software* não podem ser utilizados diretamente na avaliação da arquitetura de referência (NAKAGAWA, 2016). Contudo, a materialização concreta da arquitetura de referência dá indícios de sua viabilidade, embora exista a necessidade de validação por meio da implementação de terceiros.

1.4 Organização da Dissertação de Mestrado

Este trabalho está organizado em 5 capítulos:

- **Capítulo 1 - Introdução:** Apresenta como esta dissertação de mestrado está estruturada. Nesse sentido, elenca a definição do problema, os objetivos e as justificativas da pesquisa;
- **Capítulo 2 - Interfaces *Heads-Up display* em RA para para-brisas:** Caracteriza o conhecimento sobre o tema AR-HUD em sistemas de assistência à direção e discute os conceitos tecnologias e as pesquisas mais relevantes dentro de uma janela temporal;
- **Capítulo 3 - Arquiteturas de Referência:** Identifica as principais arquiteturas e a utilização delas em sistemas de assistência à direção. Também trata os conceitos gerais quanto às arquiteturas de *software* e de Referência abstratas e concretas;
- **Capítulo 4 - Projeto da Arquitetura de Referência:** Neste capítulo será apresentada a especificação da arquitetura de referência para conceber soluções no domínio de sistemas de assistência à direção utilizando realidade aumentada. Expomos a modelagem e os diagramas que compõem arquitetura de referência. Demonstramos o desenvolvimento de uma prova de conceito para validar a arquitetura de referência com escopo reduzido

focando na parte central do artefato. A relatamos também uma avaliação sob a ótica do arquiteto utilizando um processo para avaliação de arquiteturas;

- **Capítulo 5 - Considerações Finais:** Por fim, apresentamos as conclusões e sugestões para pesquisas a serem desenvolvidas em relação ao tema.

Interfaces *Heads-Up display* e realidade aumentada para para-brisas

Este capítulo propõe-se a caracterizar o conhecimento atual sobre os temas AR-HUD e RA em sistemas de assistência à direção. Nesse sentido, buscou-se explicitar os conceitos para as tecnologias envolvidas no domínio da RA na indústria automotiva.

Abordaremos, ainda, as pesquisas mais relevantes, dentro de uma janela temporal, por meio de uma revisão sistemática. Nesse cenário, investigaremos diversos aspectos, relacionaremos interfaces gráficas, *design*, cognição e arquiteturas de referência. Por fim, discutiremos o *design* da informação, as formas de aplicação de técnicas e tecnologias, além de listarmos requisitos técnicos e funcionais.

2.1 Realidade Aumentada RA

[Azuma \(2017\)](#) define a RA como uma experiência imersiva que sobrepõe objetos virtuais em três dimensões (3D) à visão direta do usuário no ambiente real circundante, gerando a ilusão de que esses elementos existem nesse espaço. A RA combina objetos reais e virtuais em um ambiente real, sendo executada de forma interativa e ao mesmo tempo. Nesse sentido, constata-se o registro e alinhamento entre os objetos reais e virtuais ([AZUMA et al., 2001](#)).

A RA permite a projeção de dados e informações virtuais em objetos do mundo real, onde as visualizações de elementos naturais são incorporadas a representação estática do ambiente digital interativo ([SOUZA et al., 2016](#); [CUENDET et al., 2013](#)). Os elementos gerados por computador podem exibir informações que o usuário não consegue detectar diretamente com seus próprios sentidos.

O uso de tecnologias como a RA permite melhorar o desempenho humano, fornecendo informações relevantes em interfaces inovadoras para determinadas tarefas. Para [Palmarini, Erkoyuncu e Roy \(2017\)](#), a RA pode ser utilizada através de qualquer tipo de *hardware* capaz de interagir com os sentidos humanos. O que se constata é a criação de elementos virtuais para complementar o mundo real, oferecendo estímulos a um ou mais sentidos, o que permite a imersão do usuário ([CARDOSO et al., 2019](#)). A experiência proporcionada pelo ambiente da RA possibilita uma imersão multissensorial (visão, audição, olfato, tato, força, entre outros) em tempo real ([FAUST et al., 2013](#)).

Inserida no contexto amplo, a RA está posicionada como transição entre o real e o virtual. Esta mistura foi definida pela representação simplificada do contínuo real-virtual apresentada por [Milgram *et al.* \(1994\)](#).



Figura 2.1: Representação simplificada do contínuo real-virtual.
Fonte: Adaptado de [Milgram *et al.* \(1994\)](#), p. 283).

A Figura 2.1 elaborada por [Milgram *et al.* \(1994\)](#) apresenta o contínuo real-virtual, denominado de Realidade Mista (RM). Verifica-se o posicionamento de todas as tecnologias entre os ambiente reais e virtuais e o ponto de convergência ou ponto central, onde haveria pouca distinção entre o mundo real e virtual. Segundo [Tori \(2009\)](#), o contínuo real-virtual é apenas uma referência para a representação dos sistemas que mesclam real e virtual.

[Narzt *et al.* \(2005\)](#), com o objetivo de facilitar essencialmente a percepção das informações digitais e permitir a interação natural com o cenário abrangente da computação, afirma que os equipamentos para RA devem ser os mínimos necessários e devem ser integrados ao ambiente natural do usuário.

No que tange ao grau de imersão, levando em consideração ao contínuo real-virtual, segundo as características definidas por [Azuma *et al.* \(2001\)](#), a integração dos elementos virtuais deve ser interativa e responder em tempo real. Além disso, deve rastrear as posições espaciais entre os elementos reais e virtuais de forma consistente.

Segundo [Tori \(2009\)](#), o maior problema em questão é a projeção acompanhar um objeto real quando este se encontra em movimento. Isto porque o registro deve ser preservado e a projeção precisa acompanhar o objeto, utilizando técnicas de rastreamento deste e do ponto de vista do expectador.

De acordo com [Azuma *et al.* \(2001\)](#), para ser considerado como um sistema RA, o sistema deve mesclar o ambiente real e virtual, permitindo a interatividade entre os ambientes, e o registro em 3D. Os mencionados autores alertam que a sobreposição do mundo real com uma vasta quantidade de dados torna a experiência confusa e ilegível. Nesse sentido, a densidade de dados tem se revelado uma tendência crescente frente à evolução do *hardware*.

2.2 Aplicações para a tecnologia de Realidade Aumentada

A RA em si pode ser considerada um produto. Com efeito, é certo que, a depender dos tipos e aplicações, ela pode ser agregada a um grande número de produtos como forma de diferenciá-lo e acrescer valor.

O avanço das tecnologias de projeção e dos dispositivos convergem com a necessidade de novas interfaces e da iteratividade do homem com a máquina. Para [Souza et al. \(2016\)](#), os recentes avanços implementados nas interfaces, tanto em computadores como em dispositivos móveis, associados as tecnologias de comunicação e transmissão rápida de dados, expandiram o uso e principalmente a atuação da tecnologia de RA. Nesse cenário, constata-se a ação da RA não mais restrita aos jogos eletrônicos, mas também na publicidade, propaganda, entretenimento, sistemas de aprendizagem, educação e segurança.

Para [Souza e Tosi \(2015\)](#), a aplicação da RA na indústria automotiva também ganha mais espaço, tendo em vista o interesse existente em desenvolver aplicativos para carros. Tais aplicativos estão em fase de aperfeiçoamento. Nesse contexto, a incorporação da RA no para-brisa de automóveis já é uma realidade e tem sido implementada pelos fabricantes, ante a sua comprovada utilidade [Alves et al. \(2013\)](#). Evidente, portanto, que se trata de um novo paradigma para a criação de interfaces computacionais que tem se tornado uma tendência em pesquisas aplicadas nos últimos anos.



(a) HUD da Mercedes



(b) Câmera de Ré



(c) Way Rayces



(d) HUD Visteon

Figura 2.2: Realidade aumentada automotiva para navegação.

Fonte: [Visteon \(2019\)](#).

Nas figuras 2.2 é possível constatar exemplos de HUDs encontrados no mercado. As figuras 2.2c e 2.2d apresentam, por sua vez, conceitos utilizando toda a extensão do para-brisas.

Esta tendência emergente está focada em desafios relacionados ao conteúdo, principalmente: criação (Autoria), adaptação (Contexto) e melhoria (Interação-Análise) de conteúdo (AMO *et al.*, 2018).

Neste contexto, a utilização dos elementos de RA possibilita que imagens de objetos sejam projetadas em telas transparente sobre o mundo real em qualquer espaço, sem que o espectador/usuário desvie a atenção de outras tarefas. A título exemplificativo, é certo que o condutor não precisará desviar a atenção da direção do automóvel, tendo em vista a possibilidade de visualizar o ambiente real e as camadas de elementos virtuais.

A RA pode melhorar, ainda, a consciência da situação de outros veículos rodoviários e pedestres em torno do motorista (NG-THOW-HING *et al.*, 2013). É certo que o conceito da RA também pode conter desvantagens em potencial para os HUDs automobilísticos. Nesse sentido, existe o risco de oclusão de objetos relevantes de tráfego, bem como fenômenos como tunelamento para percepção e captura cognitiva (PAUZIE, 2015).

2.3 *Heads-Up Display*

Os *Heads-up displays* surgiram com o advento dos aviões de caça durante a segunda guerra mundial. Foram inventados para auxiliar o piloto com seus alvos, com a navegação (CHOUKSEY; SIRSIKAR, 2016) e com a segurança no ar ou no solo, permitindo o realce dos corredores de voo e destacando pistas de taxiamento quando a visibilidade é baixa (WIEN TAPPER *et al.*, 2013).

Segundo Coni e Bardon (2018) e Hosseini, Bacara e Lienkamp (2014), os HUDs têm sido utilizados, há várias décadas, para as aplicações militares, principalmente, a bordo de aeronaves. Atualmente, tem-se verificado a sua utilização, também, para melhorar a consciência situacional no processo de direção de automóveis, tendo sido introduzidos nessa indústria em 1988 pela GM (MEDVIDOVIC; TAYLOR, 2000).

Indiretamente, pode-se considerar o HUD como a primeira aplicação do que hoje é chamado de RA (CONI *et al.*, 2017; WIEN TAPPER *et al.*, 2013). *Heads up display*, segundo definição de Chouksey e Sirsikar (2016), Haeuslschmid *et al.* (2016), é um dispositivo que possui uma tela transparente na qual a informação é exibida na linha de visão do expectador. Tais informações são exibidas dessa forma graças à capacidade de sobrepor informações em conformidade com a paisagem externa (Figura 2.3).

Segundo Haeuslschmid *et al.* (2016), uma das grandes vantagens dos HUDs é a apresentação distante de sua imagem, entre 2 (dois) a 1,3 (um vírgula três) metros depois do para-brisa. Essa distância corresponde ao foco de descanso do condutor. Knott, Demmelmair e Bengler (2016) destacam a capacidade acomodativa para os olhos dos condutores do HUD para para-brisa.



Figura 2.3: HUD de um F/A-18 C.

Fonte: Photograph taken by a pilot on the VFA-151 of the HUD of a F/A-18C. Imagem de Domínio público

Cumprê destacar que, para os idosos, a capacidade acomodativa é ainda maior, tendo em vista que a imagem virtual é visível a cerca de três metros à frente do veículo.

A crescente demanda por informações exige, de acordo com [Haeuslschmid et al. \(2016\)](#), [Wientapper et al. \(2013\)](#), novos tipos de exibições e de interfaces mais seguras e que sejam utilizadas para veicular vários tipos de informações ([HOSSEINI; BACARA; LIENKAMP, 2014](#)). Nesse cenário, os HUDs têm se tornado um recurso padrão para os veículos mais modernos.

É preciso esclarecer que os HUDs são visores frontais, pequenos monitores ou sistemas de projeção refletidos no para-brisa como uma tela transparente flutuando acima do capô do carro ([HAEUSLSCHMID et al., 2016](#)). São responsáveis por proporcionar aprimoramentos e segurança na direção, possibilitando uma experiência mais confortável, segundo destaca [Qin et al. \(2017\)](#).

Para [Sánchez et al. \(2017\)](#), dispositivos como HUDs e reconhecimento de fala são tecnologias que melhoram e enriquecem a experiência dos condutores, além de manterem a segurança sob controle. Embora as interfaces do tipo HUDs tenham uma longa história e apresentem uma crescente, no que diz respeito à importância do *design* da interface entre o homem e o veículo, para [Beck e Park \(2018\)](#) existem questões que ainda permanecem em aberto.

Nesse sentido, alguns questionamentos são suscitados por pesquisadores, a saber: Como os HUDs devem mostrar o conteúdo? De que forma podem atender melhor o condutor? O quão são eficazes como métodos de representação em ambientes desfavoráveis ([YOON et al.,](#)

2014)? Quanto a melhora da cognição intuitiva e da concentração, quais os efeitos dos avisos apresentados? Possuem efeito positivo no processo de condução? Como melhoram o tempo de resposta e de reação e quais são recomendados apenas para situações críticas (WINKLER; KAZAZI; VOLLRATH, 2015; LANGNER *et al.*, 2016)?

O uso de HUDs possibilita a apresentação de gráficos não interativos, posicionados no para-brisa e atualizados de acordo com o movimento do veículo e da posição dos olhos do motorista (HOSSEINI; BACARA; LIENKAMP, 2014).

Os HUDs estão se tornando cada vez mais predominantes em automóveis modernos e sofisticados (WIENTAPPER *et al.*, 2013). A tecnologia HUD, em combinação com RA, oferece um potencial de resolução da demanda existente de se aumentar as informações nos carros modernos (ABDI; MEDDEB, 2017b).

Com efeito, verifica-se que a RA está evoluindo constantemente em direção ao uso comercial e convencional (MERENDA *et al.*, 2016), tendo em vista o seu potencial de alterar significativamente a experiência do usuário (NG-THOW-HING *et al.*, 2013). Nesse sentido, é capaz de aumentar a segurança e o conforto do condutor (WIENTAPPER *et al.*, 2013), além de melhorar os sistemas de transportes inteligentes. O que se constata é a sobreposição das informações de tráfego ao redor da visualização dos usuários, sem que isso interfira na visão do condutor na estrada (ABDI; ABDALLAH; MEDDEB, 2015). Isso ocorre por meio dos sistemas de navegação que podem reduzir a distração e o risco durante a condução (MERENDA *et al.*, 2016).



Figura 2.4: Navdy NVD150-EN Display
Fonte: Navdy 2018

Embora o uso de visores que refletem informações do painel no para-brisa do veículo ou em dispositivos de acrílico ainda seja restrito no Brasil, verifica-se a sua popularidade em países da Europa e na China.

O *Navdy*,¹ HUD, Figura 2.4, por exemplo, faz uso de um aplicativo para *smartphone* como fonte de conteúdo em conjunto com um dispositivo para apresentar a navegação. Em linhas gerais, a tela do aplicativo é entendida e projetada. Em outros termos, a tela do *smartphone* é apresentada na frente do motorista. A *Navdy* projeta mapas, chamadas, músicas, mensagens e informações do carro.



Figura 2.5: O HUDWAY possui um suporte para fazer um *smartphone* funcionar como um HUD.
Fonte: Hudway - <https://hudway.co/glass> (Acesso em:)

A *HUDWAY Glass*², Figura 2.5, por sua vez, é uma HUD composta por uma tela de plástico, em forma de *flip-up*, e um adesivo para montagem no veículo. O dispositivo funciona utilizando *smartphone* e aplicativos populares, como por exemplo o *Waze* e o *Google Maps* (aplicativos de navegação).

2.4 O design da informação em ambientes de RA

Segundo *Tori (2009)*, ao projetar o *design* para um sistema devemos ser cuidadosos de forma que não se confunda ou se misture os requisitos do problema com os requisitos das tecnologias a serem empregadas na solução. O enfoque desta afirmação pressupõe e ainda destaca a importância quanto ao conhecimento do escopo do problema, de forma a impedir a construção das interfaces antes de projetar o *design*.

Para *Azuma (1997)*, a RA possibilita interfaces computacionais avançadas que podem ser implementadas de forma expressiva na sociedade. A aplicação da RA em automóveis (RA automotiva) está centrada em um cenário complexo que exige a atenção do condutor e a introdução de novos elementos e sistemas. Estes assumem a existência de um conjunto de características e requisitos

¹ www.navdy.com

² <https://hudway.co/glass>

que são intrínsecos aos veículos e ao processo de condução, a exemplo, da navegação para condução de um veículo.

Com os avanços das tecnologias atuais em relação às interfaces, os modelos de Interação Humano Computador (IHC) são capazes de interagir ativamente com um ser humano, tornando-se importantes nos automóveis modernos, ante a capacidade de tornar a experiência de condução mais conveniente e mais fácil de usar (HOSSEINI; BACARA; LIENKAMP, 2014). A ergonomia do painel do carro beneficia o usuário, possibilitando a interação com telas multifuncionais e indicadores com segurança (BARA *et al.*, 2018). Assim, o que se percebe é que novas tecnologias estão surgindo para atender ao crescente desejo por veículos e estradas mais seguras (DOSHI; CHENG; TRIVEDI, 2009).

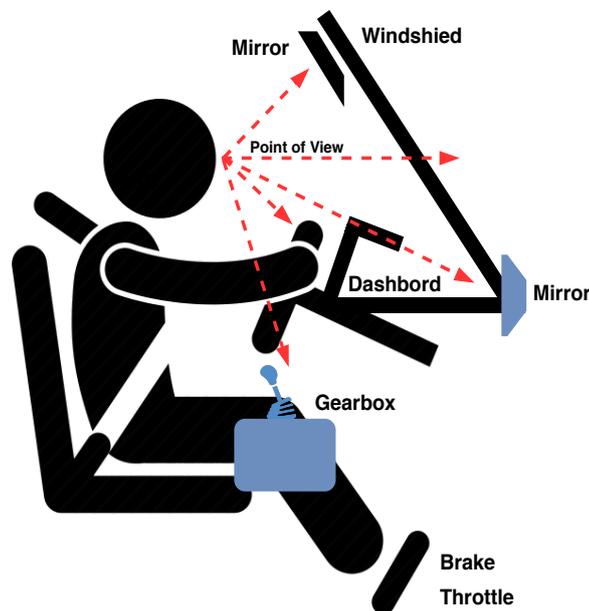


Figura 2.6: Tipos de Navegação em Veículos.
Fonte: Adaptado de Ishizaki *et al.* (2014).

O controle de veículos automotivos pode ser resumido como uma tarefa na qual o condutor controla movimentos para frente, para trás ou para os lados. No nível mais baixo, ou seja, no conjunto mecânico, o veículo não assume nenhuma das tarefas exigidas pelo condutor de forma constante. Entretanto, há um conjunto de tarefas ou funções que o condutor precisa executar obrigatoriamente, como: manter atenção e foco no campo de visão, reconhecer objetos, pessoas e eventos. O condutor precisa, ainda, determinar ou reagir de forma adequada ao conjunto de informações ou eventos. Na Figura 2.6 o condutor divide a atenção entre as tarefas mencionadas.

Gabbard, Fitch e Kim (2014) classificam as tarefas em primárias e secundárias e as abordam como as mais importantes no processo. A tarefa principal (primária) consiste no campo de visão ou *Field of View* (FoV), onde o condutor tem a visão da via e de todo o cenário a sua frente, através do para-brisa e das visões laterais e traseira, por meio dos retrovisores.

A atenção secundária (tarefa secundária), por sua vez, está concentrada nos controles do veículo, ou seja, no volante, nos pedais de freio e aceleração e na caixa de marchas. As demais atividades, tais como o *dashboard*, os itens de entretenimento do veículo e os itens externos, são caracterizados como a terceira tarefa existente no processo de condução.

No modelo atual, para a condução de veículos é crucial permanecer focado para reagir rapidamente (HAEUSLSCHMID *et al.*, 2015). Nesse cenário, o consumo de informações secundárias já está consolidado atualmente, tratando-se de itens básicos e obrigatórios presentes em todos os veículos produzidos no mundo.

De acordo com Chen (2006), a visualização de informação é um campo de pesquisa que busca aplicar a transformação gráfica de dados, em sua maioria abstratos e não espaciais, transmitindo, com rigor, a essência do dado bruto em uma interação intuitiva, precisa e fiel.

Proporcionar uma representação adequada a perspectiva do expectador é uma maneira eficiente para a realização correta de tarefas, como por exemplo, reduzir os acidentes de trânsito (PARK; KIM, 2013). As regras de organização e *design* da informação interferem no *design* da interface, assim como os elementos de informação que são tão importantes quanto o cenário (JIN; YOU; WANG, 2016).

Atualmente, a visualização de gráficos no para-brisa dos veículos vem sendo um tema investigado por muitos pesquisadores (HOSSEINI; BACARA; LIENKAMP, 2014). Segundo Ishizaki *et al.* (2014), a tendência tecnológica atual indica que há uma convergência da RA com os HUDs, em se tratando de interfaces para navegação automotiva.

Em apoio a esta tendência há uma corrida tecnológica com o objetivo de garantir a dominância do mercado de veículos inteligentes. Atualmente, os veículos mais modernos apresentam sistemas capazes de mostrar ou transmitir a localização atual em um mapa digital, realizando cálculos de rota para guiar o condutor. Os sistemas são capazes, ainda, de apresentar pontos de interesses, geralmente utilizados por empresas de *Marketing Digital*.

Segundo Ishizaki *et al.* (2014), os sistemas para exibição de informação em veículos podem ser de três tipos: sem exibição, com exibição incorporada ou com exibição instalada no painel ou transportada pelo usuário (*e.g.*, *tablets e smartphones*). No caso das exibições incorporadas e instaladas, o mercado oferece algumas opções de telas com interfaces AR-HUDs e de pequenas películas no para-brisas do veículo, como forma para visualização de informações.

Conforme se demonstrou na Figura 2.6, existem inúmeras informações secundárias vindas de vários locais. Ocorre, contudo, que outras informações são levadas para dentro do veículo, além dos *feedbacks* de desempenho do veículo, velocidade, combustível, nível de óleo, água e temperatura do motor, como por exemplo, as chamadas recebidas em *smartphones*, *e-mails* e

itens de entretenimento em geral.

Há um potencial muito vasto quanto às aplicações e formas de exibições das informações em 3D, tendo em vista que elas podem ser usadas com o intuito de proporcionar uma condução mais segura e mais confortável, aprimorando a experiência do condutor (ALVES *et al.*, 2013).

2.5 A informação e os desafios para projetar sistemas de interação em RA

Com o desenvolvimento da sociedade moderna os carros tornaram-se meios indispensáveis para o transporte diário (JIN; YOU; WANG, 2016). Ocorre que, nos veículos modernos, os condutores são constantemente expostos a inúmeras informações que vem do próprio veículo, do veículo vizinho, da estrada e de equipamentos de telecomunicações (KNOLL, 2015).

Os automóveis estão se tornando sistemas cada vez mais complicados, considerando a segurança, o meio ambiente e o conforto do usuário. Este contexto tem sido visto como um grande desafio, tendo em vista a complexidade da condução e segurança no mundo automotivo moderno (QIN *et al.*, 2017) com os sistemas de interação entre humanos e máquinas.

O fornecimento constante de informação sobrecarrega o condutor com uma variedade de informações vindas da instrumentação (CHARISSIS, 2014). Esta conjuntura prejudica a percepção do condutor, assim como, a visibilidade é o requisito mais importante para uma condução segura.

É certo que as más condições atmosféricas (nevoeiro, chuva, neve) e o fenômeno de brilho, causado pelo sol e faróis, trazem o mesmo resultado, qual seja, o perigo para o transporte público (MICLEA; SILEA; SANDRU, 2017).

Essa abundância de dispositivos que promove informação e entretenimento no âmbito automotivo pode reduzir significativamente o processo de decisão do motorista e o tempo de resposta, aumentando a probabilidade de colisão, especialmente sob condições climáticas adversas (CHARISSIS, 2014).

As informações provenientes de todos esses sistemas devem ser apresentadas ao motorista com *displays* apropriados, levando em consideração os requisitos ergonômicos da interface homem máquina (KNOLL, 2015; KNOLL, 2017). Para Qin *et al.* (2017), os atuais sistemas de exibição no painel de instrumentos, usados para exibir mensagens, forçam o motorista a afastar a visão da estrada.

Estabelecidos como sistemas de informação, atualmente, a assistência avançada ao motorista permite a mitigação de colisões por meio de diversos sistemas de prevenção. Com isto, muitos dados vêm sendo gerados simultaneamente, de forma apropriada, para representar as informações

necessárias para que o condutor possa tomar as decisões.



Figura 2.7: Conceito Visteon para exibição de gráficos no pára-brisa.
Fonte: [Visteon \(2019\)](#).

Segundo [Qin et al. \(2017\)](#), [Blume, Kern e Richter \(2013\)](#), com o avanço dos HUDs, o conceito da RA ganhou notoriedade na cena automobilística, sendo inserido para superar as desvantagens existentes. Em HUDs do tipo painel ou de telas menores o objetivo é reduzir a complexidade da instrumentação que continua a ser um dos principais desafios. A Figura 2.7 mostra um conceito no qual há itens informativos em vários pontos do veículo.

[Sánchez et al. \(2017\)](#) relatam que as tecnologias e equipamentos já tão presentes nos automóveis estão recebendo novos elementos capazes de fornecer informações sobre o veículo e o contexto no qual o processo de condução ocorre. Esse cenário tem se intensificado rapidamente com o desenvolvimento de veículos autônomos.

Ademais, o desenvolvimento de redes e serviços baseados em *Internet of things (IoT)* tem crescido, possibilitando que mais itens sejam integrados aos veículos. Nesta situação, o HUD oferece duas vantagens centrais: criar espaço adicional para exibir informações relevantes de alta prioridade e determinar uma posição ergonomicamente favorável que não cause distração ao motorista ([PAUZIE, 2015](#)). As mencionadas vantagens são de suma relevância, tendo em vista que, além de dirigir, o condutor precisa processar um nível de informação que seja claramente estruturada e priorizada.

Com o crescente consumo de informações se torna cada vez mais acessível aos condutores através de diversos sistemas de visualização embarcados ou levados para o veículos, como por exemplo HUDs, *smartphones* e *tablets*. Neste caso em particular, estes sistemas de visualização de informações podem se tornar muito perturbadores ([SÁNCHEZ et al., 2017](#)).

As informações apresentadas em interfaces HUDs contribuem para melhorar o processo de direção, considerando a natureza do papel do condutor em três perspectivas importantes: “compreender” a percepção humana, “entender” a distração que os instrumentos provocam e “compreender” o comportamento humano. Neste aspecto, os aplicativos de RA devem se concentrar apenas em tarefas que envolvem o ambiente de direção local imediato e não em espaços de tarefas secundárias para minimizar a distração do motorista (NG-THOW-HING *et al.*, 2013)

Assim, segundo Sánchez *et al.* (2017), é necessário desenvolver soluções para garantir a segurança dos condutores e, ao mesmo tempo, permitir o acesso às informações e as ferramentas que possam melhorar a experiência de condução.

2.6 Desafios com a apresentação de informações

Segundo Haeuslschmid *et al.* (2015), a exibição de informações dissociadas espacialmente do mundo físico ou que não possuem associação imediata levam o condutor a desviar a atenção, buscando a causa ou procurando o perigo.

Segundo Wientapper *et al.* (2013), os dispositivos atuais são limitados apenas à apresentação de informações textuais ou simbólicas, como a velocidade atual e os ícones de navegação. Hosseini, Bacara e Lienkamp (2014), contudo, defendem que o uso de HUD para RA requer um modelo interno preciso para processo de geração de imagens, de forma que o conteúdo 3D possa ser visualizado de forma correta, do ponto de vista do usuário.

Wientapper *et al.* (2013) sugere que o próximo passo lógico é transformar esses dispositivos em telas de RA, a fim de que o conteúdo 3D virtual apareça registrado espacialmente no ambiente do veículo e, conseqüentemente, do motorista, fornecendo informações contextuais relevantes.

Diante da grande quantidade de dados disponíveis e de aplicativos para coletar e apresentá-los, a projeção nos diversos tipos de HUD possuem inúmeras possibilidades. Alguns fabricantes oferecem aos condutores formas para que possa alterar no painel ou no volante o que será exibido. Estas funções permitem aos motoristas selecionar o HUD para mostrar itens como velocidade do veículo, indicadores do sistema, dados do controle de cruzeiro ativo, dados de assistência ao motorista e até mesmo comandos de navegação (ver Figura 2.8).

Sabe-se que a visualização de informações é basicamente o foco ou a principal utilidade do HUD. Essencialmente, os dados captados e processados pelos sistemas de sensoriamento devem ser apresentados na interface gráfica de maneira clara e objetiva, a fim de que o condutor possa decidir o que fazer em condições de risco.

Neste aspecto, o tamanho do *display* no qual são apresentadas as informações gráficas é parte



Figura 2.8: *Hudly hud*
Fonte: Hudly 2018

fundamental. Os visualizadores pequenos podem não ser capazes de transmitir uma grande quantidade de informações de forma clara. Além disso, é certo que imagens muito pequenas podem dificultar a identificação de riscos potenciais nas proximidades. Por outro lado, um visualizador com grande amplitude pode apresentar uma gama maior de informações tornando a interface gráfica complexa, gerando uma sobrecarga de informações.

Os dispositivos de mercado atualmente disponíveis são sistemas de assistência passiva, basicamente alertam o condutor de forma a melhorar o tempo de reação em situações de risco. Em outros termos, os modelos atuais fornecem basicamente os seguintes serviços: *Lane Departure Warning Systems (LDWS)*, *Forward Collision Warning (FCW)*, *Backward Collision Warning (BCW)*, *Traffic Sing Recognition (TSR)*, *Over Speed Alarm (OSA)* *Pedestrian Detection (PD)* e *Route Information (RI)*. Estas funcionalidades se tornaram populares e precursoras, em se tratando de veículos autônomos e semiautônomos, e estão presentes em várias marcas.

Por uma questão didática, cumpre relatar, de forma sucinta, cada sistema acima mencionado.

1. *Lane Departure Warning* (Aviso de saída da faixa): o sistema de aviso de saída de faixa alerta o condutor quando o veículo sai acidentalmente de sua faixa;
2. *Forward Collision Warning* (Aviso de colisão direta): algoritmos utilizam os dados dos sensores para calcular a distância segura entre os veículos e obstáculos existentes na frente e nas laterais, apresentando um alerta ao condutor quando há um obstáculo muito próximo;

3. *Blind Spot Detection* (Detecção de ponto cego): câmeras localizadas nas laterais do veículo têm visão constante dos pontos cegos para notificar o condutor quando houver veículos invisíveis;
4. *Pedestrian Detection* (Sistema de proteção para Pedestres): a detecção de pedestres tem por objetivo garantir a segurança no trânsito;
5. *Vehicle Detection*: detecção de veículos possibilita manter distâncias seguras;
6. *Speed Limit Detection*: controle dos limites de velocidade (pode ser feito como base nas rodovias, de acordo com o fluxo de trânsito ou pré-definido);
7. *Rear-end Collision Avoidance*: sistema de prevenção contra colisão traseira, tem por função evitar pequenas colisões durante manobras como saída do estacionamento e freadas bruscas;
8. *Cross Traffic Alert (CTA)*: complementa os sistemas que fazem detecção de ponto cego, detectando trânsito cruzado na parte traseira dos veículos;
9. *Adaptive Cruise Control (ACC)*: é um sistema que possibilita aos veículos ajustar automaticamente a velocidade mantendo uma distância segura do veículo a frente;
10. *Autonomous Emergency Braking (AEB)*: pode ser definido como um sistema de assistência que monitora o comportamento e observa os atrasos entre o acelerador e o freio, de modo que, em situações de emergência ou que o tempo limite predefinido para uso do freio seja excedido, o sistema aplica uma parada segura;
11. *Park Assistance*: é um módulo autônomo para manobras com o objetivo de estacionar o veículo em paralelo, de forma perpendicular ou angular; O módulo também é chamado de *Parking sensor*.

Itens como navegação ou visualização de mapas, cálculo e apresentação de rotas é parte importante, haja vista que ajuda o condutor a se localizar nas rodovias e auxilia na escolha do melhor trajeto. Outro item importante que está presente em todos os dispositivos é o *Speedometer*. Trata-se de um dispositivo que visualiza a velocidade do veículo. Apesar de estar presente no painel, a presença do velocímetro favorece a segurança, já que o HUD se torna a melhor opção para o condutor.

Em 2003, a BMW³ trouxe para o mercado um novo tipo de Monitor *Head-Up* composto por um transistor de película fina (monitor *thin-film-transistor (TFT)*) com uma luz *Light-Emitting Diode (LED)* e uma unidade de espelho (KNOTT; DEMMELMAIR; BENGLER, 2016). Neste conceito, a formação da imagem é gerada por um monitor TFT que são iluminados por LEDs. Os feixes de luz são direcionados para o para-brisa através de um conjunto de espelhos (KNOTT; DEMMELMAIR; BENGLER, 2016).

³*Bavarian Motor Works* é uma multinacional alemã que produz veículos e motocicletas de luxo.

2.7 Modelo e arquiteturas de referência para sistemas de *heads-up display*

Segundo [Coni e Bardon \(2018\)](#), durante as últimas décadas, os HUDs mantiveram a mesma arquitetura básica ou referencial, com os seguintes componentes: uma fonte de projeção e uma película ou *combiner* que consiste em um retângulo transparente. O projetor cria uma imagem intermediária do objeto que é refletida por um conjunto de espelhos em uma formação específica para ser apresentada sobre a superfície transparente, possibilitando a sobreposição do mundo externo, *e.g.*, Figuras 2.8 e 2.9.

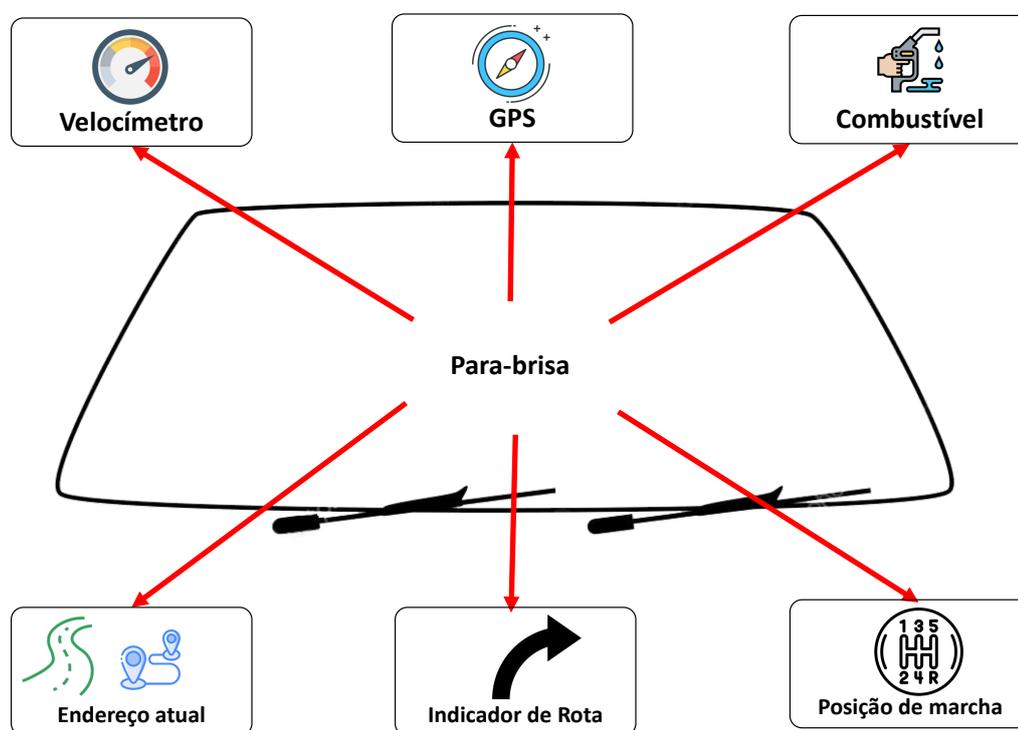


Figura 2.9: Parâmetros comuns indicados pelos Sistemas HUD

Fonte: [Masiyano, Collings e Christmas \(2013\)](#), [Kim, Otani e Leung \(2015\)](#) e [Broy et al. \(2015\)](#)

De acordo com [Knott, Demmelair e Bengler \(2016\)](#), [Coni e Bardon \(2018\)](#), [Okumura et al. \(2017\)](#), [Betancur et al. \(2016\)](#), [Ishizaki et al. \(2014\)](#), [Muller e Hole \(2007\)](#), [Coni e Bardon \(2018\)](#) e [Qin et al. \(2017\)](#), o modelo segue o mesmo conjunto de componentes como referência para HUDs que fazem uso de projeção em para-brisa utilizando películas ou pequenas superfícies transparentes instaladas acima do *dashboard* do veículo. Os HUDs convencionais presentes nos veículos atuais se apresentam em forma de *dashboard* físicos, utilizando telas ou painéis acima ou atrás dos volante do veículo e não são representados nos modelos atuais.

Para [Schneider et al. \(2019\)](#), o HUD para para-brisas, com a utilização de RA, é um avanço promissor em relação as exibições de HUDs convencionais nos veículos. É certo, contudo, que a

utilização de muitas arquiteturas, formatos e estilos tende a dificultar a interoperabilidade no amplo ecossistema existente.

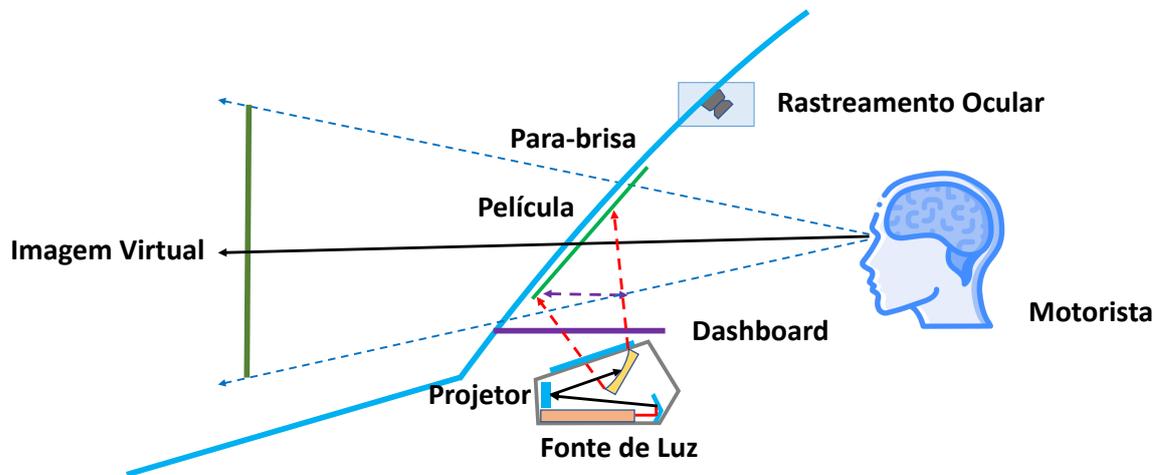


Figura 2.10: Modelo de referência para o princípio funcional dos HUDs para para-brisa.

Fonte: Adaptado pelo autor de Knoll (2015), Betancur *et al.* (2016), Knott, Demmelair e Bengler (2016), Okumura e Shinohara (2016), Okumura *et al.* (2017) e Milanovic, Kasturi e Hachtel (2015)

O modelo de referência para os sistemas de HUD leva em consideração a visão apresentada na Figura 2.10. Com efeito, ele pode ser utilizado tanto para os chamados *small HUDs*, conforme visto na Figura 2.5, como em HUDs que ocupam toda área do para-brisa (Figura 2.9). O tipo de HUD é definido pela abertura da fonte de luz ou pelo tamanho físico do *combine*. É preciso registrar que *combine* é o nome dado à combinação de uma película especial para receber a projeção com o para-brisa. Pode ser utilizado tanto nos *small HUDs* quanto nos de tela cheia.

Com o intuito de esclarecer e orientar esforços no desenvolvimento de sistemas de HUD automotivos, Betancur *et al.* (2016) reúnem práticas de *design*, características comuns e tendências para implementação de sistemas automotivos de HUD.

Segundo Okumura *et al.* (2017), por muitos anos o modelo utilizado para exibição em HUD buscou expor a imagem em qualquer posição com a mesma profundidade para o campo de visão.

De modo geral, em HUDs tradicionais (em grandes formatos), a imagem é projetada em sobreposição ao espaço, este fica em segundo plano Okumura *et al.* (2017), Sasaki *et al.* (2010). Essa abordagem não consegue resolver o problema da definição e da profundidade da imagem. Para sanar tal problema é possível empregar a técnica conhecida como *parallax*.

O *parallax* é uma técnica na qual as imagens de fundo são movimentadas em uma velocidade menor que as de primeiro plano. Em outros termos, as imagens do mundo real devem se mover de forma mais lenta que as imagens projetadas em primeiro plano, criando uma ilusão de profundidade para o espectador, em um plano de duas dimensões.

Para Okumura *et al.* (2017), Okumura e Shinohara (2016) um modelo de Projetor de Realidade Aumentada Refratada para para-brisa (*Windshield-refracted Augmented Reality Projector (WARP)*) possibilita a exibição de imagens em qualquer posição de profundidade. Nesse cenário, utiliza-se a visão monocular para eliminar os sinais de profundidade causados por informações de paralaxe controlando o ponto de profundidade ao exibir imagem.

Coni e Bardon (2018), Okumura *et al.* (2017), Okumura e Shinohara (2016) e Betancur *et al.* (2016) abordam arquiteturas no âmbito da modelagem para aplicativos e problemas em situações definidas. No entanto, a especificação de uma arquitetura de referência para a aplicação da realidade na indústria automotiva, em especial no domínio de interfaces AR-HUD, abrange vastas áreas de conhecimento, a exemplo da disciplina de engenharia de *software*, realidade aumentada, dispositivos de *hardware* (*e.g.*, projetores e telas transparentes), sistemas de assistência à direção e a própria indústria automobilística, conforme já visto nas seções anteriores.

Palmarini *et al.* (2018), Nakagawa (2016), Sampaio e Mancini (2007) e Kitchenham (2004), defendem que por meio de uma revisão conduzida, *e.g.*, revisão sistemática da literatura, é possível identificar diversas linhas de pesquisas ainda em aberto e outras carentes de investigação. Registre-se que, uma revisão conduzida pode fornecer suporte no que tange ao desenvolvimento e evolução de um domínio, agregando novas áreas de conhecimento.

A aplicação do processo de revisão da literatura promove um panorama que abrange desde os impactos da tecnologia, em relação aos domínios, quanto em relação aos sujeito exposto com o uso.

Conforme demonstrado, a realidade aumentada é uma tecnologia, mas pode ser também considerada como um produto. Devido ao impacto que ela pode causar quando aplicada a um domínio (*e.g.*, indústria automotiva, especialmente aos sistemas de assistência à direção), faz-se necessário, a fim de ampliar massivamente o domínio, mesclar áreas de diversos conhecimentos, como direção segura, comportamento, cognição e as interfaces com o usuário, a fim de ampliar massivamente o domínio.

A seção 2.8 apresenta uma revisão sistemática da literatura que fornece informações relevantes em interfaces inovadoras para *head-up display* envolvendo as áreas mencionadas.

Embora a revisão não tenha foco no problema, ela aborda temas que permeiam e circundam o objetivo desta pesquisa. A revisão sistemática é empregada com o objetivo de estabelecer bases teóricas que possam subsidiar o desenvolvimento e a implementação da arquitetura de referência com foco em itens como facilidade de uso, elementos de *design* e interação homem máquina.

Ainda que a seção 1.3 estabeleça limites quanto ao foco da pesquisa, faz-se necessário abordar os diversos cenários no domínio, tendo em vista a necessidade de fundamentar e contextualizar a

origem dos dados, dos módulos de *software* e dos efeitos sobre o sujeito utilizador.

A revisão fornece, ainda, os requisitos necessários para as regras de negócio, do cliente, os requisitos técnicos para uma arquitetura de referência e os contextos de uso para o usuário final das aplicações concretas ou instâncias.

2.8 Revisão Sistemática

Palmarini *et al.* (2018) define a Revisão Sistemática de Literatura (RSL) como o estado da arte em uma ou mais áreas de pesquisa. Além disso, estabelecem uma análise temática conduzida para atingir os objetivos de pesquisa no contexto analisado. Kitchenham (2004), por sua vez, define uma revisão de literatura como uma forma de pesquisa que utiliza fontes de dados científicas com o intuito de identificar, avaliar e interpretar um conjunto de pesquisas relevantes ao tema em questão.

Sampaio e Mancini (2007), apresentam a revisão sistemática como um tipo de pesquisa que busca na literatura evidências ou trabalhos anteriores utilizando técnicas de busca, seleção, avaliação e crítica das publicações, de modo que elas reflitam o cenário atual em relação tema. Além disso, as revisões proporcionam subsídios necessários para lacunas ou linhas de trabalhos futuros.

As revisões ocupam uma posição-chave para resumir o conhecimento existente (SAMNANI *et al.*, 2017). De forma explícita, uma revisão é claramente definida ou caracterizada por uma pesquisa abrangente e sistemática através de uma estratégia reproduzível na qual os dados podem ser rastreados. Cumpre registrar que a análise deve ser abrangente e imparcial com a apresentação adequada dos resultados.

Conclui-se, portanto, que a revisão sistemática corresponde a uma metodologia utilizada por pesquisadores do mundo todo, os quais, valendo-se do conjunto significativo de textos científicos, examinam as evidências que possam determinar apoio ou contradizer hipóteses ou teorias.

A metodologia utilizada neste capítulo de revisão segue os processos e as diretrizes gerais definidos e descritos por Palmarini *et al.* (2018) em “*A systematic review of augmented reality applications in maintenance*”. Utilizou-se, ainda, as diretrizes propostas por Amo *et al.* (2018) em “*A systematic review of Augmented Reality content-related techniques for knowledge transfer in maintenance applications*”. Registre-se, por fim, que a metodologia descrita por Palmarini *et al.* (2018) tem foco na identificação de lacunas na literatura, fornecendo as evidências de futuros campos de pesquisa.

2.9 Metodologia de Revisão Sistemática

Segundo Kitchenham (2004), uma RSL pode ser dividida em três macro-etapas: planejamento, condução e relatório da revisão. As mencionadas macros etapas podem ser distribuídas, segundo o modelo definido por Palmarini *et al.* (2018), em sete passos, a saber: planejamento, definição do escopo, busca, avaliação, sintetização, análise e escrita. A Figura 2.11 apresenta a metodologia de RSL utilizada para esta pesquisa. Cada uma das etapas são relatadas com os seus respectivos resultados.

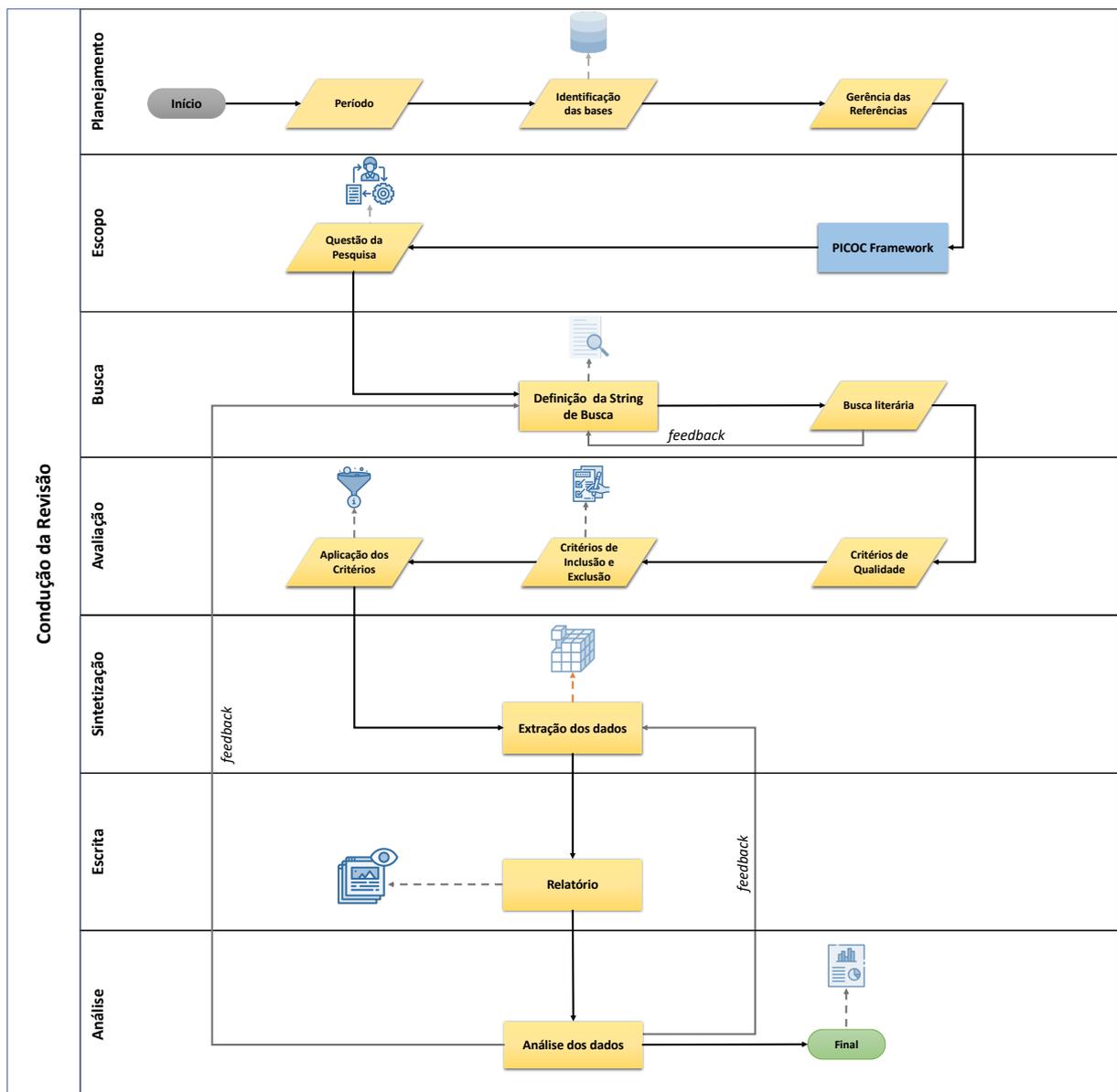


Figura 2.11: Metodologia para SLR.
 Fonte: Adaptado de Palmarini *et al.* (2018).

A metodologia adotada neste estudo teve como base (PALMARINI *et al.*, 2018) e (AMO *et al.*, 2018). A metodologia se divide em três macro-etapas (KITCHENHAM, 2004), a saber:

planejamento, condução e relatório da revisão. Essas macroetapas se organizam em um protocolo de sete passos, descritos em [Palmarini et al. \(2018\)](#), são eles: planejamento, escopo, pesquisa, avaliação, síntese, análise e redação dos resultados.

A etapa de planejamento foi dividida em três subetapas: período de tempo para pesquisa, identificação das bases de dados e os métodos e *software* para gerenciar e construir a base de dados com as referências. Para a realização deste trabalho foi delimitado o período de Janeiro de 2012 a Janeiro de 2019. Nesse cenário, a pesquisa foi realizada entre os dias 08/01 e 20/01/2019. Utilizou-se as seguintes bases de dados bibliográficas para a realização da pesquisa:

- *IEEE Xplore*⁴ www.ieeexplore.com
- *ScienceDirect*⁵ www.sciencedirect.com
- *Elsevier Scopus*⁶ www.scopus.com
- *ACM Digital Library*⁷ www.acm.org
- *Springer* www.springer.com

As bases selecionadas possuem conteúdo interdisciplinar e, por isso, abrangem as engenharias, ciência da computação e sub áreas. Para gerenciá-las foi utilizado o *Mendely* www.mendeley.com, tendo em vista a infraestrutura e o suporte que a plataforma oferece. Além disso, a mencionada plataforma possui ferramentas para visualizar o conteúdo e suplementos para citações em formato BIB_{TEX} , facilitando a construção da base de dados bibliográfica. Sobre a construção da base de dados bibliográfica, cumpre registrar que também foi utilizado o serviço *doi2bib*, disponível em <https://www.doi2bib.org/>.

A definição do escopo possibilita a formulação das perguntas a serem respondidas e estabelece limites para a pesquisa ([AMO et al., 2018](#)). Nesta etapa, identifica-se, ainda, os métodos de pesquisa. Importante registrar que, no presente estudo, adotou-se o método *Population, Intervention, Comparison, Outcomes and Context (PICOC)* ([AMO et al., 2018](#)). O **PICOC framework** é usado como uma estrutura formal para decompor questões de pesquisa através dos seus conceitos.

A População consiste no uso de Interfaces *heads-up display* em para-brisas para assistência à direção por condutores de automóveis. A Intervenção é o uso de realidade aumentada para

⁴Biblioteca digital que fornece acesso a conteúdo científico e técnico publicado pelo IEEE (Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos) e seus parceiros editoriais

⁵É a base de dados de textos completos revisados por pares da Elsevier que oferece informações para pesquisadores, professores, estudantes, profissionais de saúde e profissionais da informação.

⁶É uma banco de dados de resumos e citações de artigos para jornais/revistas acadêmicos.

⁷A ACM Digital Library é uma biblioteca digital que contém a coletânea completa de todos os artigos publicados pela ACM em seus artigos, revistas e anais de congressos.

apresentar informações como apoio aos condutores. A Comparação da utilização de RA, por sua vez, é efetuada com os métodos tradicionais, como por exemplo os HUDs do tipo painel e as formas interativas utilizando RA. O Resultado é medido a partir dos indicadores e métricas que demonstram a relevância e a eficácia quanto ao uso de interfaces de AR-HUD como métodos para apresentação de informações em ambientes desfavoráveis.

Por fim, foram definidas as seguintes questões de pesquisa:

- P1** - Quais os impactos mensurados, segundo a literatura, do uso da Realidade Aumentada para exibir informações em interfaces *heads-up display*?
- P2** - Como exibir informações vindas de um sistema de direção assistida para a tomada de decisão em condições de baixa visibilidade?

Em seguida, iniciou-se a fase de busca que consistiu em identificar informações relevantes nas bases de dados. Para isso, foi necessário elaborar “*Strings*” e/ou “*Queries*” que pudessem identificar informações relevantes e recuperá-las. A *string* utilizada nesta investigação foi construída utilizando as seguintes palavras “*head*-up display**”, *HUD* “*windshield*”, “*full windshield*” e “*Augmented Reality*”. Inicialmente foram obtidos 210 publicações, para cada base a *string* foi ajustada para as ferramentas de busca em cada biblioteca digital. Os resultados encontrados foram classificados por base conforme a Tabela 2.1.

Tabela 2.1: *Strings* de busca e resultados da consulta classificadas por base de dados.

n°	Base de Dados	Data	Resultados
1	<i>ACM DL</i>	20/01/2019	12
2	<i>ScienceDirect</i>	20/01/2019	26
3	<i>Elsevier Scopus</i>	15/01/2019	38
4	<i>IEEE Xplore</i>	08/01/2019	65
5	<i>Springer</i>	15/01/2019	69
Total			210

Fonte: Própria.

Após a etapa de busca segundo a metodologia definida em [Palmarini et al. \(2018\)](#), realizou-se a etapa de avaliação da pesquisa inicial. Nesse sentido, aplicou-se ao conjunto de resultados uma busca utilizando as seguintes palavras chaves: “*Title e Abstract*” (Título e Resumo). Com isso, reduziu-se a amostra para noventa e um trabalhos.

Entres esses trabalhos, identificou-se que dezesseis estavam em duplicidade e, por isso, foram removidos. Outras trinta e três publicações que foram classificadas como *Short Papers*, *Preview*

e resumo expandido contendo número de páginas inferior a seis também foram removidas, conforme Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Seleção dos Trabalhos

n°	Descrição	Quantidade
1	Trabalhos Encontrados	210
2	Excluídos na Seleção Primária	119
2	Seleção Primária	91
3	<i>Short Papers and Preview</i>	33
4	Duplicados.	16
Total de Trabalhos Selecionados		42

Fonte: Própria.

Em seguida, os trabalhos selecionados foram submetidos aos critérios de inclusão (CI) e exclusão (CE), com o objetivo de restringir o número de documentos encontrados a um valor significativo e relevante em relação às perguntas da pesquisa. Foram adotados critérios para restringir os estudos primários, de modo a preservar apenas as publicações relevantes a esta revisão.

Critérios adotados:

- CI1** - Serão incluídos trabalhos completos que apresentem arquiteturas de referência e modelos conceituais para interfaces do tipo *heads up display*, simulações e testes de usabilidade em interfaces HUDs para automóveis.
- CI2** - Trabalhos que discutem o estado da arte para a aplicação de interfaces *heads-up display* com realidade aumentada em sistemas de assistência à direção e como estas interfaces podem contribuir para melhorar o processo de condução.
- CI3** - Trabalhos que abordem os desafios enfrentados por *designers* e engenheiros para projetar sistemas em realidade aumentada, as técnicas utilizadas para exibir a projeção e como os dados devem ser exibidos em interfaces *head-up display*.

Os critérios de exclusão adotados para este trabalho foram:

- CE1** - Trabalhos que abordem legislação ou normas de trânsito.

CE2 - Trabalhos que abordem o processo ou desenvolvimento de módulos para aquisição de dados em sistemas ADAS.

CE3 - Estudos que abordem a tecnologia de Realidade Virtual, HUDs para aeronaves ou veículos de duas rodas.

Após, identificamos critérios de qualidade (CQ) para assegurar a extração de dados quantitativos e qualitativos na etapa de Síntese e Análise de resultados (PALMARINI *et al.*, 2018). Os seguintes critérios de qualidade foram estabelecidos:

CQ01 - O resultado do estudo é aplicável para o desenvolvimento de Interfaces utilizando AR para automóveis *Full Windshield Heads-Up Display*.

CQ02 - Os Modelo de IHC propostos são capazes de interagir ativamente com um ser humano como parte de um sistema de assistência ao motorista.

A etapa que compreende o processo de sintetização consiste na extração dos dados, classificação dos trabalhos relevantes e na avaliação da qualidade (AMO *et al.*, 2018), conforme as tabelas 2.3 e 2.6 apresentadas na seção 2.10.6. A Figura 2.12 sumariza o processo.

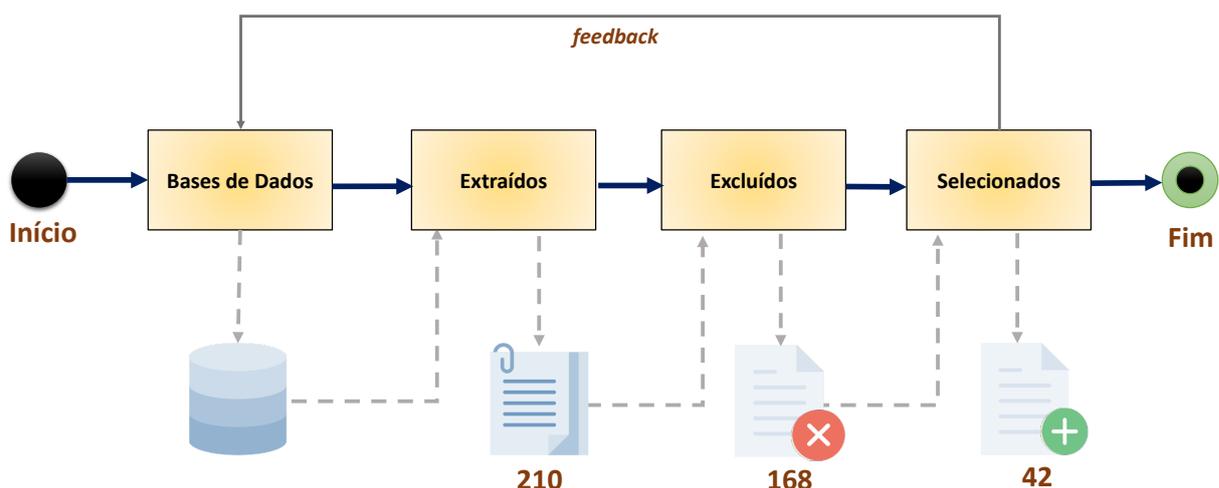


Figura 2.12: Resumo do Processo de Pesquisa.

Fonte: Própria.

A partir da aplicação de critérios para avaliação da qualidade e do *score* obtido, 42 trabalhos foram selecionados por terem sido considerados relevantes para o estudo de revisão. Isso, porque, além de contemplarem as pesquisas aplicadas na área e as produções que apresentam,

discutem e descrevem resultados, respaldando a análise e o impacto do uso da RA para apresentar informações e modelos de interfaces gráficas no formato de HUDs para Sistemas Avançados de Direção Assistida.

2.10 Resultados e Discussão

Conforme o protocolo da metodologia descrito na seção 2.9, os trabalhos selecionados de acordo com a Figura 2.12 foram classificados na forma da tabela 2.3 e dispostos segundo o objetivo de pesquisa e contribuições técnicas.

Tabela 2.3: Classificação dos Trabalhos por Área

n°	Área	Quantidade
1	<i>Calibration Method</i> (Método de calibração)	2
2	<i>Literature Review</i> (Revisão da literatura)	2
3	<i>Projector System</i> (Sistema de projeção)	4
4	<i>Driving Safety</i> (Condução Segura)	13
5	<i>User Interfaces</i> (Interfaces do usuário)	21
Total		42

Fonte: Própria.

Os critérios de amostragem adotados para esta pesquisa têm por finalidade garantir a representatividade dos termos ou indicadores mais relevantes para a amostra, os qualificando como indicadores confiáveis e fidedignos (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010). Neste aspecto, identificamos neste trabalho os temas *User Interface* e *Driving Safety* como os que apresentam maior aderência quanto a questão de pesquisa e relevância para o objetivo deste trabalho. Os demais trabalhos apresentam temas complementares para esta pesquisa, abordando os métodos de calibração, de projeção e revisões da literatura.

Nas próximas subseções essas categorias serão analisadas mais detalhadamente.

2.10.1 Calibration Method

Dos trabalhos apresentados na Tabela 2.3, identificados como *Calibration Method*, [Hosseini, Bacara e Lienkamp \(2014\)](#) e [Wientapper et al. \(2013\)](#) apresentam modelos e propõem métodos para calibrar ou ajustar os valores medidos em todos os componentes presente em um ADAS, com o objetivo de garantir a integridade dos dados apresentados ao condutor.

O modelo apresentado por [Wientapper et al. \(2013\)](#) sugere uma solução baseada em câmera para recuperar um modelo de calibração interna da unidade de geração de imagem. Os autores definem um modelo que pode se adaptar dinamicamente a renderização de qualquer cenário em 3D e a uma ampla gama de diferentes pontos de vista do condutor, incluindo o processamento da imagem para compensação de possíveis distorções.

O método apresentado pode ser utilizado arbitrariamente para qualquer dispositivo de HUD. O algoritmo desenvolvido estima a geometria espacial através de uma imagem virtual e do padrão de distorção dependente da visão do condutor. Os autores ressaltam, ainda, que não se faz equipamentos externos para o rastreamento, tendo em vista que todos os dados são obtidos nas imagens capturadas.

A proposta de [Hosseini, Bacara e Lienkamp \(2014\)](#) expõe um método para calibrar componentes em um ADAS. O método inclui a detecção de obstáculos com visão noturna estéreo, rastreamento ocular e a projeção de para-brisa completo. Os autores implementaram um protótipo com RA para automóveis que fornece assistência ao motorista à noite. A abordagem tem por objetivo detectar as posições 3D de possíveis colisões. Evidente, portanto, que a principal funcionalidade foca na visualização. O trabalho aborda, ainda, o rastreamento ocular para exibir as informações de alerta de acordo com os olhos do motorista. Nesse sentido, os alertas são posicionados de forma exata para o motorista no para-brisa.

A apresentação de informações requer métodos precisos de calibração baseados no FoV do condutor que pode variar de acordo com os ambientes. A apresentação de imagens em HUD exige métodos de calibração dinâmicos e sofisticados conforme os modelos apresentados por [Hosseini, Bacara e Lienkamp \(2014\)](#) e [Wientapper et al. \(2013\)](#).

A detecção dos olhos do motorista é uma das variáveis consideradas nos modelos de calibração ([HOSSEINI; BACARA; LIENKAMP, 2014](#); [WIENTAPPER et al., 2013](#)), por isso, os gráficos a serem visualizados apresentam interação com a posição da cabeça. Além disso, tais conceitos para projeção podem ser aplicados em grandes espaços livres, como o para-brisas, levando em consideração pontos relevantes, como a segurança e a precisão dos equipamentos.

2.10.2 Revisão da Literatura

Entre os quarenta e dois trabalhos selecionados e apresentados na seção 2.10, Tabela 2.3, dois dos trabalhos são revisões da literatura e estão relacionados ao presente estudo, conforme a Tabela 2.4. Os trabalhos apresentam panoramas distintos em relação a evolução dos HUDs automotivos no segmento comercial e a importância deles como ferramentas de apoio para a condução de automóveis.

Tabela 2.4: Trabalhos de Revisão da Literatura.

Referência	Período	Objetivo
Betancur et al. (2016)	2014 - 2016	Identificar as melhores práticas de projeto, características comuns, lacunas, tendências de implementação e tópicos de pesquisa para sistemas de HUDs automotivos.
Park e Park (2019)	1994 - 2016	Investigação sob a perspectiva do desenvolvedor, pesquisador e usuário sobre os requisitos funcionais para HUDs automotivos.

Fonte: Própria.

O trabalho nomeado como "*Research topics and implementation trends on automotive head-up display systems*" [Betancur et al. \(2016\)](#), publicado em 2016, propõe uma abordagem em duas áreas. A primeira abordagem, explorando a literatura científica para encontrar os tópicos de pesquisa mais relevantes e entender como eles estão evoluindo. Na segunda, os autores apresentam uma análise de inteligência competitiva, compilando patentes relacionadas aos sistemas automotivos de HUD.

O trabalho tem por objetivo esclarecer e orientar futuros esforços para o desenvolvimento de interfaces *head-up displays* identificando as melhores práticas de projeto, características comuns, lacunas, tendências de implementação para sistemas de HUDs automotivos.

A análise científica apresentada por [Betancur et al. \(2016\)](#) expõe a importância de pesquisas relacionadas a interfaces automotivas tipo HUD e análises de comportamento dos motorista (especificamente distração, tempo de reação, ADAS e sistemas de entretenimento, na respectiva ordem). Os mencionados autores destacam a importância das características tecnológicas como a RA e telas *Full Windshield*, tendências identificadas em projetos de sistemas para HUDs automotivos nas patentes analisadas.

[Park e Park \(2019\)](#) investigam as perspectivas do desenvolvedor, pesquisador e usuário em relação os requisitos funcionais para HUDs automotivos. Em uma pesquisa sob o título "*Functional requirements of automotive head-up displays: A systematic review of literature from 1994 to present*", publicada em 2019 na Coreia do Sul, os autores abordam quais e quando as informações

devem ser apresentadas ao motorista em HUDs automotivos.

Para os citados pesquisadores, os sistemas automotivos de HUD têm um potencial para melhorar significativamente a experiência do motorista, especialmente através da integração com outras tecnologias. Por outro lado há ainda a necessidade de compreensão da diversidade variáveis envolvidas no contexto, além de pesquisas focadas em fatores humanos e em IHC.

O modelo apresentado por [Park e Park \(2019\)](#) é representado por um *framework* conceitual e se propõe a alguns objetivos. Primeiramente, a fornecer uma compreensão integrada do conhecimento existente e dos pontos de vista sobre os requisitos funcionais para sistemas de HUDs automotivos, neste contexto, quais informações devem ser exibidas e quando. Objetiva, ainda, sugerir orientações para pesquisas futuras no campo do *design* para HUDs automotivos, sob as perspectivas de desenvolvedores, pesquisadores e usuários.

[Park e Park \(2019\)](#) concluíram que, segundo suas pesquisas bibliográficas, há um consenso entre os autores em relação ao potencial que os sistemas automotivos de HUD têm para melhorar a experiência do motorista, principalmente, por meio da integração com outras tecnologias.

O trabalho fornece informações quanto aos requisitos funcionais, além de sugerir algumas direções para o *design* de HUDs automotivo, embora este aspecto não tenha sido incluído no escopo de sua pesquisa.

Em ambos os trabalhos [Betancur et al. \(2016\)](#) e [Park e Park \(2019\)](#), os autores têm por objetivos declarados identificar os principais tópicos científicos atuais e tendências de *design* de produto para sistemas automotivos de HUD. Nesse sentido, indicam como eles estão evoluindo, apoiados em estudos anteriores e para quais situações são adequados, além dos tipos de informação que são apresentados pelos sistemas comerciais existentes, o que os condutores exigem em um HUD automotivo além da importância relativa.

Dentre os resultados encontrados [Betancur et al. \(2016\)](#) destacam que ainda não está claro se as informações incluídas nos sistemas de HUDs automotivos e as suas visualizações estão levando em conta as diretrizes de *design* em relação ao campo da IHC.

Do ponto de vista científico e tecnológico, o uso de sistemas HUD com projeções de RA com a implementação de tecnologias ADAS são tópicos de pesquisa interessantes para orientar e diminuir a distração durante a condução. Segundo [Betancur et al. \(2016\)](#), há uma grande quantidade de estudos focados em analisar como o mercado automotivo de HUD está crescendo, o que pode se tornar, no futuro, uma tecnologia amplamente implementada na indústria automotiva. Contudo, a questão seria como implementá-las.

[Park e Park \(2019\)](#), há diferenças significativas no conjunto de informações exibidas por cada

fabricante de automóveis. Entretanto, o estudo não apresenta a origem das diferenças, uma vez que não se consegue determinar como cada fabricante definiu os tipos de informações suportadas em seus dispositivos. Ainda segundo os mencionados autores, as diferenças observadas talvez reflitam nas estratégias de diferenciação de produtos para a comercialização. Os pesquisadores acreditam que essa diferença nos tipos de informação exibidas pelos sistemas HUDs afeta sua utilidade e usabilidade de uma maneira diferente.

Os resultados da análise de [Park e Park \(2019\)](#) indicaram que:

- 1 - Os HUDs comerciais existentes no mercado executam basicamente as mesmas funções que os monitores convencionais;
- 2 - Os estudos anteriores propuseram várias funções do HUD para melhorar a conscientização da situação do motorista e a segurança na direção;
- 3 - A direção autônoma além de novas tecnologias estão dando origem a novas informações para serem exibidas no HUD;
- 4 - Há pouca pesquisa disponível em relação as necessidades de informações para HUD.

A análise dos trabalhos de revisão de [Betancur et al. \(2016\)](#) e [Park e Park \(2019\)](#) fornecem *insights* sobre os requisitos funcionais do setor automotivo. Os estudos apresentam resultados de pesquisa, qualitativa e analítica, sobre a tecnologia HUD disponível nos veículos atuais. Abordam, ainda, alguns dos benefícios dos dispositivos.

2.10.3 *Driving Safety*

A direção ou condução de automóveis tornou-se uma parte importante da vida diária. Nesse cenário, as pesquisas no campo das tecnologias automotivas têm por objetivo melhorar a segurança do tráfego para condutores, pedestres e para os sistemas de transporte inteligentes. Registre-se que os sistemas inteligentes têm como foco a condução segura e a prevenção de acidentes ([ABDI; MEDDEB, 2017b](#); [ABDI; ABDALLAH; MEDDEB, 2015](#)).

Os sistemas ADAS atuam como sistemas de apoio, informando o motorista sobre os limites de velocidade e possíveis perigos, como estradas obstruídas por neve ou em situações climáticas adversas, obras rodoviárias e travessias de pedestres.

As pesquisas no campo da direção segura (*Driving safety*) têm por objetivo melhorar a condução de automóveis e minimizar a carga de trabalho dos condutores. Nesse cenário, as informações fornecidas devem ser representadas de forma a serem mais facilmente compreendidas impondo a menor carga cognitiva ao motorista ([ABDI; MEDDEB, 2017a](#)).

Tabela 2.5: *Driving safety* Classificação por área de pesquisa

n°	Área da Pesquisa	Quantidade
1	<i>Human Factors in Automotive</i>	1
2	<i>Literature Survey</i>	1
3	<i>Visibility/Glare</i>	1
4	<i>WindShield Applications</i>	1
5	<i>Cognitive/Behavior</i>	3
6	<i>Hud System</i>	6
Total		13

Fonte: Própria.

Embora o campo da segurança seja um dos itens que impulsiona as pesquisas no campo automobilístico, destacamos, dentre os trabalhos selecionados, treze publicações classificadas como *Driving Safety*. Elas podem ser sub divididas por área de pesquisa, conforme apresenta a Tabela 2.5. As sub areas *Hud System* e *Cognitive/Behavior* representam a maioria dos trabalhos nesta parte da amostra, com seis e três trabalhos respectivamente.

2.10.4 Cognitive and Behavior

Na área de pesquisa *Cognitive/Behavior*, [Abdi, Abdallah e Meddeb \(2015\)](#), [Abdi e Meddeb \(2017b\)](#) e [Hajiseyedjavadi et al. \(2018\)](#) apresentam linhas focadas na atenção e no comportamento do condutor. Neste contexto, destacamos a investigação intitulada “*Effectiveness of visual warnings on young drivers hazard anticipation and hazard mitigation abilities*” baseado em estudos anteriores produzida por [Hajiseyedjavadi et al. \(2018\)](#).

Os autores argumentam que os jovens condutores falham tanto em procurar quanto em mitigar os riscos latentes durante a condução de veículos. Nesse sentido, apresenta uma investigação experimental com o objetivo de descobrir se essas habilidades poderiam ser melhoradas com o fornecimento de alertas antes de uma ameaça iminente, utilizando um sistema de HUD com um simulador de direção.

Os resultados apresentados por [Hajiseyedjavadi et al. \(2018\)](#) relatam que as advertências apresentadas em HUD aumentaram significativamente a probabilidade que os motoristas olhassem em direção a perigos, como pedestres e veículos. O relato também ilustra a eficácia dos alertas do HUD sobre a antecipação de perigos para os condutores, influenciando os comportamentos de mitigação de riscos, bem como demonstram o fato de que os alertas não parecem distrair o motorista.

2.10.5 *Hud System*

Os HUDs *System* têm se tornado cada vez mais predominantes em automóveis modernos e sofisticados. Estes dispositivos de exibição permitem apresentar informações importantes diretamente no campo de visão do condutor (WIENTAPPER *et al.*, 2013).

O aumento na utilização do mencionado sistema, encontra-se em paralelo ao desenvolvimento dos ADAS (HOSSEINI; BACARA; LIENKAMP, 2014) atuando para combater a distração causada pelo uso de *smartphones* ou monitores a bordo (CHOUKSEY; SIRSIKAR, 2016). Atendem a demanda de desenvolvimento de sistemas mais ergonômicos para uma melhor interação entre motoristas e veículos que aumentou rapidamente (HOSSEINI; BACARA; LIENKAMP, 2014). Atualmente, os automóveis mais modernos e sofisticados vêm buscando tornar a experiência de condução mais conveniente e fácil de usar com os monitores HUD (CHOUKSEY; SIRSIKAR, 2016).

Os trabalhos classificados como *Hud System* abordam o desenvolvimento de sistemas de HUDs. Dentre as publicações, destacamos o trabalho intitulado “*In-Vehicle Augmented Reality Traffic Information System: A New Type of Communication Between Driver and Vehicle*” que foi apresentado por Abdi, Abdallah e Meddeb (2015). A mencionada pesquisa propõe um sistema AR-HUD para fornecer informações de segurança para condução de automóveis, utilizando objetos virtuais em uma cena real para todos os tipos de situações durante a direção, incluindo condições climáticas desfavoráveis.

Para os autores a RA contextual no veículo tem o potencial de fornecer um novo *feedback* visual aos motoristas. Nesse sentido, é feita uma experiência de condução melhorada e uma nova forma de diálogo entre o veículo e o condutor, fornecendo informações de segurança ao dirigir. Usando o AR-HUD, os motoristas passam a receber informações importantes diante de seus olhos de uma maneira facilmente compreensível (ABDI; ABDALLAH; MEDDEB, 2015).

2.10.6 *User Interface*

O termo *User Interface* (UI) se refere ao campo do *design* para interação entre humanos, máquinas ou computadores. Pode ser visto como o espaço onde ocorrem interações entre humanos e máquinas ou IHC. Nesse cenário, incluem-se questões como o *design* gráfico, o brilho das imagens projetadas e os tipos de metáforas ou representações visuais que possuem significado para o espectador. Segundo Bara *et al.* (2018), a ergonomia dos painéis dos carros atualmente beneficiam o usuário. Isto porque, é possível interagir através de telas multifuncionais, indicadores, sistema multimídia e botões, tanto no painel quanto no volante e na porta do motorista.

Tabela 2.6: Score segundo os critérios de Qualidade para os 21 trabalhos na area de *User Interface*

Referência	Título	Amostra	Score		
			CQ01	CQ02	Total
Ng-Thow-Hing <i>et al.</i> (2013)	<i>User-centered perspectives for automotive augmented reality</i>	N/A	1	1	2
Park e Kim (2013)	<i>Efficient Information Representation Method for Driver-Centered AR-HUD System</i>	30	1	1	2
Charissis (2014)	<i>Enhancing human responses through augmented reality Head-Up Display in vehicular environment</i>	N/A	1	1	2
Gabbard, Fitch e Kim (2014)	<i>Behind the Glass: Driver Challenges and Opportunities for AR Automotive Applications</i>	N/A	1	1	2
Haeuslschmid <i>et al.</i> (2015)	<i>Contact-analog Warnings on Windshield Displays Promote Monitoring the Road Scene</i>	18	1	1	2
Broy <i>et al.</i> (2015)	<i>3D-HUDD Developing a Prototyping Tool for 3D Head-Up Displays</i>	24	1	1	2
Pauzie (2015)	<i>Head Up Display in Automotive: A New Reality for the Driver</i>	N/A	1	1	2
Kim e Hwang (2016)	<i>The Usefulness of Augmenting Reality on Vehicle Head-up Display</i>	31	1	1	2
Jin, You e Wang (2016)	<i>Automotive HUD Interaction Design Based on Lane Changing Scenario</i>	N/A	0,75	1	1,75
Merenda <i>et al.</i> (2016)	<i>Effects of real-world backgrounds on user interface color naming and matching in automotive AR HUDs</i>	N/A	1	1	2
Brand, Büchele e Meschtscherjakov (2016)	<i>Pointing at the HUD: Gesture Interaction Using a Leap Motion</i>	10	0,75	1	1,75

Continua na próxima página

Tabela 2.6 – Continuação

Referência	Título	Amostra	Score		
			CQ01	CQ02	Total
Villalobos-Zúñiga, Kujala e Oulasvirta (2016)	<i>T9+HUD: Physical Keypad and HUD Can Improve Driving Performance While Typing and Driving</i>	16	0,5	0,5	1
Haeuslschmid <i>et al.</i> (2016)	<i>First Steps Towards a View Management Concept for Large-sized Head-up Displays with Continuous Depth</i>	21	1	1	2
Haeuslschmid, Pfleging e Alt (2016)	<i>A Design Space to Support the Development of Windshield Applications for the Car</i>	N/A	1	1	2
Haeuslschmid <i>et al.</i> (2017)	<i>Recognition of Text and Shapes on a Large-Sized Head-Up Display</i>	24	1	1	2
Coni, Bardon e Servantie (2017)	<i>A 3D Full Windshield Head Up Display</i>	N/A	1	1	2
Sánchez <i>et al.</i> (2017)	<i>Feasibility analysis of the usage of head-up display devices and speech recognition in real vehicular environments</i>	50	1	1	2
Wiesner <i>et al.</i> (2017)	<i>3D-FRC: Depiction of the future road course in the Head-Up-Display</i>	N/A	1	1	2
Betancur <i>et al.</i> (2018)	<i>User experience comparison among touchless, haptic and voice Head-Up Displays interfaces in automobiles</i>	15	1	1	2
Bara <i>et al.</i> (2018)	<i>Evaluating the Usability of a Head-Up Display While Driving a Vehicle</i>	N/A	1	1	2
Chauvin, Said e Langlois (2019)	<i>Does the Type of Visualization Influence the Mode of Cognitive Control in a Dynamic System?</i>	25	0,75	0,5	1,25

Fonte: Própria.

Na presente investigação, 21 (vinte e um) trabalhos foram classificados como *User Interface*

utilizando RA, conforme se verifica nas tabelas 2.3 e 2.6. No trabalho intitulado como “*A Design Space to Support the Development of Windshield Applications for the Car*”, publicado em 2016, [Haeuslschmid, Pfleging e Alt \(2016\)](#) apresentam o para-brisa como um espaço de *design* interativo com o intuito de ajudar projetistas de interfaces a criar aplicativos e novas formas para exibir informações. Os autores mostram o HUD como uma interface gráfica do usuário a qual a sobreposição na área inferior do para-brisa é limitada, enquanto que os *Windshield Displays (WSD)* podem misturar elementos gráficos em qualquer parte do para-brisa ([HAEUSLSCHMID; PFLEGING; ALT, 2016](#)).

A abordagem de [Haeuslschmid, Pfleging e Alt \(2016\)](#) faz uma comparação entre os tipos de *displays* de informação, os registrados (contato-analógico) WSD e os não registrados HUD. Para isso, utilizou-se em ambos a condição de linha de base sem nenhuma informação gráfica exibida “*no display*” ou para-brisa padrão. No contexto utilizado para a pesquisa, os participantes foram submetidos a tarefas padrões, como acompanhamento de carros, e solicitados a avaliar os perigos na rua em combinação com avisos exibidos no WSD, no HUD e na linha de base, sem exibição de avisos.

A investigação identificou e apresentou um conjunto de ideias e casos que abordaram os temas de segurança, comunicação, entretenimento, apoio nas tarefas de navegação e monitoramento do condutor. Os autores discutiram a respeito de protótipos e aplicações, considerando a apresentação e o *design* para WSD, a interação e as abordagens tecnológicas para realizar essas exibições.

No trabalho “*Recognition of Text and Shapes on a Large-Sized Head-Up Display*”, [Haeuslschmid et al. \(2017\)](#) apresentam ideias voltadas ao aspecto comportamental dos condutores. Nesse sentido, são apresentadas duas linhas de investigação, uma para tratar o reconhecimento de estímulos apresentados em uma tela de para-brisa e outra para investigar a influência da carga de trabalho periférica com um ambiente simulado.

Os resultados apresentados revelam que, de modo geral, o tempo de resposta aumenta junto com a excentricidade dos estímulos, o que está de acordo com a pesquisa básica da visão do usuário, levando em consideração questões como contraste e os estímulos de fundo. O estudo concluiu que, partindo de um ponto central definido como zero, em relação ao ponto de vista do condutor ou FoV, a percepção se deteriora a partir do zero para os limites do FoV. Isto sugere que a interface seja exibida em uma posição central para permitir baixos tempos de resposta.

Nas perspectivas de aprendizado e comportamento [Chauvin, Said e Langlois \(2019\)](#) investigaram a influência da visualização no modo de controle cognitivo usado por motoristas em uma tarefa de navegação. O estudo mostrou que o uso da RA em HUD oferece suporte aos condutores e contribui antecipando as decisões do condutor.

[Betancur et al. \(2018\)](#) propõem uma comparação entre os diferentes métodos de interação aplicados a um sistema HUD, a fim de identificar as melhores e piores qualidades de cada um deles, do ponto de vista dos motoristas. No experimento proposto foi utilizada uma interface visual HUD hierárquica e baseada em listas. Segundo os autores, pode-se melhorar o desempenho da interação independentemente do método com menos níveis de profundidade para listas ou menus.

Tratando dos aspectos estudados por [Chauvin, Said e Langlois \(2019\)](#), [Betancur et al. \(2018\)](#) e [Haeuhschmid et al. \(2017\)](#), propõem recomendações para tamanhos mínimos, como estímulos para um campo de visão, definindo diretrizes e dimensionamento para interfaces AR-HUDs. O intuito é ajudar projetistas a criar interfaces legíveis evitando a desordem na visão do motorista ou a oclusão da cena ou da estrada. A oclusão de partes importantes da cena de condução leva o condutor a apresentar tempos de resposta consideravelmente mais lentos na tarefa principal.

[Pauzie \(2015\)](#) apresenta uma visão geral dos estudos relacionados à percepção e cognição dos motoristas quando as informações são exibidas no para-brisa por meio de HUD. Segundo o autor, os sistemas de informação e de assistência ao condutor, chamados de *In-Vehicle Information System (IVIS)*, e os ADAS foram desenvolvidos há muitos anos com o objetivo de melhorar a segurança, o desempenho, a eficiência e o conforto do condutor, através do apoio de informação e tecnologia de comunicação.

Ocorre, contudo, que as questões relacionadas ao *design*, confiabilidade e Fatores Humanos estão baseadas na especificação que permite conceber uma interação eficiente e eficaz entre o humano e a máquina, neste contexto em que a atividade de condução é a principal tarefa.

Fica notório que a exibição de informações em HUD-AR tem grande potencial para apoiar os motoristas, no que tange a percepção, aprimorando e reduzindo a carga de trabalho durante a condução, conforme ensina [Pauzie \(2015\)](#). Entretanto, o autor enfatiza que se deve ter cautela ao projetar e implementar essas informações no para-brisa, ao exibir muitas informações no campo de visão do motorista. O autor considera que há pouca pesquisa no campo da confiabilidade humana ou Fatores Humanos. Sobre a questão, afirma que o tema merece ser extensivamente conduzido para que se possa entender como otimizar as oportunidades técnicas do conceito AR-HUD dentro do campo automotivo.

[Coni, Bardon e Servantie \(2017\)](#), propõem um sistema de HUD utilizando colimação simulada, elementos ópticos halográficos e filtros espectrais. Segundo os autores, o uso destas tecnologias remove a necessidade de lentes refrativas complexas, proporcionando uma excelente experiência do usuário.

[Kim e Hwang \(2016\)](#) propõem um sistema AR-HUD com a expectativa de reduzir a carga de trabalho visual e a distração do motorista com o objetivo de aumentar a segurança na direção.

Os autores conduziram experimentos sobre o comportamento da resposta cognitiva do motorista em condições diurnas e noturnas para confirmar se o AR-HUD é útil e capaz de melhorar a segurança na direção. Os resultados mostraram a eficiência do sistema, tendo em vista que o motorista responde às situações do trânsito mais rapidamente.

[Broy et al. \(2015\)](#) apresentam o *design* e o desenvolvimento para um modelo de HUD 3D. Como objetivos secundários fazem uma investigação e avaliação quanto a facilidade com que os elementos de interface podem ser posicionados, girados e dimensionados no espaço 3D, usando diferentes modalidades de entrada como por exemplo, mouse versus gestos. Em uma segunda abordagem, investigam como os modos de gerenciamento de profundidade podem ajudar o usuário no processo de *design*.

A conclusão de [Abdi e Meddeb \(2017b\)](#) enfatiza que a RA contextual no veículo tem o potencial para fornecer *feedbacks* visuais aos condutores, melhorando a experiência de condução além de prover uma nova forma de diálogo entre o veículo e o condutor. A abordagem proposta do AR-HUD fornece informações para segurança no trânsito, colocando as informações importantes diante dos olhos dos motoristas de forma facilmente compreensível.

[Jin, You e Wang \(2016\)](#) analisam, por meio de observação e entrevistas, a relação entre ambiente, mentalidade e comportamento no cenário de mudança de faixa. Com efeito, o foco da pesquisa é a utilização da tecnologia de exibição de informações de HUDs automotivos nesse cenário de mudança de faixa. Entre os resultados, os autores relatam que a estimulação hostil do ambiente pode levar à emoção instável dos motoristas.

De acordo com a análise, os autores apresentam regras para a organização, o *design* da informação e o *design* da interface HUD. Segundo os citados pesquisadores, no cenário para mudança de pista, os elementos de informação importantes são: a distância entre os carros, a velocidade atual, a velocidade alvo, o caminho a ser seguido na mudança de faixa e as informações referentes ao ponto cego ou área de oclusão.

[Merenda et al. \(2016\)](#) investigaram quais cores são adequadas e robustas para construir interface de usuário em sistemas de RA transparente para diferentes ambientes de condução do mundo real. Os resultados não mostraram diferenças significativas no tempo de resposta entre as origens, mas identificaram diferenças significativas no tempo de resposta entre cores dentro de cada fundo. Segundo os citados pesquisadores, as cores para aplicação em sistemas de RA são consideradas robustas se elas suportam desempenho de tarefa de busca visual eficaz com baixa variabilidade e se mantiverem sua semântica de cores independente do *background*.

A argumentação de [Ng-Thow-Hing et al. \(2013\)](#) sustenta que os aplicativos de AR devem se concentrar apenas em tarefas que envolvem o ambiente de direção local imediato e não em espaços de tarefas secundárias, a fim de minimizar a distração do motorista. Os autores

descrevem três perspectivas importantes, a saber: a compreensão da percepção do condutor, distração e comportamento do condutor. As sugestões mencionadas são consistentes, relevantes e apoiadas pela tecnologia conseguem auxiliar no julgamento adequado. Contudo, ainda em relação as perspectivas, o cansaço do condutor e o entendimento adequando das informações podem afetar a tomada de decisão.

[Gabbard, Fitch e Kim \(2014\)](#) no trabalho intitulado *Behind the Glass: Driver Challenges and Opportunities for AR Automotive Applications*, descrevem algumas oportunidades e desafios associados a aplicativos de RA no domínio automotivo. Os autores propõem uma representação conceitual para o espaço de pesquisa e mostram quais as oportunidades e desafios, enfatizando onde eles se encaixam dentro do campo da IHC.

Os mencionados pesquisadores, abordam os benefícios da RA relacionados ao processo de condução como uma tarefa primária e as demais como tarefas secundárias. Analisa-se, ainda, os desafios quanto a percepção e a cognição do condutor e como elas são afetadas pelos sistemas de RA automotivos.

Para [Gabbard, Fitch e Kim \(2014\)](#) a infraestrutura necessária para criar, sintetizar e direcionar dados significativos, para exibir em nossos veículos, já existe. Além disso, afirmam que a tecnologia de exibição RA já está disponível e utilizável nos veículos atuais, na forma de HUDs para assistência, seja baseado em vídeo ou em sistemas RA. Atualmente, temos investimentos em visores transparentes ópticos que são baseados em pára-brisa, alguns de tamanho bem reduzido e comercialmente disponíveis.

Para provar a adequação da representação de informações, [Park e Kim \(2013\)](#) descrevem e apresentam um modelo experimental. Os resultados sugerem a eficácia e a validade do sistema ARHUD como um método de representação eficaz baseado nas características do motorista, em estradas complexas e em ambientes com baixa visibilidade (exemplo: condições climáticas desfavoráveis). De forma similar, [Charissis \(2014\)](#) relata a implementação de uma interface HUD para toda a extensão do para-brisa, com foco em condições de baixa visibilidade e em ambiente de autoestrada.

Por fim, outra questão levantada foi referente à limpeza da tampa de vidro do HUD, localizada no canto superior esquerdo do painel do carro. Trata-se de um problema de manuseio, tendo em vista que o interior do projetor HUD não deve ser tocado, levando ao mau funcionamento mecânico.

Para investigar o efeito da visualização da navegação ou curso da estrada em um carro equipado com um HUD, [Wiesner et al. \(2016\)](#) analisaram a mudança no comportamento do olhar pela visualização do HUD. Os resultados apresentados mostraram uma ligeira melhoria no comportamento para o uso dos freios. No geral, os usuários acharam a visualização útil em situações com

condições ruins de visibilidade. Relataram, ainda, que o processo de direção se torna mais fácil com a visualização, principalmente para encontrar o caminho certo. Assim, restou demonstrada uma tendência que indica utilidade na visualização.

Em uma abordagem alternativa, voltada para a interação por meio de teclado físico com um HUD, [Villalobos-Zúñiga, Kujala e Oulasvirta \(2016\)](#) tratam um método de entrada de texto para digitação no carro. A pesquisa desenvolvida contribui para a área de interfaces de usuário com o objetivo de reduzir os acidentes de trânsito causados pela distração.

Embora mais pesquisas sejam necessárias, os resultados deste estudo indicam que pode ser possível melhorar a segurança da digitação no carro com um método de entrada de texto que combina um HUD e um pequeno teclado físico integrado ao volante.

Em uma abordagem semelhante, o trabalho de [Sánchez et al. \(2017\)](#) conclui que os usuários concordam com a combinação dos assistentes de direção e os HUDs, destacando que são úteis e seguros. Os autores também reportam que a interação com os HUDs, através de comandos de voz, é aceita pela maioria dos usuários e melhora a sensação de segurança.

[Brand, Büchele e Meschtscherjakov \(2016\)](#) propõem usar gestos no ar como meio de manipular o conteúdo de um HUD. Os autores investigam como os motoristas executam tais gestos no ar, selecionando métricas quanto a precisão e rapidez em que um motorista pode selecionar segmentos ou elementos em um HUD.

[Haeuslschmid et al. \(2016\)](#) propõem uma discussão através de pesquisas relacionadas ao domínio das interfaces em RA para HUDs. Em um primeiro tópico os autores desenvolvem um conceito e, em seguida, apresentam um breve estudo formativo para novo conceito de gerenciamento para visualização. O conceito considera as tarefas, o contexto, os recursos e as habilidades e desejos dos motoristas, para desenvolver um modelo de gerenciamento para visualização genérica que suporte o reconhecimento e a compreensão eficientes das informações.

[Haeuslschmid, Pfleging e Alt \(2016\)](#), no trabalho “*A Design Space to Support the Development of Windshield Applications for the Car*”, apresentam um conceito baseado em espaço de *design* para a exibição de aplicativos em para-brisa. O objetivo é auxiliar o processo de *design* para sistemas em RA para veículos, permitindo alternativas, bem como encorajando e apoiando projetistas.

No trabalho “*Recognition of Text and Shapes on a Large-Sized Head-Up Display*”, [Haeuslschmid et al. \(2017\)](#) investigam o reconhecimento de estímulos apresentados em uma tela de para-brisa e a influência gerada com a carga de trabalho periférica. Os autores apresentam um ambiente simulado bem diversificado para realizar os testes.

2.10.7 Desafios e oportunidades

Para [Gabbard, Fitch e Kim \(2014\)](#) os desafios para incorporar a realidade aumentada em aplicações automotivas abrange um conjunto de soluções promissoras em diversas áreas de pesquisa.

Com base em observação informal e quantificação por meio de estudos direcionados aos usuários, [Gabbard, Fitch e Kim \(2014\)](#) argumentam que os monitores de RA, particularmente os visores ópticos como *head-mounted displays (HMD)*, são notoriamente difíceis de usar em ambientes externos, devido a uma série de problemas, implicando em fatores críticos relacionados à percepção e atenção.

Com o objetivo de provocar um debate mais amplo em relação ao potencial, as restrições, o impacto, o papel e a adequação do uso de tecnologia de realidade aumentada e virtual em aplicações de condução no campo automobilístico. [Riener, Gabbard e Trivedi \(2019\)](#) no trabalho “*Special Issue of Presence: Virtual and Augmented Reality Virtual and Augmented Reality for Autonomous Driving and Intelligent Vehicles*”, descrevem as oportunidades e desafios da RA e da Realidade Virtual (RV) na indústria automotiva.

O citado trabalho aborda as tecnologias de RV e RA no âmbito da direção de automóveis, discorrendo sobre os seus papéis sobre as atividades intuitivas para a direção e para o aprimoramento da experiência de dirigir automóveis. Os autores defendem, ainda, que tais tecnologias podem promover a transição para direção automatizada.

Para os pesquisadores é chegada a hora de questionarmos como as tecnologias de RA e RV podem ser utilizadas com eficiência, tanto para operações manuais quanto para operações automatizadas [Riener, Gabbard e Trivedi \(2019\)](#).

Na pesquisa se declara a existência de questões que ainda permanecem como desafios tecnológicos e que precisam ser solucionadas antes que as aplicações em RV e RA possam ser distribuídas comercialmente.

Dentre os desafios que precisam ser resolvidos estão a captura e a interpretação precisa da geometria da estrada através da fusão intensiva de sensores, utilizando computação de alto desempenho para proporcionar o posicionamento preciso do veículo.

Ainda segundo [Riener, Gabbard e Trivedi \(2019\)](#), a compreensão holística do uso de RA e RV na condução manual e automatizada é necessária para que se possa abordar e resolver os problemas já mencionados, bem como outros que possam surgir.

Segundo [Gabbard, Fitch e Kim \(2014\)](#), as aplicações gerais no contexto da RA para direção deve

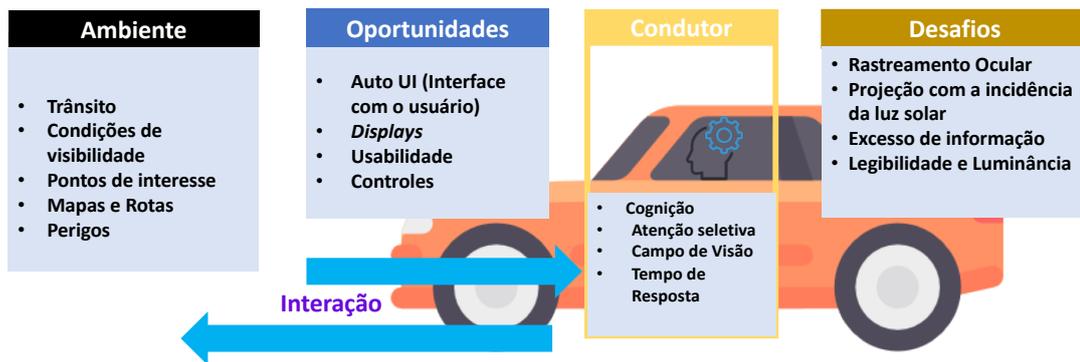


Figura 2.13: Oportunidades e Desafios para aplicações com a RA Automotiva.
 Fonte: Adaptado de [Gabbard, Fitch e Kim \(2014\)](#).

levar em conta as relações com os usuários, interfaces e métodos. Assim, é possível avaliá-las conforme o conhecimento disponível, expondo os desafios para esta tecnologia. Neste aspecto, apresentamos os desafios que foram abordados pelos autores na Tabela 2.7 .

Tabela 2.7: Quadro de desafios para as tecnologias de RA baseados no contexto.

Aplicações gerais relacionando o contexto com os desafios	
Usuários	<ul style="list-style-type: none"> • Diversidade de usuários e condutores. • Grande população de condutores, inclusive idosos com necessidade de apoio cognitivo e visual. • Grande diversidade de recursos geram restrições para o <i>design</i>, impossibilitando a padronização eficaz.
Interações	<ul style="list-style-type: none"> • As interações com a interface são tarefas de segundo plano, tendo em vista que a operação principal é a direção, portanto a interface não pode prejudicar o nível de atenção do condutor. • O <i>design</i> deve prover acesso a informações e a itens de entretenimento, além de apoiar outras tarefas que não estão diretamente relacionadas à direção. • As interfaces devem considerar a unificação de outras tarefas com o intuito de reduzir a carga cognitiva do condutor.

Continua na próxima página

Tabela 2.7 – Continuação

Aplicações gerais relacionando o contexto com os desafios	
Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> • O <i>design</i> deve ser ergonômico para permitir que o usuário se concentre nas tarefas, segundo a sua importância e nível de atenção, de forma relativamente confortável. • As informações em RA devem apoiar a tarefa principal e devem ser exibidas de maneira frontal sem interações significativas com o mundo físico. • Deve ser adotada uma abordagem gráfica para exibição passiva, de modo a evitar que o motorista tire as mãos do volante e mantenha a atenção visual na estrada.

Fonte: Própria.

Quanto às oportunidades há benefícios com o uso de AR-HUDs devido a capacidade para apresentar informações e melhorar a percepção no campo de visão do condutor. Os sistemas de localização e ou auxiliares para navegação, assim como os aplicativos em RA que têm a capacidade de melhorar os sistemas de segurança ativa com sugestões e informações de segurança são hipóteses.

[Gabbard, Fitch e Kim \(2014\)](#) elencam os seguintes itens como oportunidades:

1. Benefícios *Head-up display* e RA no para-brisa.
2. Localização e Auxílios de Navegação.
3. Informações de segurança do motorista e sugestões.
4. Camadas digitais da cidade. Têm o potencial de oferecer aos motoristas (e passageiros) informações e visões personalizadas da cidade.

Em relação ao desafios [Gabbard, Fitch e Kim \(2014\)](#) relatam observações, experimentos e estudos direcionados ao usuário, utilizando pesquisas anteriores. Para os autores, monitores de RA e, particularmente, os visores ópticos (como, por exemplo, os HMD) são notoriamente difíceis de serem usados em ambientes externos.

Destacam os seguintes desafios:

Rastreamento e registro: o registro de gráficos fixos em objetos do mundo real. Os sistemas em RA precisam de referências, para tanto faz-se necessárias formas de rastreamento e registros precisos.

Percepção de profundidade e estimativa são questões em aberto em relação ao *design* para exibições em RA e ao desempenho do condutor.

Outro item a ser tratado é a distância do foco para *geração dos gráficos* em RA. Apresentar os elementos visuais da RA em um plano de Duas Dimensões (2D) requer que haja uma distância específica entre o espectador e o usuário, a fim de que seja possível processar opticamente o conteúdo.

Iluminação, planos de fundo dinâmico e mistura de cores. As telas transparentes em para-brisas, por exemplo, apresentam desafios únicos para a percepção de cores quando associamos isto com a percepção do usuário. Isto porque a visão do usuário é criada a partir da luminosidade do mundo real. Com a luz colorida sintetizada temos uma combinação óptica confusa e suscetível a reflexão da cena no mundo real no visor ótico, além de fenômenos luminosos de maior potência, a exemplo da luz solar.

Outro item ligado às questões das cores é a sutileza ou **assiduidade visual** do contraste, tendo em vista o aspecto da natureza de misturar cores em se tratando de visores óticos transparentes, tratando-se de um desafio relacionado diretamente à RA automotiva.

A **distração do condutor** é um item recorrente, em se tratando de fatores humanos, e tão antigo quanto a invenção dos veículos com tração animal. A distração do condutor é um desafio atual que tem origem em uma infinidade de produtos e serviços que vem evoluindo com a tecnologia e integrados ou não aos automóveis modernos.

Caos e oclusão: a apresentação de muitos elementos visuais ou ainda a apresentação de elementos *ad hoc*, pode tornar a visão do mundo real muito confusa. Pode, ainda, obscurecer a visão do condutor, causar oclusão de elementos e potenciais perigos, gerando riscos a segurança.

2.11 Considerações

A apresentação de informações vindas de um sistema de direção assistida para a tomada de decisão, em condições de baixa visibilidade ou em ambientes urbanos, requer interfaces eficientes e eficazes. Tais interfaces devem possibilitar a execução da tarefa de condução sob os requerimentos de segurança e atenção, além de obedecer as restrições impostas pela legislação. Quanto ao tipo de informação apresentada, a interface homem máquina requer métodos precisos de calibração, baseados no FoV do condutor que pode variar de acordo com o ambiente, e um conjunto de sensores que forneça dados confiáveis com um tempo de resposta adequado.

Descrevemos os resultados dos estudos selecionados, conforme a implementação de um protocolo para revisão da literatura para interfaces em sistemas de RA automotiva. É certo que essa

tecnologia tem crescido rapidamente, impulsionando novos modelos e formas com as quais é possível aumentar os sentidos dos motoristas, seguindo o bem-sucedido uso dos HUDs difundido pela aviação. O trabalho apresenta, ainda, as oportunidades e desafios experimentado pelo condutor que utiliza interfaces em RA no domínio automotivo.

Segundo a revisão da literatura, as informações vindas de sistemas ADAS alimentam os sistemas de HUDs automotivos e têm se tornado cada vez mais predominantes em automóveis modernos. Além disso, nos últimos anos, estes sistemas de HUDs vêm avançando para o para-brisa (WIENAPPER *et al.*, 2013; HOSSEINI; BACARA; LIENKAMP, 2014; ABDI; MEDDEB, 2017b).

O conjunto de trabalhos analisados são responsáveis por diversos impactos que permeiam diversos campos e áreas de conhecimento, como a área de segurança, comportamento ou fatores humanos, aspectos cognitivos e de atenção além dos sistemas de projeção, visibilidade e interfaces com o usuário. As aplicações de *software* e interfaces voltadas para a indústria automobilística têm evoluído suas telas pequenas utilizando sistemas de central multimídia, cujo o objetivo é prover o entretenimento e o conforto (*Infotainment*⁸).

Com o desenvolvimento dos sistemas ADAS, as telas vêm sendo utilizadas para exibir módulos de assistência como mudança de faixa e câmera de ré. Esta última tem inovado com a ideia de aumentar os sentidos dos condutores, em virtude de apresentam sobreposição do mundo real com objetos virtuais. Nesse cenário, detectam objetos utilizando visão computacional como sensores auxiliares (*e.g.* sonar e/ou *laser*) em uma implementação de RA automotiva bem estabelecida e os módulos de navegação e de mapas.

A Visão Computacional é uma área da computação que, quando empregada como tecnologia, possibilita as máquinas enxergarem, segundo critérios predefinidos. A visão em análise, reúne um conjunto de técnicas e processos de modelagem e replicação da visão humana, usando *software* e *hardware*. A área se consolidou como um campo científico interdisciplinar com o objetivo de possibilitar a identificação e entendimento em alto nível a partir de imagens e/ou vídeos de forma automatizada. Os modelos de visão computacional têm como finalidade reconstruir e compreender uma cena 3D a partir de suas imagens 2D, segundo as propriedades da estrutura presente na cena.

Dentre os impactos verificados no uso para a exibição de informações em interfaces de RA, destacamos que esta tecnologia permite a projeção de informações para complementar o mundo real. Isto ocorre por meio de telas/monitores, óculos ou para-brisas de automóveis projetando interfaces assistivas diretamente no campo de visão do condutor.

⁸Conjunto de informações e entretenimento. Também chamado de *soft news*, é um tipo de mídia, geralmente a televisão, que fornece uma combinação de informação e entretenimento.

A RA automotiva implementada através de HUDs tem obtido notoriedade sob a perspectiva da segurança e do entretenimento. Com efeito, a tecnologia tem potencial para superar os gargalos existentes para apresentação de informações em painéis pequenos localizados abaixo da linha do horizonte e na base do para-brisa. É capaz, ainda, de intensificar as necessidades de informação e melhorar o conforto na direção de automóveis, reduzindo o número de acidentes no trânsito (ABDI; MEDDEB, 2017b), alterando significativamente a experiência do usuário/motorista (NG-THOW-HING *et al.*, 2013).

Em se tratando da exibição de informações vindas dos sistemas ADAS para tomada de decisão, verificou-se que as regras de organização e o *design* da informação e da interface HUD podem influenciar nos comportamentos do condutor. Através da estimulação hostil do ambiente, este cenário pode levar o condutor a adotar comportamentos e atitudes instáveis e imprudentes. Nesse sentido, constata-se que o *design* dos elementos de informação são importantes em todos os cenários, como por exemplo, na mudança de pista, na apresentação da distância entre os carros, na velocidade atual exibida e nas informações da área cega (JIN; YOU; WANG, 2016).

Verificamos que há poucos trabalhos que tratam da importância dos itens de informações apresentados nos HUDs automotivos (BECK; PARK, 2018), bem como das necessidades de informações dependentes de contexto ou do contexto do usuário. Segundo os autores, conhecer o contexto é muito útil para o desenvolvimento de sistemas adaptativos que possam apresentar informações relevantes e seletivas.

Identificamos, ainda, que os estudos analisados não levam em consideração os aspectos para o desenvolvimento das interfaces do usuário ou *design* do sistema de HUD. A apresentação das metáforas de visuais no processo de *design* de um sistema de assistência à direção depende da situação atual e do contexto em que se encontra o olhar do motorista, a fim de que seja possível propor uma metáfora de visualização adequada à situação de condução (GEORGE *et al.*, 2012; BECK; PARK, 2018).

Nos trabalhos analisados, verificamos questões voltadas às interfaces gráficas para o usuário ou modelos, a exemplo dos trabalhos de Beck e Park (2018) e Phan, Thouvenin e Fremont (2016) que não consideram os aspectos de interface do usuário do *design* do sistema HUD.

Diante das conclusões relatadas nos estudos analisados, entendemos que a RA aplicada aos HUD automotivos (AR-HUD) oferece suporte aos condutores, uma vez que contribui significativamente para a mitigação de risco em situações envolvendo ameaças potenciais, como pedestres ou obstáculos, levando os condutores a viajar em velocidades mais seguras.

Os sistemas de informação para veículos vêm auxiliando os condutores melhorando a segurança na condução e combinando um novo paradigma de comunicações por meio das tecnologias RA e HUDs. Os estudos abordam o posicionamento das informações e o efeito da exibição delas no

comportamento dos condutores.

Entendemos que o desenvolvimento dos aplicativos de RA está em expansão e, conforme a literatura analisada indica, devem se concentrar apenas em tarefas que envolvem o ambiente local para direção, dispensando outras tarefas secundárias, com o intuito de minimizar a distração do condutor. Acreditamos que, em virtude do potencial da tecnologia de RA, dos investimentos na indústria e com o avanço da robótica (evoluindo no desenvolvimento dos automóveis autônomos), o uso de interfaces AR-HUDs para o ramo automotivo tende a crescer significativamente.

Notoriamente, embora exista muito potencial para o desenvolvimento da tecnologia RA e HUDs automotivos e os trabalhos analisados preenchem os requisitos das questões **CQ1** e **CQ2**, o número de trabalhos dedicados efetivamente ao desenvolvimento de interfaces em RA para HUDs automotivos não chega a ser significativo.

As interfaces atuais, conforme relatam [Park e Park \(2019\)](#), não levam em consideração as diversidade variáveis envolvidas no contexto. Para os HUDs atualmente comercializados não padrões de *design* ou usabilidade, constatou-se que há muitas informações e que essas informações variam muito quando se compara os fabricantes. Além disso, elas estão posicionadas em locais específicos na fronteira do campo de visão dos motoristas, sem relação espacial entre as informações do mundo real e virtual, conforme relato de [Haeuhschmid et al. \(2015\)](#).

A presente revisão sistemática da literatura, através dos cenários apresentados em diferentes áreas, norteia a proposição e a construção da arquitetura de referência no domínio dos sistemas de assistência à direção utilizando realidade aumentada. Além disso, promove subsídios, requisitos técnicos, funcionais e de *design* para a exibição das informações vindas dos sistemas de direção assistidas. Tais informações podem aumentar a segurança dos condutores e pedestres, especialmente em condições de baixa visibilidade.

As pesquisas são capazes de identificar experimentos e artefatos, como diagramas, modelos e arquiteturas, para referência no campo dos sistemas de assistência à direção. Além disso, demonstram, ainda, como elas são utilizadas.

É fornecido um panorama geral do desenvolvimento das interfaces em *head-up displays* e os impactos que essas tecnologias provocam nos condutores. Embora existam os desafios no campo do *design* de interação, os problemas técnicos para projetar sistemas em realidade aumentada e as técnicas utilizadas para exibir a projeção não estejam listadas como requisito da arquitetura, a discussão apresenta o estado da arte para a aplicação de interfaces *heads-up display*. Por fim, observou-se a existência de lacunas e a necessidade de pesquisas que relacionem o impacto dos *heads-up display* e da Realidade Aumentada com foco na indústria automotiva em cenários futuros.

Arquitetura de Referência

Este capítulo tem por objetivo identificar as principais arquiteturas de referência e a utilização em Sistemas de Assistência à Direção. Ademais, busca-se a construção de arquiteturas concretas para interfaces em AR-HUD.

Inicialmente, apresentaremos os conceitos preliminares acerca da utilização dessas arquiteturas e dos elementos que a compõem. Nesse cenário, discutiremos as estratégias e tipos de arquitetura, diagramas, modelos e componentes para subsidiar a especificação da arquitetura de referência.

3.1 *Arquitetura e Modelos de Referência*

O estabelecimento de padrões, embora muito reivindicado nos ambientes de pesquisa e nos ambiente corporativos, principalmente em ambientes de desenvolvimento, é algo difícil de ser alcançado de forma completa. Ao iniciar um projeto é necessário avaliar os impactos para os negócios, para os sistemas que já estão implantados ou ainda em atividades (as quais o projeto está relacionado), além dos benefícios que a arquitetura adotada pode trazer para o projeto.

Arquiteturas de referência são de grande ajuda para a padronização, tendo em vista que especificam diretrizes que podem e devem ser usadas quando se planeja a implementação de um sistema. Além disso, podem ser utilizadas também para integrar módulos e soluções que já estão em produção.

A disciplina de engenharia de *software* trata de todos os aspectos da produção de *software*, preocupando-se com a parte prática do desenvolvimento e a entrega de *softwares* úteis (SOMMERVILLE, 2011). De acordo com Medvidovic e Taylor (2000), os modelos abstratos utilizados no desenvolvimento de *software* mudam o foco dos desenvolvedores para elementos arquitetônicos, focando em níveis maiores de granularidade e em suas estruturas de interconexão.

Bass, Clements e Kazman (2012) definem a arquitetura de sistema como uma representação de um sistema no qual existem os mapeamentos das funcionalidades para os componentes de *hardware* e *software*. Ainda segundo os autores, a mencionada arquitetura se preocupa com um sistema total, incluindo *hardware*, *software* e humanos.

O diagrama de arquitetura de *software* representa o conjunto de estruturas em um sistema. A representação gráfica consiste nos componentes ou nas partes que o compõe, nas propriedades visíveis e nos relacionamentos entre eles. Há diversas definições na literatura para a arquitetura

de *software*. De acordo com [Sommerville \(2011\)](#), o projeto arquitetural preocupa-se com a compreensão de como o sistema deve ser organizado e com a sua estrutura, de modo geral.

Conceitualmente, as arquiteturas omitem certas informações que não são essenciais. Nesse sentido, os componentes são blocos que encapsulam as operações internas, omitindo inclusive detalhes que não tenham ramificações ([CORRÊA, 2017](#)).

Para [Sommerville \(2011\)](#), cada *software* desenvolvido é único, embora possamos ter sistemas diferentes em um mesmo domínio de aplicação com arquiteturas semelhantes e que apresentem os mesmos fundamentos, padrões e conceitos do domínio. É impossível representar em um diagrama todas as informações de um domínio, com uma ou mais perspectivas do sistema.

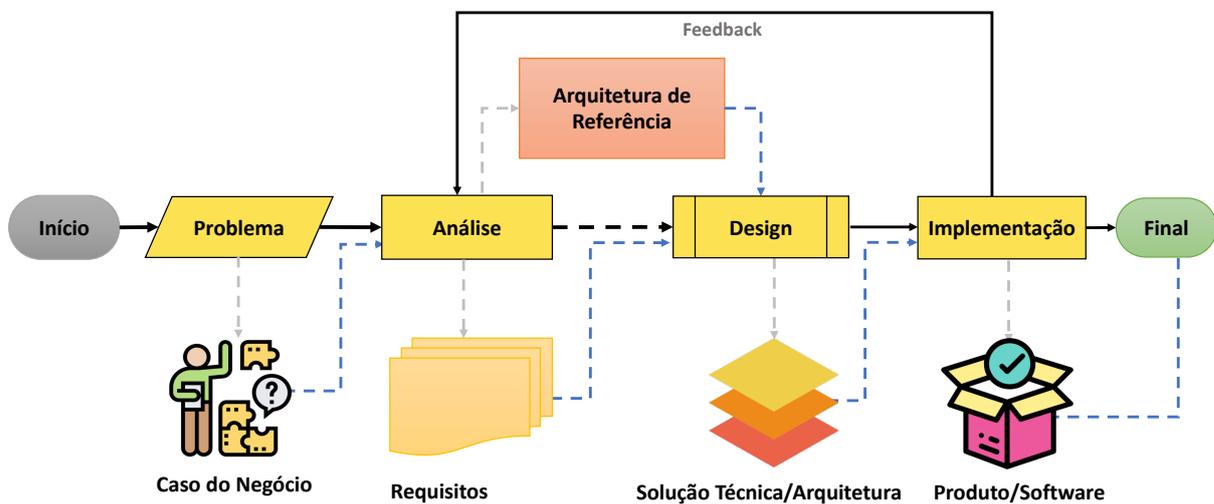


Figura 3.1: Processo simplificado para o desenvolvimento de *Software*.

Fonte: Adaptado de [Robinson \(2018\)](#)

De forma simplificada, no processo para o desenvolvimento de *software*, segundo a engenharia de *software* (Figura 3.1), entre as etapas de análise e *design*, temos uma etapa intermediária que pode ser entendida como a concepção do modelo de referência ou arquitetura de referência ou consulta a uma arquitetura já existente. Quando concebido entre as etapas do processo, ela dá origem a arquitetura concreta.

O processo é iniciado com o problema que se refere ao caso ou demanda do negócio. Em seguida, temos a análise que levanta o conjunto de requisitos. Após esta etapa, temos elementos suficientes para definir a modelagem abstrata e conduzir as próximas etapas. Na etapa de *design*, a solução técnica ou arquitetura da solução é delineada para o desenvolvimento ou codificação que resulta no *software* ou produto.

Um tipo muito especial de arquitetura tem ganhado destaque, a chamada de arquitetura de

referência. De acordo com [Angelov, Grefen e Greefhorst \(2012\)](#), as arquiteturas de referência de *software* surgiram como abstrações de arquiteturas de *software* concretas de um determinado domínio.

Para Bass, [Bass, Clements e Kazman \(2003\)](#), um modelo de referência pode ser entendido como a decomposição padrão para um problema conhecido em partes, que solucionam, de forma cooperativa, um problema. Ainda segundo os autores, os modelos surgiram da experiência, uma vez que os modelos de referência é uma das características dos domínios bem desenvolvidos.

Segundo [Borba \(2018\)](#), um **Modelo de Referência** é um dos insumos de entrada utilizado como base para a construção de uma arquitetura de referência. Nesse cenário, os Padrões Arquiteturais que também fornecem estruturas e elementos a serem utilizados para construir uma arquitetura de referência e a instância da arquitetura concreta ou real de um sistema computadorizado (Figura 3.2).

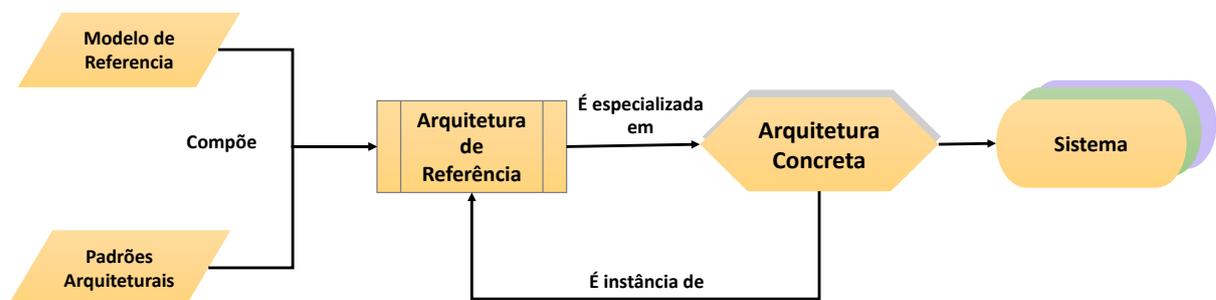


Figura 3.2: Relacionamentos entre modelos de referência, arquiteturas de referência e arquiteturas concretas.

Fonte: Adaptado de [Bass, Clements e Kazman \(2003, p. 26\)](#)

Um estilo ou **Padrão Arquitetural** pode ser entendido como um conjunto de normas que relaciona contexto, solução e problema, podendo ser entendido como um estilo estruturando uma família para arquiteturas concretas. [Duarte Filho \(2016\)](#) define uma **Arquitetura Concreta** como a adaptação de uma referência para as necessidades de um sistema específico, contendo um processo e amostras parciais e visões diferentes do modelo.

Embora existam muitas definições para o que é uma **Arquitetura de referência** e de como é sua estrutura, [Nakagawa e Maldonado \(2008\)](#) definem que é a base para o desenvolvimento de um conjunto de sistemas de *software* em um determinado domínio. [Larman \(2000\)](#) define o modelo de domínio como um dos mais importante, uma vez que ilustra conceitos importantes.

Segundo [Larman \(2000\)](#), o **Modelo de Domínio** não é a descrição dos objetos de *software*, mas sim uma visualização dos conceitos e modelos mentais do domínio do mundo real em questão ou simplesmente o modelo conceitual do objeto. Pode sofrer evoluções para mostrar os conceitos importantes a ele relacionados.

Conceitualmente, a arquitetura dos artefatos de *software* apresenta uma série de visões (DUARTE FILHO, 2016). Quando se projeta um modelo arquitetural leva-se em consideração o domínio, tendo em vista a sua capacidade de alterar a forma como é percebida e/ou entendida as informações. A natureza abstrata ou generalista exigidas para a modelagem de referência leva a indefinições os contextos de *design* e de aplicação, o que traz um grau de incerteza quanto a definição de objetivos em algumas etapas do processo.

Segundo Sommerville (2011), utilizamos diferentes técnicas de engenharia de *software*, para cada tipo de sistema, porque cada *software* tem características diversas e únicas, representando o modelo criado para solucionar um problema ou definir os padrões para a mesma questão.

Robinson (2018) afirma que a articulação de considerações, opções e padrões conhecidos para orientar o *design* de um produto, solução ou sistema, com base em observações de pesquisas, experiências e experimentações, em um idioma e formato visual familiar ao público-alvo, é uma definição informal para as arquitetura de referência.

Sobre a temática, Kimour, Bessam e Boudour (2009) destacam que a modularidade e a flexibilidade nos modelos arquiteturais permitem, entre outras coisas, a redução de custos, o aumento da usabilidade e da integração entre aspectos técnicos e as interações com o usuário. Os autores, ainda, definem a escalabilidade como a capacidade que o modelo tem para a atualização, o que permite atender aos constantes avanços tecnológicos, oferecendo a inclusão contínua de novos elementos ou dispositivos.

Angelov, Trienekens e Kusters (2013) ensinam que os *softwares*, de modo geral, são caracterizados por diferentes soluções arquiteturais. Um dos principais obstáculos neste âmbito é encontrar um conjunto de soluções que seja implementado como um modelo abstrato que possa solucionar qualquer problema. Neste caso, as soluções são consideradas ou caracterizadas como abordagens arquitetônicas.

As arquiteturas de referência surgiram como abstrações de arquiteturas concretas de um determinado domínio. Expressam uma visão conceitual, em outras palavras, expõem a estrutura necessária em alto nível para o desenvolvimento de soluções específicas. A solução concreta pode ser apresentada por um conjunto de visões, com o objetivo de mostrar outras perspectivas em múltiplos contextos.

Angelov, Grefen e Greefhorst (2009) definem a arquitetura de referência de *software* como sendo uma arquitetura genérica aplicável a uma classe de sistema. Afirmam, ainda, que é utilizada como base para o *design* de arquiteturas concretas. Segundo Duarte Filho (2016), as arquiteturas de referência oferecem soluções práticas e de fácil compreensão para orientar a implementação de soluções complexas.

O *Rational Unified Process* (RUP) sugere que uma arquitetura de referência seja definida ao longo de diferentes níveis de abstrações ou “visualizações”, proporcionando maior flexibilidade na forma como pode ser usada (REED, 2002).

De acordo com Angelov, Grefen e Greefhorst (2012), a arquitetura de referência de *software* é um modelo genérico para uma classe de sistemas que é usada como base para o *design* de arquiteturas concretas.

Para os citados autores, uma arquitetura concreta é projetada com base nas funcionalidades e qualidades exigidas pelo sistema e pelas regras de negócios exigidas ou definidas pelas partes interessadas. As arquiteturas concretas são conhecidas como arquiteturas de *software* e também é sinônimo de instância arquitetural. Pode ser providente de uma arquitetura de referência.

De acordo com Duarte Filho (2016), há diferenças entre modelo de referência e arquitetura de referência. Com efeito, destaca-se que, antes de se propor uma arquitetura, é preciso levar em consideração algumas terminologias e conceitos existentes na área.

Sommerville (2011) define que podemos projetar arquiteturas e implementar a forma concreta. Elas se dividem em dois níveis de abstração: arquiteturas em pequena e grande escala.

Examinemos a conceituação delas:

1. As arquiteturas em pequena escala se preocupam com o modelo concreto dos programas, de forma individual. Nesse cenário, ocorre a decomposição do modelo em componentes.
2. As arquiteturas em grande escala se preocupam com os modelos para os sistemas corporativos complexos que incluem outros sistemas, programas e componentes de programas. Tais sistemas podem estar distribuídos pelo ecossistema.

Embora as arquiteturas de referência de alto nível possuam como característica um alto grau de abstração, tornando-as de difícil compreensão, o modelo tem como atribuição elucidar o conjunto de decisões em relação a ligação entre os módulos que o compõe. Nesse sentido, devem exibir como os módulos se encaixam. Especificar um modelo arquitetural adequado pode definir o sucesso do projeto. A exemplo disso, temos itens como reúso, manutenibilidade, modularidade, performance, escalabilidade e padronização. Tais características têm a finalidade de garantir a interoperabilidade entre os componentes ou sistemas envolvidos, afetando diferentes partes do contexto Nakagawa e Maldonado (2008) e Angelov, Grefen e Greefhorst (2009).

Duarte Filho (2016) considera, de modo geral, que uma arquitetura de referência, ao conceber um novo sistema, permite a redução considerável do volume de trabalho de análise e identificação de componentes, dos comportamentos requeridos, papéis e relacionamentos. Isso porque o modelo

de referência pode ser composto por um documento ou por um conjunto de documentos que apresentam as estruturas e as integrações recomendadas para compor uma solução.

Conforme já mencionado, uma arquitetura de referência é composta por um documento ou um conjunto de documentos que apresentam as estruturas e as integrações recomendadas para compor uma solução. As melhores práticas são incorporadas, sendo utilizadas como referência para a realização de um projeto. Nesse cenário, orientam desde os gerentes aos desenvolvedores, sendo uma forma eficiente para comunicação, tendo em vista que antecipam e tornam obvias as repostas para os envolvidos na construção de uma solução.

A arquitetura de referência também incorpora as melhores práticas, que são definidas como diretrizes para a realização de um projeto. O documento orienta desde gerentes a desenvolvedores, sendo uma forma eficiente para comunicação, pois, antecipa e torna obvia as repostas para os envolvidos na construção de uma solução.

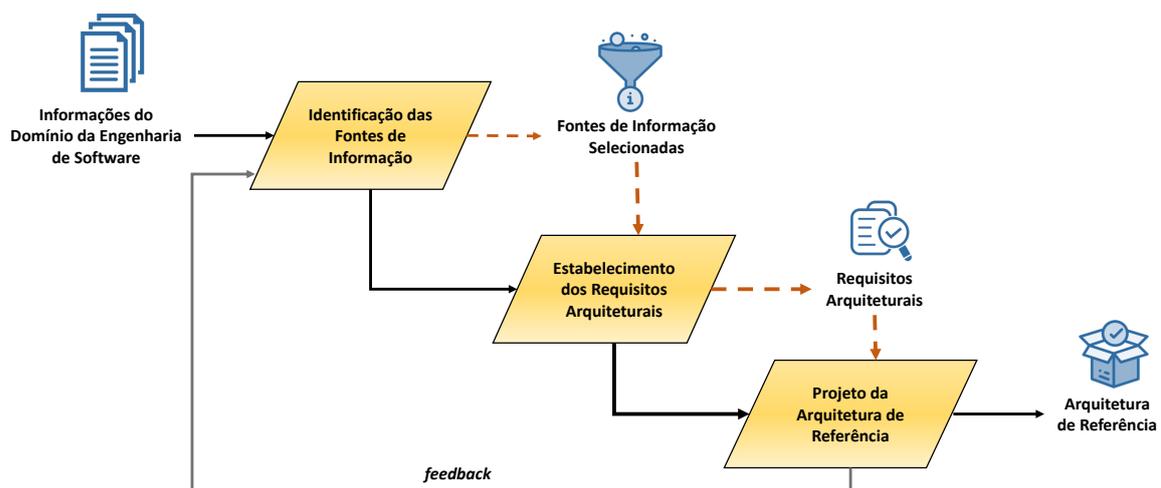


Figura 3.3: Processo para o estabelecimento de Arquiteturas de Referência
Fonte: Adaptado de Nakagawa e Maldonado (2008)

Muller e Hole (2007) destacam o papel desempenhado pelas arquiteturas de referência como parte da estratégia de negócio das organizações, fornecendo uma sinergia a perspectiva gerencial.

A construção de uma arquitetura de referência segue algumas etapas, conforme apresenta a Figura 3.3. Segundo Sommerville (2011), o resultado do processo tem por objetivo projetar um modelo que descreva a forma como o sistema será organizado em componentes e interfaces de comunicação. O artefato gerado pelo processo é um elo crítico do ponto de vista da engenharia de requisitos, uma vez que identifica os principais componentes estruturais e seus relacionamentos.

No contexto da engenharia de *Software* há questões evidentes a serem respondidas, *e.g.*: Como o Sistema será distribuído em relação a execução? Como as funcionalidades ou módulos serão

decompostos? Como avaliar qual modelo atende aos requisitos elicitados. Há modelos genéricos que possam ser utilizados?

De acordo com [Sommerville \(2011\)](#), uma arquitetura deve considerar requisitos não funcionais, tais como: **Desempenho**: com o objetivo de evitar a comunicação excessiva entre os componentes distribuídos; **Segurança**: para ocultar características críticas em camadas mais internas; e **Disponibilidade**: incluindo componentes redundantes e tolerância à falhas.

Durante o processo de criação do modelo de visão do projeto, foi necessário avaliar o impacto do *Business Case* em sistemas que já estão em produção e os benefícios que a arquitetura de referência podem trazer ao projeto.

Segundo [Maretto \(2013\)](#), o processo de desenvolvimento de uma arquitetura de referência pode ser dividido em quatro atividades principais, como mostrado na Figura 3.3. Cumpre tecer breves comentários sobre cada etapa.

A primeira etapa trata da aquisição de informações do domínio. A segunda consiste na definição da arquitetura. Nesta etapa, descreve-se o modelo através de documentos e diagramas, revelando diferentes visões. Em seguida, temos a instanciação que é a avaliação da arquitetura, verifica-se a descrição e o domínio para validar as visões e se a modularização possibilita a utilização [Corrêa \(2017\)](#). Por fim, destaca-se a etapa de implementação que é o momento de desenvolvimento do protótipo.

A criação de arquiteturas fragmentando aplicações é uma estratégia da engenharia de *software* que, segundo [Sommerville \(2011\)](#), adota o conceito do reuso, trata-se de uma das características das arquiteturas de *software*, possibilitando um domínio específico como estratégia para desenvolver artefatos reusáveis. Esta estratégia deu origem e tornou-se uma norma para novos sistemas de negócio. Ainda para o autor, é possível desenvolver arquiteturas de linhas de produtos nas quais a mesma arquitetura é reusada em todo um conjunto de sistemas relacionados.

Uma das abordagens mais eficazes para o reuso é criar linhas de produto de *software* ou famílias de aplicações. Uma Linha de Produtos de *Software* (LPS) é um conjunto de aplicações generalizadas em torno de uma arquitetura comum e componentes compartilhados. Cada aplicação é especializada para refletir necessidades diferentes, ou seja, pode ser adaptada para diferentes clientes ([SOMMERVILLE, 2011](#)).

De forma simplificada, é um método para sistematizar o reuso ([POHL; BÖCKLE; LINDEN, 2005](#)). Nesse sentido, reúne um conjunto de aplicações ou famílias definidas sobre uma mesma arquitetura comum que compartilham componentes, minimizando os custos com o desenvolvimento e maximizando a qualidade de *software* através do reuso de artefatos.

A arquitetura com foco em LPS capacita as organizações a desenvolver uma diversidade de sistemas (aplicativos) intensivos em *software* similares, a um custo menor, em menor tempo e com maior qualidade, quando comparados ao desenvolvimento de sistemas únicos (METZGER; POHL, 2014). Assim, em muitas situações, a arquitetura para uma LPS reflete um estilo ou padrão de arquitetura geral de aplicações específicas (SOMMERVILLE, 2011).

A utilização de LPS tem diferentes razões, segundo Sommerville (2011), geralmente surgem de aplicações existentes. Isto é, uma organização desenvolve uma aplicação e, quando um sistema similar é requisitado, um sistema semelhante reutiliza o código na nova aplicação, informalmente. Entretanto, cada organização adota métodos e práticas, considerando elementos que impactam em seu negócio. Nesse cenário, o custo, o tempo e o aumento da qualidade do produto da confiabilidade, são considerados, levando ao desenvolvimento e uso de *frameworks*.

As arquiteturas de referência podem conter *frameworks* como módulos, chamados de *frameworks* de aplicações e conceituais, que fornecem funcionalidades. Sommerville (2011) define *framework* de aplicações como sendo coleções de classes abstratas e concretas que são adaptadas e estendidas para criar sistemas de aplicação. A arquitetura é basicamente composta por um núcleo comum e por componentes configuráveis e reusáveis. Esta definição está limitada a um *framework* de aplicação.

Para Pree (1995) e Crespo e Pinto (2000) *framework* é uma aplicação parcialmente completa e reusável, projetada para ser instanciada ou especializada para construção de outras aplicações. Visto por este ângulo, o *framework* é um aplicativo “semi-completo”, ou seja, ele contém elementos estáticos e dinâmicos que podem ser adaptados para aplicações personalizadas (FAYAD, 2000). Um *framework* disponibiliza uma arquitetura concreta autocontida e elementos básicos para a criação de um conjunto de subsistemas.

O *Framework* de aplicações e uma linha de produtos de *software* têm muito em comum. Nesse sentido, é preciso destacar que ambos oferecem suporte a uma arquitetura, componentes comuns e exigem um novo desenvolvimento para se criar uma versão específica de um sistema (SOMMERVILLE, 2011).

O *framework* conceitual pode ser definido como um conjunto de ideias e conceitos que se interrelacionam para descrever o comportamento em sistema (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013). Pode ser aplicado em diferentes categorias que requeiram uma imagem geral do todo. É utilizado, também, para fazer distinções conceituais, exemplo de diretrizes e documentação.

Para Lisboa Filho (2000) o *framework* conceitual tem como objetivo fornecer um diagrama de classes que possa ser usado como base para a modelagem das classes do domínio da aplicação. Esta definição complementa a definição proposta por Rogers, Sharp e Preece (2013).

[Lisboa Filho \(2000\)](#) entende, ainda, que o termo significa que o produto gerado a partir do uso do *framework* não é um *software* executável, mas sim, um esquema conceitual que pode ser utilizado em qualquer modelagem. Assim, um *framework* não representa uma arquitetura, tendo em vista que ele possui uma ou faz parte de uma, fornecendo diagramas, documentação ou executáveis, de acordo com a sua tipificação.

Segundo [Nakagawa \(2016\)](#), o termo “*framework*” é encontrado com diferentes significados (*e.g.*, componente, conjunto de passos ou ainda estrutura geral). Nesta pesquisa utilizaremos as definições dos termos *framework* conceitual e de aplicação propostos por [Lisboa Filho \(2000\)](#) e [Fayad \(2000\)](#).

3.2 Tipos de Arquitetura de Referência

Devido à existência de inúmeras aplicações e diferentes interesses quanto ao comportamento e utilização, há muitas formas para se classificar ou tipificar as arquiteturas de referência.

Nesse cenário, [Angelov, Grefen e Greefhorst \(2009\)](#), definem cinco tipos principais de arquiteturas de referência, baseado em uma classificação objetiva. Leva-se em consideração o contexto, o propósito e o *design*. Ainda de acordo com os autores, a identificação dos tipos de arquiteturas de referência é um problema simples que pode ser resolvido com a restrição de satisfação, na qual há combinações de valores para satisfazer uma série de restrições.

Cumpra-se fazer breves comentários sobre os tipos de arquiteturas classificados pelos citados autores. O primeiro tipo representa o tipo clássico. Este tipo é projetado para padronização em múltiplas organizações. O tipo dois se assemelha ao tipo um, pois também visa a padronização, contudo é projetada para implementação e utilização exclusiva em uma organização.

O terceiro tipo apresenta as características das arquiteturas clássicas, mas são utilizadas como ferramentas por facilitadores, para disseminar conhecimento em múltiplas organizações. O quarto tipo, por sua vez, apresenta as mesmas diretrizes das arquiteturas clássicas, encontradas no tipo três, mas são utilizadas em uma única organização, sendo similar ao segundo tipo, e utilizada como guia para projeto e implementação.

Por fim, o quinto tipo de arquitetura de referência é classificado como arquitetura preliminar, sendo utilizado por facilitadores em múltiplas organizações com o objetivo de suportar a criação de arquitetura de sistemas a longo prazo. Seu desenvolvimento envolve organizações e seus usuários.

3.3 Arquitetura de Referência na Indústria Automotiva

AUTomotive Open System ARchitecture (**AUTOSAR**) é uma parceria de desenvolvimento mundial dos fabricantes de veículos, fornecedores, prestadores de serviços e empresas do setor automotivo de eletrônicos, semicondutores e *software* (**AUTOSAR, 2019**). Segundo **Serban, Poll e Visser (2018)**, a AUTOSAR é um consórcio entre *Original Equipment Manufacturer* (**OEMs**) e fornecedores de componentes que suportam a padronização da infraestrutura de *software* necessária para integrar e executar o *software* do veículo.

A AUTOSAR tem como objetivo padronizar tanto o modelo arquitetural para o desenvolvimento de *software* quanto o modelo das Unidades de Controle Eletrônico (**ECUs**). A organização promove e empreende esforços no desenvolvimento de sistemas eletrônicos inovadores que ampliam o desempenho da segurança. A visão arquitetural apresentada pela organização se concentra na padronização, desenvolvendo especificações e metodologias para sistemas automotivos confiáveis, escaláveis e de fácil manutenção.

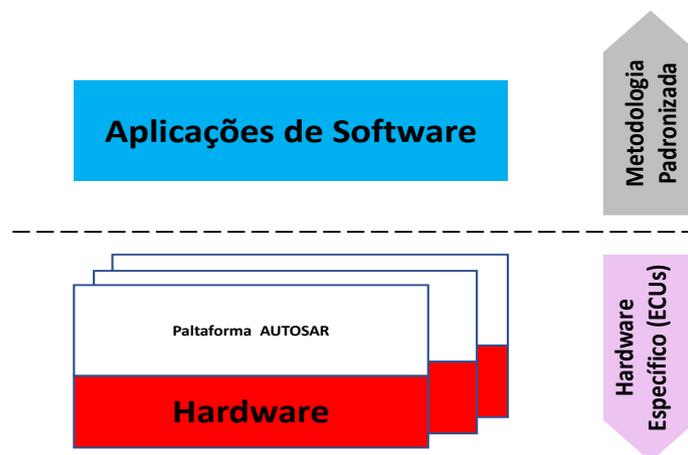


Figura 3.4: Arquitetura padrão definida pela AUTOSAR.
Fonte: **Autosar (2019)**.

No modelo apresentado na Figura 3.4 o *Hardware* e *Software* são amplamente independentes um do outro. As diretrizes permitem dissociar o desenvolvimento em camadas possibilitando a reutilização de *software* e melhorando a qualidade e a eficiência, além de reduzir custos e tempo de desenvolvimento (**AUTOSAR, 2019**).

A *Visteon Corporation* é um fornecedora de produtos eletrônicos automotivos para o mercado mundial de veículos. É composta por várias empresas que projetam e fabricam produtos eletrônicos para o *cockpit* de veículos e serviços de carros conectados, além dos sistemas ADAS para as principais empresas de automóveis no mundo.

A companhia tem se destacado no cenário mundial por introduzir novas abordagens para os desafios e o futuro da mobilidade. Nesse sentido, tem difundido o conhecimento técnico e

liderando vários segmentos no campo da eletrônica para automóveis com foco na resolução de problemas, na segurança e na experiência do usuário.

A organização trabalha com a ideia de uma arquitetura modular para controladores implementando plataformas que servem de base para computação centralizada, visando a direção autônoma. Esta abordagem pode ser vista através de um portfólio apresentado com uma visão arquitetural para os seus produtos (FISHER; LI, 2017) (Figura 3.5).

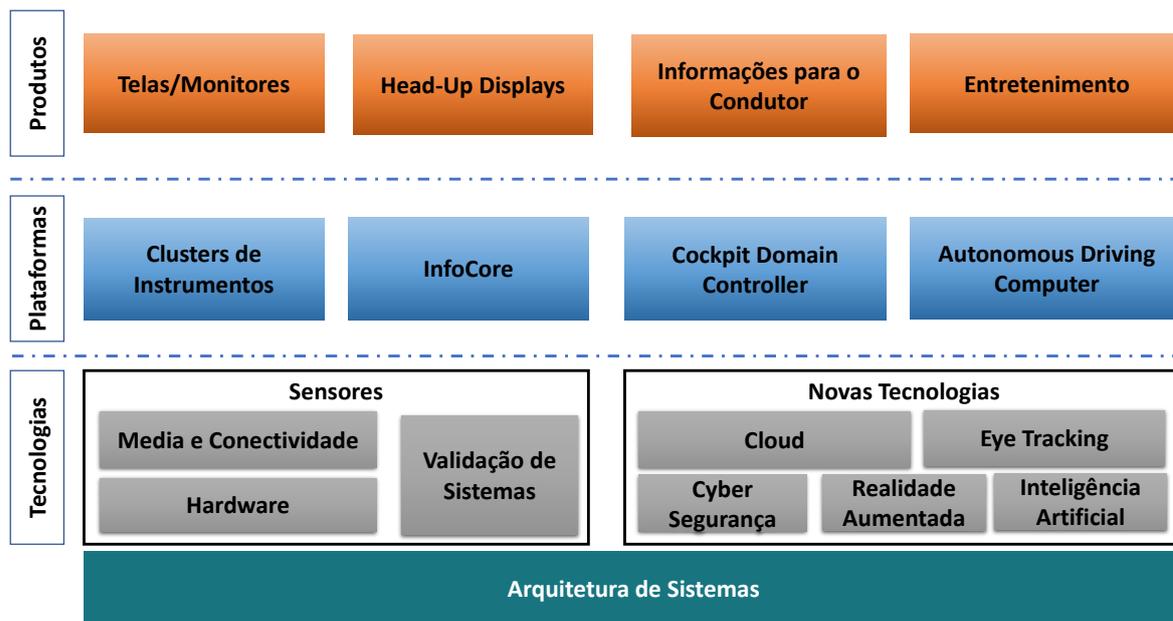


Figura 3.5: Visteon Platforms and Technology.

Fonte: Fisher e Li (2017).

Cockpit Domain Controller consolida produtos eletrônicos separados para apresentação, mas processados em um único *chip*. A apresentação é acessível através da IHC que controla a exibição do painel de instrumentos, os itens de entretenimento e o HUD.

O **Autonomous Driving** é o controlador para o domínio que trata das funções de direção autônoma desde o nível 03 até o nível 05, como condução automatizada em rodovias e estradas rurais, condução no centro da cidade e estacionamento autônomo.

A plataforma **InfoCore** é um conjunto de *software* de propriedade da Visteon e promove o gerenciamento, além de facilitar a operação dos sistemas de computação para veículos baseados na natureza do veículo, agregando uma série de recursos.

O **Cluster de Instrumentos** é a interface que agrega as informações fornecidas pelo sensores e atuadores.

Na camada de tecnologias, os módulos de entrada e saída (*Sensores*) lidam com os sinais vindo de várias fontes e os distribuem para os módulos de fusão e gerenciamento. As novas tecnologias abarcam tanto os sensores quanto as atuais abordagens tecnológicas, como: a RA e a inteligência artificial.

3.4 *Trabalhos Correlatos*

Trabalhos focados em arquiteturas de referência apresentam abordagens similares. É o caso do trabalho apresentado na *International Conference on Software Architecture Companion (ICSAC)*, em 2018, promovido pelo IEEE, em Seattle, nos Estados Unidos da América e o trabalho apresentado no journal *Computing Research Repository (CoRR)* em 2017.

[Ulbrich et al. \(2017\)](#) apresentam uma arquitetura de sistema funcional para um veículo automatizado. Os autores indicam estruturas generalistas e independentes de implementações específicas para veículos específicos. Os modelos envolvem aspectos como ambiente e autopercepção, planejamento e controle, localização, fornecimento de mapas, comunicação entre veículos e interações com operadores humanos.

[Serban, Poll e Visser \(2018\)](#) propõem uma arquitetura de *software* funcional para veículos totalmente autônomos. Os autores exploram a alta padronização da indústria automotiva e os níveis de automação e de acionamento, segundo as definições funcionais para cada nível. Apresentam como resultado uma arquitetura de referência para instanciação específica de *software*.

Os citados pesquisadores apresentam como desvantagem do estudo a ausência do processo de avaliação da arquitetura gerada, tendo em vista que foi exigida ou realizada. Saliem, nesse sentido, que o processo de avaliação para uma arquitetura de *software* deve ser orientado ou executado por especialistas. Por fim, sugerem que, como trabalhos futuros, em etapas posteriores, seja levado em consideração o *design* para a interface dos componentes, além da distribuição de componentes de *hardware* e ECUs.

[Ulbrich et al. \(2017\)](#) abordam o conceito de hierarquia e separação funcional, detalhando as interfaces entre os módulos e as modificações, de acordo com o estado da arte. Segundo os autores, a modelagem apresentada é uma estrutura orgânica que pode ser modificada e refinada para abordar os problemas em aberto.

Ambos os trabalhos apresentam modelos arquiteturais funcionais voltados para automóveis autônomos. Outro ponto importante destacado pelos autores é a abordagem prescritiva para os requisitos, além de implementações voltadas a domínios específicos e limitados.

No presente trabalho, tomamos como premissa uma estrutura modular com alto grau de abstração

para os domínios. O foco foi o modelo estrutural, as conexões e os pontos de integração entre a arquitetura funcional e os modelos de interfaces para HUDs em dispositivos diferentes, como para-brisas, telas de LCD e dispositivos móveis.

3.5 Benefícios do uso de Arquiteturas de Referência

O interesse no conceito de arquiteturas de referência está relacionado aos benefícios apresentados por estes modelos. Nesse cenário, constata-se o vocabulário de *design* reutilizável e o conjunto de práticas definidas como as melhores a serem aplicadas em várias cenários. Aparentemente, existem várias vantagens distintas para o uso destes modelos nas organizações.

São exemplos de áreas tecnológicas que possuem modelos e arquiteturas de referências, dentro dos setores da economia e da tecnologia da informação, as áreas de telecomunicação, produção industrial e sistema financeiro. Os modelos são compostos por blocos que representam os recursos, os processos ou um domínio de negócios. As soluções geradas podem contemplar modelos simplificados.

A adoção de modelos arquiteturais ou de referência em uma organização promove o reúso de soluções de forma eficaz, além de oferecer uma base para itens como a governança. Embora existam muitos benefícios, é preciso registrar a existência de desvantagens comuns ao adotar uma arquitetura de referência dentro das organizações. Vejamos:

1. Um dos itens esperados, com grande importância para a arquitetura de referência, é a interoperabilidade entre plataformas, a exemplo de *Application Programming Interface (API)* de forma que seja estabelecida uma solução padrão e mecanismos comuns para troca de informações, reúso e facilidade de desenvolvimento (REIS, 2018; DUARTE FILHO, 2016);
2. Segundo Reis (2018), o modelo de licenciamento de *software* comercial pode ser otimizado, gerando redução de custos e oportunidades para utilizar *software* aberto.
3. Redução de custos é visto como algo bem-vindo sempre e pode ser obtido quando o desenvolvimento de projetos de *software* é feito através da reutilização de ativos comuns já existentes na organização;
4. Reis (2018) também enfatiza que a arquitetura de referência promove itens, como confidencialidade e auditabilidade de dados, provendo segurança em aderência ao modelo de governança da organização.
5. Provê melhoria na comunicação entre times e inclusive dentro da organização, uma vez que incentiva as partes interessadas em compartilhar as mesmas diretrizes. Esta sinergia influencia a curva de aprendizado dos desenvolvedores.

6. Segundo [Kimour, Bessam e Boudour \(2009\)](#), o uso de modelos de referência permite, entre outras coisas, a redução de custos, aumento de usabilidade, integração entre aspectos técnicos e interações com usuários, através de modularidade e flexibilidade.

3.6 Elicitação de Requisitos segundo a Literatura

Para analisar os requisitos técnicos requeridos para uma arquitetura de referência, apresentamos uma classificação em alto nível. Em uma visão ampliada, elencamos, segundo a literatura, três grandes grupos que chamaremos apenas de “domínio”. Eles estão relacionados em um ciclo contínuo ou de controle. Segundo o processo descrito por [Bila et al. \(2017\)](#), os elementos levam em consideração o ciclo comportamental requerido em veículos autônomos.

A definição dos requisitos também considera a sequência de operações associadas aos dados de entrada, conforme o ciclo contínuo, para descrever o comportamento completo do módulo em questão.

Tomando por base os trabalhos de [Park e Kim \(2013\)](#), [Bila et al. \(2017\)](#) e [Kim e Hwang \(2016\)](#) e atendendo a premissa de que tais sistemas são focados em objetos em movimentos, sendo, portanto, necessário distinguir tais objetos e monitorar seus movimentos continuamente prevendo possíveis ações futuras, o modelo é enquadrado como um RTOS o que justifica o ciclo para os seguintes grupos:

- **Medições** ou aquisição é inerente aos componentes de *hardware*, uma vez que sua função é capturar dados. Segundo [Bila et al. \(2017\)](#), as informações sensoriais são a base para a análise e fundamentais para a tomada de decisão. Há na literatura uma infinidade de sensores que podem ser incluídos neste grupo, a exemplo de radares, sonares, sensores de vídeo e *lasers*.
- **Análise** pode ser vista como um modelo para conscientização da situação ou ainda o grupo chamado simplesmente de “percepção”, onde os dados oriundos da medição são tratados e analisados. Para [Bila et al. \(2017\)](#), entre as atividades concretas deste grupo estão os métodos avançados de processamento de dados e de imagens como rastreamento, filtragem e reconhecimento de objetos. Este grupo pode concentrar um conjunto diverso de tecnologias, além de técnicas e algoritmos redundantes para o mesmo fim.
- **Execução** pode ser definida como o controle alimentado pelas saídas resultantes do nível de análise. [Bila et al. \(2017\)](#) consideram que toda ação é executada na terceira parte do ciclo, principalmente em sistemas autônomos, através da camada de decisão. A ação é calculada com base nos sinais de alerta e cenários possíveis, exigindo alarmes apropriados para realizar manobras e acionar freios.

Para o modelo de referência são requeridos requisitos que também são elencados no contexto da engenharia de *software* e de sistemas para a instanciação adequada da arquitetura concreta, são eles:

- **Interoperabilidade:** as especificações do ambiente devem permitir a troca de informações com outros sistemas ou módulos (DUARTE FILHO, 2016).
- **Baseada em Componentes:** o conjunto de serviços a serem fornecidos é passíveis de incorporação ou combinação, com objetivo de formar outros serviços. Por meio de reúso deve ser possível integrar outros serviços ou ambientes (DUARTE FILHO, 2016).
- **Camadas:** A modelagem em camadas permite a visualização por etapas, facilita modificações e a evolução ao longo do ciclo de vida (DUARTE FILHO, 2016). A modelagem em camadas é requisito obrigatório.
- **Comunicação:** A comunicação abrange tanto os modelos de dados quanto os serviços no ambiente, restringindo os protocolos e tecnologias as diretivas de segurança.
- **Escalabilidade,** segundo Kimour, Bessam e Boudour (2009), é a capacidade que o modelo tem para a atualização. O que permite e possibilita atender a constantes avanços tecnológicos, oferecendo a inclusão contínua de novos elementos ou dispositivos.

A IHC é a última camada do grupo contemplando as funcionalidades para o usuário final, além de permitir configurar e controlar todos os sistemas disponíveis. De modo geral, a camada que compõe a interação entre os usuários e os elementos de *hardware* e de *software* é descolada ou fica independente do ciclo apresentado. Diante do fato que o ciclo leva em consideração a autonomia dos sistemas, o módulo de interface pode ser utilizado no contexto de assistência e de apresentação.

No contexto IHC identificamos os dispositivos de interação que são interfaces que possibilitam a manipulação de sistemas ou dispositivos de maneira simples, segura e o mais confortável possível. O **para-brisa**, as telas LCD (*displays*), os mostradores analógicos e de painéis mecânicos *e.g.*, (*speedometer*) são dispositivos sobre os quais é possível aplicar tecnologias, a exemplo da realidade aumentada, para apresentar interfaces visuais que maximizem e potencializem o uso dos sistemas computadorizados e de dispositivos de *hardware* complexos.

A independência de tecnologias é uma característica desejada na especificação da arquitetura de referência e requerida para arquitetura em camadas, pois permite criar aplicações ou clientes em diferentes plataformas e linguagens.

Neste aspecto cabe registrar as seguintes tecnologias: Aprendizado de Máquina, *Software* Embarcado e o Rastreamento Ocular.

Aprendizado de Máquina - semelhante a Visão Computacional, em termos gerais, pode ser entendido como um conjunto de técnicas e modelos estatísticos que, por meio de algoritmos, possibilitam aos sistemas computadorizados tratar ou executar tarefas em condições específicas e explícitas com base em padrões. O objetivo é permitir que máquinas e sistemas possam aprender. Estas técnicas são as *features* e precedem as teorias de inteligência artificial.

Um sistema ou **Software Embarcado** pode ser definido como um sistema construído para um único propósito ou aplicação. Trata-se, basicamente, de uma combinação de processador ou microprocessador, memória e periféricos de entrada e saída com funções dedicadas a sistemas mecânicos e elétricos. Um sistema embarcado tem como propósito geral executar apenas uma função determinada.

Rastreamento Ocular ou (*Eye Tracking*) é uma técnica ou processo que tem por objetivo medir o ponto de vista ou movimentação dos olhos em relação a cabeça. A tecnologia de rastreamento para a cabeça é uma abordagem que usa uma câmera fixa para observar um sujeito, *e.g.*, motorista. Algumas técnicas utilizam marcadores especiais (LANGNER *et al.*, 2016).

3.7 Análise dos Cenários e da Complexidade

Um automóvel pode ser visto como uma parte integrante do sistema de trânsito, no qual há interação com outros elementos, a exemplo de pedestres, sistemas como sinais e guias. Trata-se de um ecossistema que envolve sistemas computacionais, sistemas eletrônicos, sistemas mecânicos e mecatrônicos, como partes que trabalham em conjunto como um elemento, e que, por sua vez, interagem com outros elementos, iguais ou ainda similares.

Tais características produzem inúmeros desafios que emergem como fruto dos efeitos das interações entre os constituintes, ou partes e individuais que compõe o trânsito, assim como partes isoladas e sistemas que os compõem (NUSSENZVEIG, 2003).

Em um amplo horizonte em que há a interação de fatores humanos, elementos ambientais exibem características previstas em sistemas complexos, a exemplo da não-previsibilidade a curto prazo. Em se tratando dos fatores humanos e do próprio trânsito, que possui interação entre as unidades que o compõem, adaptando-se as respostas produzidas e aos sinais que recebe de forma aleatória, além de se auto organizar dinamicamente com propriedades emergentes que podem apresentar múltiplas histórias possíveis.

Segundo Palazzo (1999), se um determinado domínio é “complexo” ele será por definição resistente à análise. Para Nussenzveig (2003), a complexidade advém da formação por muitas unidades simples interligadas entre si, de forma que uma parte influencia o comportamento da outra. Isso significa que um sistema com essas características não pode ser analisado ou separado

em um conjunto de elementos independentes sem ser destruído, afirma [Palazzo \(1999\)](#).

A complexidade do todo decorre desse entrelaçamento de influências mútuas à medida que o sistema evolui dinamicamente ([NUSSENZVEIG, 2003](#)). Como consequência disto, não é possível empregar métodos reducionistas para a sua interpretação ou entendimento.

[Palazzo \(1999\)](#), se a abordagem convencional para o controle em qualquer nível requer a capacidade de fazer previsões razoavelmente precisas do que acontecerá, deve-se então procurar uma visão que possibilite uma modelagem que apresente simultaneamente a característica da distinção. Ou seja, que possa ser vista em separado do todo e em alto nível de abstração e de conexão, uma vez que as partes são indissociáveis do todo, não perdendo parte do significado original.

Considerando o contexto e uma gama de possíveis cenários é possível isolar as partes, segundo as definições apresentadas por [Palazzo \(1999\)](#), considerando um alto nível de abstração das partes, gerando um modelo que contemple o foco desta pesquisa. Neste contexto, [Larman \(2000\)](#) define que se pode projetar o modelo enfatizando uma solução conceitual, tanto em *software* quanto em *hardware*, de forma que sejam satisfeitos os requisitos em detrimento da implementação.

Ainda segundo o mencionado pesquisador (2000), as ideias de projeto excluem frequentemente detalhes de baixo nível que são considerados, como óbvios, a implementação do projeto, a exemplo da codificação expressa. Ao projetar, foca-se em objetos, suas responsabilidades e colaborações segundo a orientação a objetos. Os objetos em um projeto de *software* refletem, em parte, um domínio do mundo real.

Diante do exposto, isolando as partes que compõem os *Autonomous Vehicles (AV)* ou Semi-Autônomos em qualquer nível, o domínio em questão apresenta grandes desafios para a engenharia de sistemas. Não apenas por ser um sistema complexo, mas também pelo fato de fazer parte de uma infraestrutura maior, a exemplo das estradas e cidades inteligentes. As abordagens baseadas em modelos reducionistas representam uma oportunidade para enfrentar esses desafios.

Segundo [Tas et al. \(2016\)](#), a arquitetura funcional de veículos automatizado desempenha um papel crucial no desempenho do veículo. Para [Pereira \(2011\)](#), o desenvolvimento de sistemas tornou-se previsível, tendo em vista a adoção de metodologias para análise de sistemas, embora o grau de complexidade dos projetos de sistemas tenha se tornado cada vez maior, a medida em que as partes que os compõem evoluíram.

[Sommerville \(2011\)](#) define que o sistema de coleta de dados baseado em sensores é um sistema cujo principal objetivo é coletar dados a partir de sensores diversos. No caso dos automóveis, os sensores estão associados a processadores ECUs/MCUs. Os principais requisitos de tais sistemas são confiabilidade, mesmo em condições ambientais desfavoráveis, e manutenibilidade.

Na literatura observamos a apresentação da mesma estrutura conceitual que engloba *hardware* e *software*, sensores, fusão, processamento de dados e sistemas de controle para os atuadores (Figura 3.6).

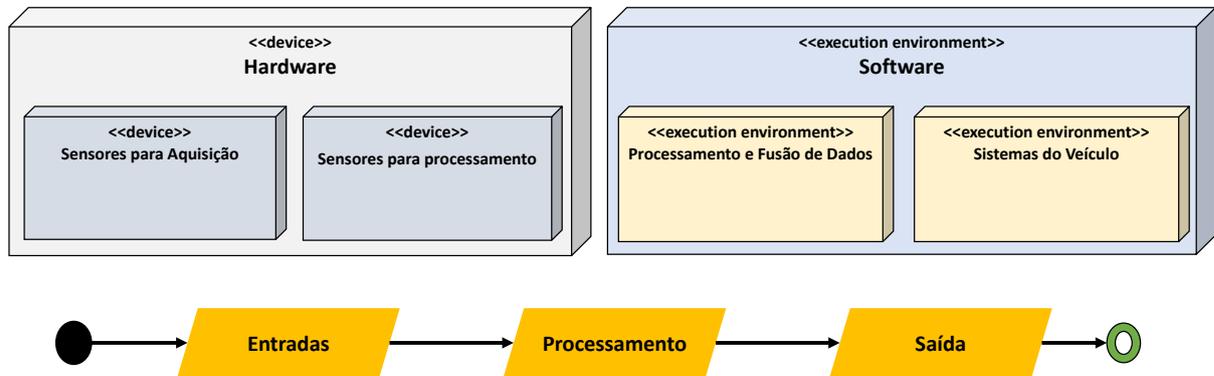


Figura 3.6: Design em alto nível para os Sistemas ADAS e carros autônomos.

Fonte: Adaptado de *Embedded Vision Alliance*, [Aeberhard et al. \(2015\)](#), [Zivković \(2018\)](#), [Siller \(2014\)](#)

O desenvolvimento das *features* para os sistemas de direção baseia sua arquitetura em alto nível em cinco componentes: Sensores, Processadores, algoritmos de *software*, soluções para mapeamento do ambiente e atuadores. A relação entre estes itens pode ser reduzida ao fluxo básico da Figura 3.6.

[Behere e Törngren \(2016\)](#) tratam os mesmos componentes em uma perspectiva funcional, tanto para sistemas autônomos como para ADAS, abstraindo os itens de *software* e mapeamento com a ideia modular de percepção, decisão e controle, além da plataforma de manipulação do veículo realizada pelos atuadores.

3.8 *Guidelines* para a Arquitetura de Referência

Cada organização trabalha com seus próprios padrões e arquiteturas para o desenvolvimento dos sistemas de direção assistida e automóveis autônomos. Elas utilizam, ainda, protocolos de comunicação, arquitetura com números e tipos de camadas diferentes. De acordo com [Duarte Filho \(2016\)](#), um ponto importante para garantir a eficiência quanto a arquitetura de referência é a documentação produzida, uma vez que tal arquitetura depende apenas do domínio no qual está inserida.

Para [Duarte Filho \(2016\)](#), a necessidade de definir e construir boas arquiteturas está atrelada ao fato de que a arquitetura de referência deve ser capaz de descrever as principais áreas funcionais do sistema, em diferentes contextos da aplicação. Assim, ela deve reproduzir as modelagens e representações concretas frente aos cenários esperados para aplicação. A diversificação de

cenários ajuda na análise e na validação, além de possibilitar que as organizações possam explorar as similaridades e a viabilidade de seus produtos finais (DUARTE FILHO, 2016).

Nesta pesquisa, o modelo abstrato proposto utiliza como base um *guideline* para definir os componentes que farão parte do modelo, segundo o estado da arte e os principais elementos para as arquiteturas, propostos na literatura para sistemas de assistência à direção e para veículos autônomos. O conceito para a arquitetura proposta é sintetizada na Figura 3.7, a qual ilustra o conjunto de atividades em alto nível. Essas diretrizes definem os aspectos técnicos para se criar os modelos e instâncias em domínios específicos.

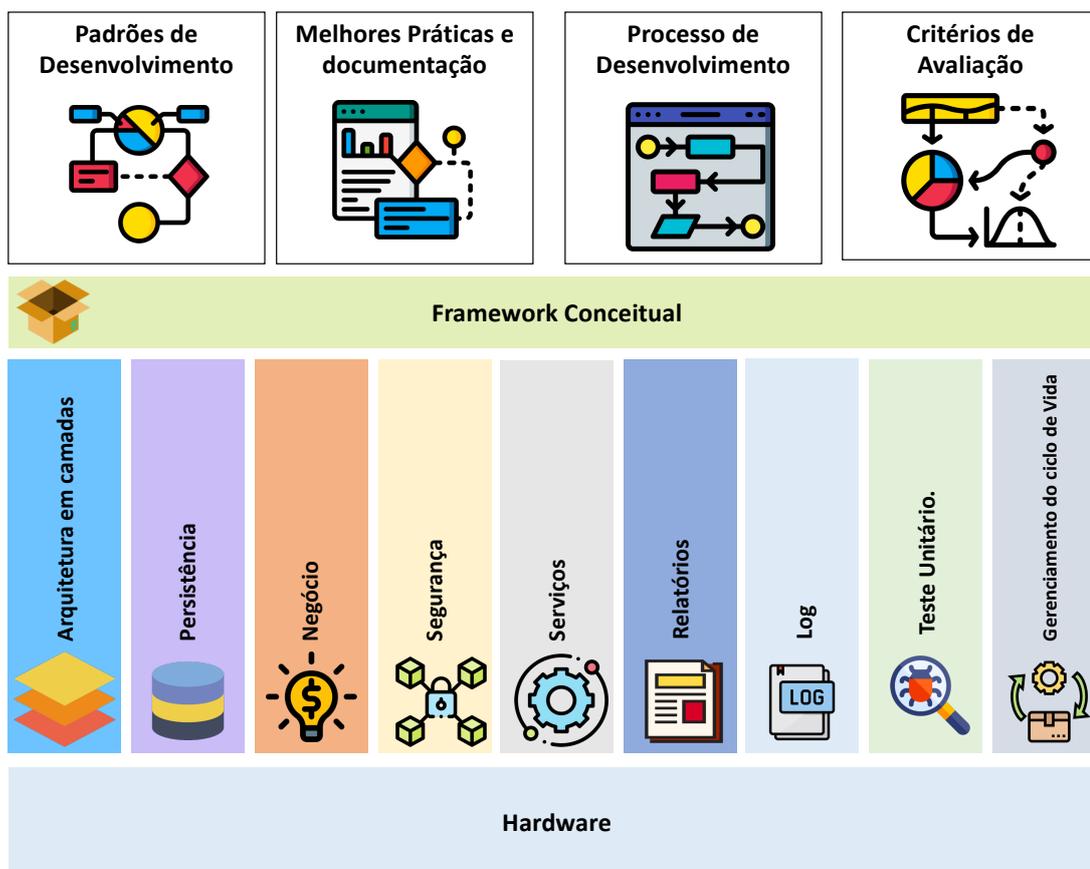


Figura 3.7: Proposta para o *Framework* Conceitual
 Fonte: adaptado de Maciel (2009)

O conjunto de padrões visto na Figura 3.7 reúne um conjunto de melhores práticas e documentação para gerenciar o processo de desenvolvimento, além de critérios para avaliação.

Embora existam inúmeras formas e alternativas para compor um *framework*, tomamos como base critérios básicos e claros, segundo a análise da vasta bibliografia que compõe esta pesquisa (OLIVEIRA; NAKAGAWA, 2009; MACIEL, 2009).

O modelo apresentado traz um conjunto de decisões arquiteturais que pode influenciar direta-

mente no sistema concebido. Nesse sentido, é capaz de habilitar, facilitar, dificultar ou ainda interferir no sistema concebido (OLIVEIRA; NAKAGAWA, 2009). O primeiro nível agrega os seguintes itens:

- **Padrões de Desenvolvimento:** Segundo Larman (2000), o conjunto de certas soluções, consagrada para os problemas em projetos de desenvolvimento, pode e deve ser expressa na forma de princípios como melhores práticas, heurísticas ou padrões. Estes padrões são vistos como fórmulas do tipo problema-solução que acabam por guiar o processo de desenvolvimento.
- **Melhores Práticas e Documentação:** Entre as diretrizes fornecidas pela arquitetura de referência, temos também a padronização da documentação. A UML é, sem dúvida, a linguagem padrão para documentar os projetos de *software*. Segundo Larman (2000), a UML pode ser aplicada em três perspectivas diferentes: conceitual, especificação e implementação. Na **conceitual**, os diagramas são interpretados como a descrição de coisas em contextos do mundo real ou do domínio de interesse. Na perspectiva de **especificação**, os diagramas descrevem abstrações de *software* e seus comportamentos, utilizando as mesmas notações vistas na perspectiva conceitual, mas, neste caso, se referindo ao *software*. Por fim, na perspectiva de **implementação**, os diagramas descrevem a implementação em uma tecnologia, com foco específico na codificação.
- **O Processo de Desenvolvimento:** Reúne um conjunto de abordagens para construção de *software* claramente documentados (BASS; CLEMENTS; KAZMAN, 2003).
- **CrITÉrios de Avaliação:** Segundo Bass, Clements e Kazman (2012), os requisitos ou atributos requeridos para avaliar a qualidade devem ser cumpridos pelas várias estruturas projetadas na arquitetura. Ou seja, pelos comportamentos e interações dos elementos que a preenchem.

A camada seguinte é composta por um conjunto de componentes que fazem parte do *framework* conceitual. Apresentam as principais ferramentas e metodologias que compõem o *chassi* que dão suporte a estrutura concreta para a instância dos modelos.

Arquitetura em Camadas é um dos padrões para a arquitetura de *software*, a exemplo do padrão *Model View Control* (MVC). Os modelos baseados em camadas possuem como responsabilidade a transformação e transporte de dados entre as camadas de forma que possam ser utilizadas e compreendidas pelos usuários Maciel (2009).

A separação em camadas ou separação lógica entre os módulos que compõe a aplicação pode torná-lo flexível e mais fácil de manter. Além disso, propicia a reutilização de código, validações e regras de negócios em outras camadas ou em interfaces diferentes.

A **Persistência** é uma camada que responde pelo acesso aos dados, criando uma abstração para as formas de armazenamento. Todas as instruções e transações de acesso aos dados são controladas por soluções ou *framework* adequados a persistência.

O **Negócio** ou simplesmente *framework* de aplicação é responsável por implementar processos que devem ser suportados pelo sistema de informação. Suas responsabilidades são delimitadas pela camada de persistência e pela camada acima, que trata da apresentação (MACIEL, 2009).

O grupo de **Segurança** é responsável por garantir a segurança e a privacidade dos sistemas compatíveis. Além disso, é responsável pela autenticação e autorização de acesso aos serviços e aplicações, tais como os componentes de negócios (MACIEL, 2009; BORBA, 2018).

A produção de **Relatórios** automáticos ou personalizados proporcionam informações sobre o funcionamento geral, o negócio e o funcionamento interno dos *softwares*. De modo geral, seja em alto ou menor grau de granularidade, eles devem ser previstos nas diretrizes da arquitetura como requisito requerido pela organização.

Logs, os erros são inevitáveis em produção e nos testes de integrações com outros sistemas. Eventualmente precisamos analisar os *logs* para entender o contexto, os parâmetros e as condições para a ocorrência. As definições ou templates para criação de *logs* devem ser claras, de fácil entendimento. Além disso, o registro não pode interferir na performance da aplicação.

Os **Testes Unitários** são uma prática que garante o teste de todas as menores unidades de um sistema. Permitem encontrar os problemas rapidamente, facilitam as alterações, simplificam o processo de integração e melhoram a documentação. Trata-se de uma prática obrigatória.

Gerenciamento do ciclo de vida é um processo inerente ao desenvolvimento de sistemas. É previsto no modelo arquitetural, tendo em vista que a sua concepção tem por objetivo a concretização do modelo em um sistema executável. O modelo de ciclo de vida foi apresentado na seção 3.3.

O *framework* estrutural proposto na Figura 3.7 é um modelo abstrato que define um conjunto de diretrizes do ponto de vista organizacional generalista. É suficiente para ser aplicado de forma integral ou ainda parcialmente a qualquer tipo. Ele é o guia ou visão para a arquitetura de referência desenvolvida nas próximas sessões e aplicada a mais de um domínio.

3.9 Avaliação para arquiteturas

Segundo Silva (2016), a avaliação arquitetural é uma técnica ou método que determina as propriedades, os pontos fortes e fracos e o estilo ou padrão de *design*. Dentre as finalidades

da avaliação, encontram-se a de estabelecer a consistência entre as informações e o *design* da referência, bem como a forma em que a instância foi desenvolvida ou implementada.

Segundo [Oliveira e Nakagawa \(2009\)](#), considerando-se a relevância das arquiteturas de *software*, base sobre as quais todos os sistemas são construídos, a avaliação da qualidade das arquiteturas é fundamental. A ajuda de especialistas possibilitará a identificação dos pontos de melhorias e de outros aspectos não tratados no modelo.

Ainda segundo os autores uma arquitetura deve passar por um processo de avaliação, caso contrário pode não apresentar as melhores perspectivas de qualidade no processo de desenvolvimento. A literatura contém uma extensa lista de classificação segundo a engenharia de *software*, além de métodos para avaliação e medição da qualidade.

Segundo [Silva \(2016\)](#) podemos identificar como principais métodos de avaliação de arquitetura o *Scenario-Based Architecture Analysis Method (SAAM)* ([KAZMAN et al., 1994](#)) e o *Architecture Trade-off Analysis Method (ATAM)* ([KAZMAN et al., 1998](#)). O SAAM é um método de análise de arquiteturas de *software* que disponibiliza uma notação para representar as arquiteturas ([NAKAGAWA, 2016](#)). O ATAM, por sua vez, é um método de arquitetura baseado em cenários para avaliação de atributos de qualidade como modificabilidade, portabilidade, extensibilidade e integralidade ([KAZMAN et al., 1998](#)).

Ambos os métodos são considerados maduros e amplamente utilizados. Servem como base para diversos outros métodos presentes na literatura ([OLIVEIRA; NAKAGAWA, 2009](#)). O processo de avaliação da arquitetura visa um artefato com maior qualidade. Os métodos de avaliação, como o SAAM e ATAM, podem ser adaptados e combinados a outras técnicas, sendo aplicados com o objetivo de evoluir a proposta da arquitetura.

Atualmente, existem métodos de avaliação de arquitetura de *software* baseados em cenários. Vários desses métodos são baseados no SAAM ou no ATAM que foram criados a partir da iniciativa e pesquisa do *Carnegie Mellon Institute (CMI)* ([LIMA; CARNIELLO; CARNIELLO, 2014](#)).

Para [Nakagawa \(2016\)](#) não há um consenso quanto a escolha de um método a ser adotado ou de qual é o mais adequado para uma situação particular. Em verdade, a escolha é geralmente definida com base nas experiências do arquiteto que analisa quão bem a arquitetura de *software* satisfaz objetivos particulares de qualidade. Além dos métodos de avaliação arquitetural, há outras abordagens que também podem ser utilizados para avaliação da qualidade de arquiteturas de *software*, a exemplo do *checklist* ([OLIVEIRA; NAKAGAWA, 2009](#)).

Resultados e Discussão

Neste capítulo será apresentada a especificação da arquitetura de referência para conceber soluções no domínio de sistemas de assistência à direção utilizando realidade aumentada. O artefato gerado se concentra na utilização, no *design* abstrato e arquitetural e nos elementos de *hardware* e *software* que podem compor o ambiente de projeção para realidade aumentada.

Arquiteturas de referência são ferramentas de grande valor para os mais diversos processos no desenvolvimento de *software* em qualquer área do conhecimento. A concepção de uma arquitetura de referência está diretamente ligada aos paradigmas de orientação a objetos e a orientação a aspectos. A orientação a objetos é amplamente utilizada no desenvolvimento de *software*.

Conforme abordado no Capítulo 3, uma arquitetura de referência é basicamente um modelo que reúne uma coleção de objetos relacionados. O objetivo é trabalhar em conjunto, trocando mensagens, fornecendo recursos ou fazendo pontes entre outros componentes.

A utilização de arquiteturas de referência traz inúmeras vantagens, a saber: a abstração, o encapsulamento e diversas formas de reuso para os componentes, para a construção de arquiteturas concretas. As arquiteturas de referência também guiam a especificação e, conseqüentemente, interferem na qualidade do projeto, nas futuras evoluções das arquiteturas concretas e nos sistemas resultantes. Com base na arquitetura apresentada, pode-se desenvolver instâncias concretas integradas de forma incremental e evolutiva.

4.1 Metodologia para construção da arquitetura de referência

A metodologia adotada para construir a arquitetura de referência se deu através da análise dos trabalhos apresentados por [Robinson \(2018\)](#), [Bass, Clements e Kazman \(2003\)](#), [Nakagawa e Maldonado \(2008\)](#). Considerando os processos descritos pelos autores, foi elaborado o processo em conformidade com o previsto na ilustração da Figura 4.1. A imagem descreve as etapas e procedimentos para construção da arquitetura de referência.

Na etapa de **elicitação dos requisitos**, considerou-se a revisão teórica que conta com os resultados e conclusões obtidos na revisão integrativa discutida no capítulo 2. Além disso, utilizou-se do conteúdo fornecido através da análise teórica das arquiteturas de referência e as suas efetivas aplicações na indústria automobilística, apresentados no capítulo 3. A etapa de elicitação dos requisitos corresponde as premissas técnicas e funcionais a serem atendidas.

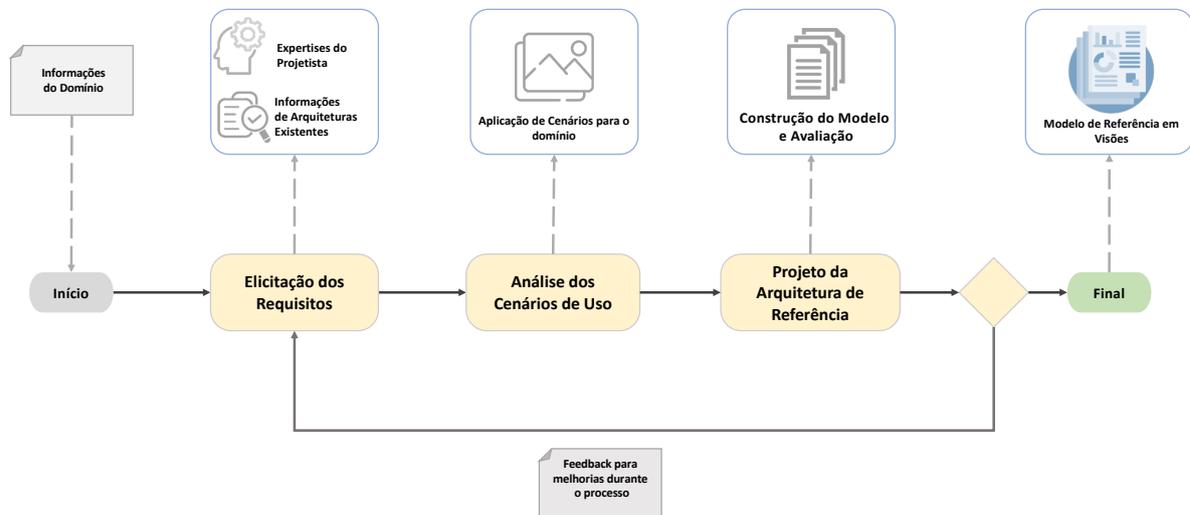


Figura 4.1: Processo para desenvolvimento do Modelo de Referência.

Fonte: Própria

Na **análise dos cenários** de uso, avaliamos as aplicações em realidade aumentada para indústria automobilística. Além disso, avaliamos arquiteturas de referência utilizadas no desenvolvimento de sistemas ADAS e as principais técnicas apontadas na revisão teórica dos Capítulos 2 e 4.

Nesta etapa, considerou-se o *guideline* apresentado na Figura 3.8 que define os princípios para a construção da arquitetura de referência. O *framework* especificado tem como base um conjunto teórico que dá suporte as decisões de projeto. A arquitetura é apresentada em macro visões, considerando a aplicabilidade em alto nível.

Em seguida, o **projeto da arquitetura de referência** foi elaborado. Na oportunidade, desenhou-se, observando os processos definidos pela disciplina de engenharia de *software*, a estrutura para arquiteturas de referência, elencando os elementos, os atributos, o comportamento e os relacionamentos contextuais, além das suas representações gráficas.

Por fim, na última etapa, pretendeu-se construir uma Prova de Conceito (**PoC**) (do inglês *Proof of Concept*) para a arquitetura proposta, contemplando um incremento ou parte da arquitetura. Nesse cenário, são apresentadas as métricas de qualidade para a arquitetura de referência.

4.2 Modelagem da arquitetura de referência

A arquitetura de referência é uma solução conceitual capaz de atender a diferentes escopos para a construção de instâncias concretas. Para atender a este princípio, a arquitetura foi elaborada de forma que as camadas sejam independentes. Ou seja, que não possuam efetivamente dependência entre as camadas ou módulos para o seu funcionamento, conforme o *guideline* discutido no Capítulo 3, seção 3.8. Registre-se que os requisitos no campo da engenharia de *software* foram discutidos na seção 3.6 e os requisitos técnicos do domínio, do usuário, as *features* e o *design* foram abordados no Capítulo 2.

A princípio, uma arquitetura pode ser descrita e documentada abordando diferentes visões arquiteturais, a depender da finalidade do artefato e da documentação. Com o intuito de descrever a arquitetura proposta de forma simplificada e objetiva, apresentaremos visões arquiteturais que são comumente utilizadas pela disciplina da engenharia de *software*. São elas: a visão geral dos módulos (Figura 4.2) e a visão estrutural ou modelo arquitetural que é mostrada na seção 4.3 Figura 4.2.

As visões arquiteturais são artefatos utilizados para mostrar, de forma abstrata, diferentes aspectos e características de um sistema de *software*. Uma visão arquitetural formaliza a documentação, descrevendo os elementos contidos no diagrama.

Os diagramas a seguir foram construídos respeitando os padrões e as linguagens de descrição arquitetural (do inglês, *Architecture Description Language (ADL)*) que são largamente utilizadas para a especificação de projetos arquiteturais.

Cada visualização arquitetural trata de um conjunto específico de interesses para os envolvidos. Assim, as visões apresentadas têm em vista um nível generalista, com foco nos componentes e nos relacionamentos distribuídos em camadas e ambientes de execução.

Na visão apresentada na Figura 4.2 apresentamos os principais componentes e recursos tecnológicos utilizados para orientar e apoiar os desenvolvedores na implementação e desenvolvimento de interfaces *Heads-up Display* utilizando realidade aumentada, no domínio dos Sistemas de Assistência à Direção.

Levou-se em consideração as propostas para arquiteturas funcionais de [Ulbrich et al. \(2017\)](#), [Serban, Poll e Visser \(2018\)](#) e [Curiel-Ramirez et al. \(2018\)](#) e o conjunto de requisitos técnicos de [Bila et al. \(2017\)](#), [Kim e Hwang \(2016\)](#) e [Park e Kim \(2013\)](#), além dos trabalhos de [Langner et al. \(2016\)](#), [Aeberhard et al. \(2015\)](#), [Fisher e Li \(2017\)](#), [Abdi e Meddeb \(2017a\)](#), [Park e Park \(2019\)](#) e [Grabe et al. \(2013\)](#) para a proposição da arquitetura em alto nível apresentada na Figura 4.2.

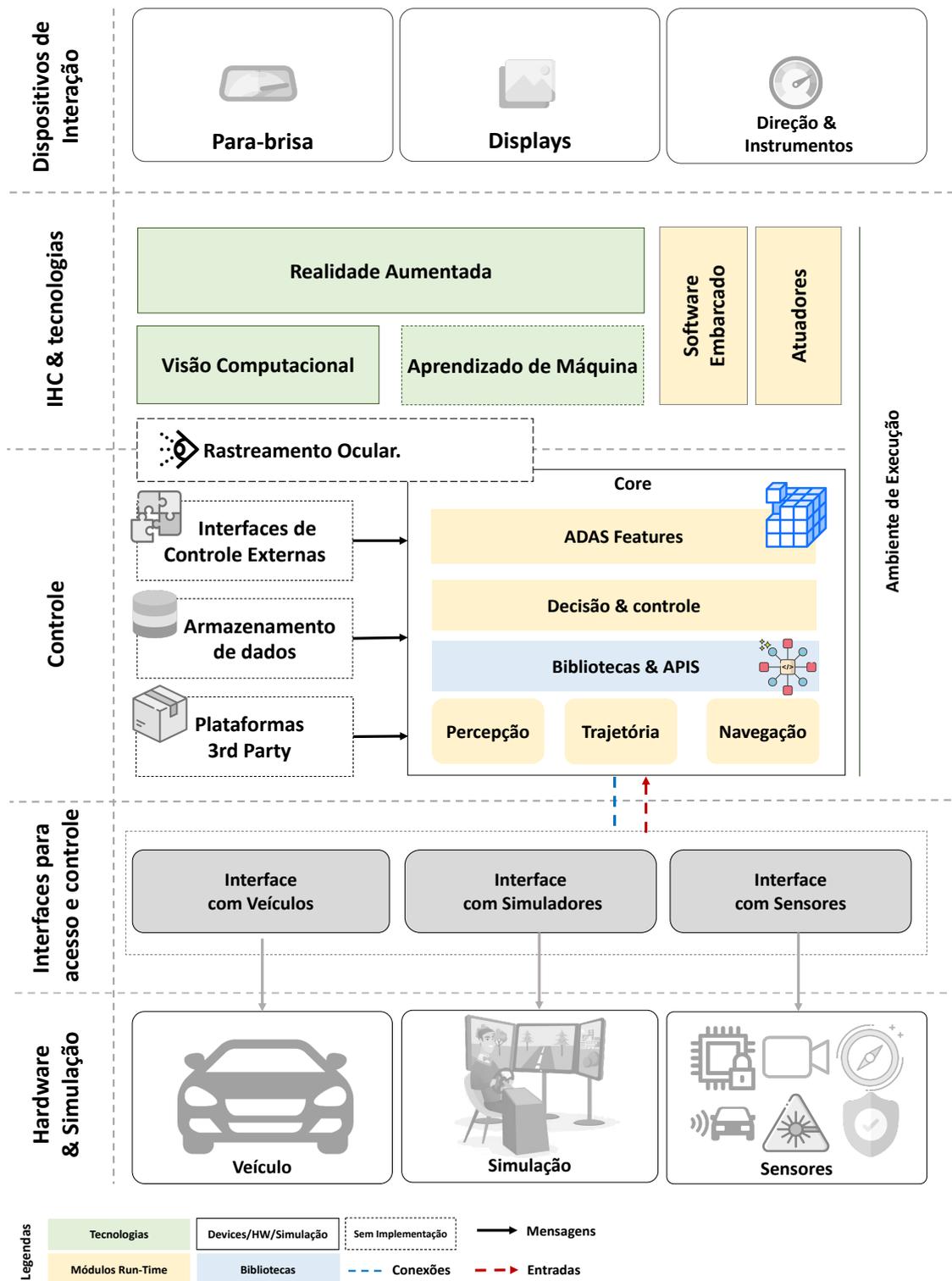


Figura 4.2: Visão geral em alto nível dos principais componentes da arquitetura de referência proposta.

Fonte: Própria

Além de possibilitar a construção de aplicações que fornecem a visualização de informações vindas de sistemas de ADAS, o referencial teórico que dá suporte a modelagem e traz soluções

que preenchem lacunas existentes entre as interfaces de usuários utilizadas atualmente e as interfaces que utilizam a realidade aumentada. Além disso, consideram, de forma genérica, o *hardware* e o veículo.

O *design* para o artefato está definido em alto nível de abstração. Nesse cenário, apresenta as camadas de forma hierárquica para a separação funcional, permitindo a realização de modificações e refinamentos e abordando problemas em aberto, de forma similar aos modelos apresentados por [Ulbrich et al. \(2017\)](#) e por [Park et al. \(2016\)](#).

A modelagem direciona soluções para os desafios inerentes ao desenvolvimento de *software* nas plataformas automotivas ou robotizadas presentes em veículos. Essas plataformas não mudam constantemente. Com efeito, a evolução delas ocorre de acordo com a incorporação de novas tecnologias pelos fabricantes. Assim, nesta pesquisa, adotamos uma abordagem prescritiva conforme a literatura para os requisitos padrões (Seção 3.6), diferente da proposta de [Park et al. \(2016\)](#) que foca apenas no tratamento de dados e na forma de apresentação.

Dentre os itens, destacam-se os **Dispositivos de Interação**, as formas de **IHC** e as **Tecnologias** utilizadas. Segundo [Riener, Gabbard e Trivedi \(2019\)](#), essas tecnologias são de suma importância, pois figuram no papel principal da adoção e uso da RA. O centro de **Controle**, assim como as **Interfaces de acesso e controle**, compõe o centro e permite o acesso ao *Hardware*, aos modelos de Simulação computacional e aos **Sensores** espalhados pelo corpo do veículo.

O artefato também contempla todos os requisitos definidos na seção 3.6 e as tecnologias fornecem suporte para aplicações de terceiros, definidas como “*3rd party*”. Para analisar os diferentes módulos e camadas, descrevemos as partes e os componentes base, assim como os módulos elementares da nossa proposta.

4.2.1 Dispositivos de Interação e IHC & Tecnologias

Os Dispositivos de Interação foram abordados nos Capítulos 2 e 3, na seção 3.6, abrange itens de *hardware* como o **para-brisa**, as telas LCD (*displays*), os mostradores analógicos e de painéis mecânicos (*e.g. speedometer*).

- **Realidade Aumentada** é uma tecnologia que permite a integração de elementos virtuais a visualizações do mundo real. Utiliza-se, para isso, de câmeras, *displays* e sensores de movimento. Com efeito, a tecnologia é utilizada em conjunto com os métodos de visão computacional, aprendizado de máquina e rastreamento ocular (Figura 4.3).
- Discutimos a **Visão Computacional** na seção 2.11. O tema abrange técnicas e tecnologias

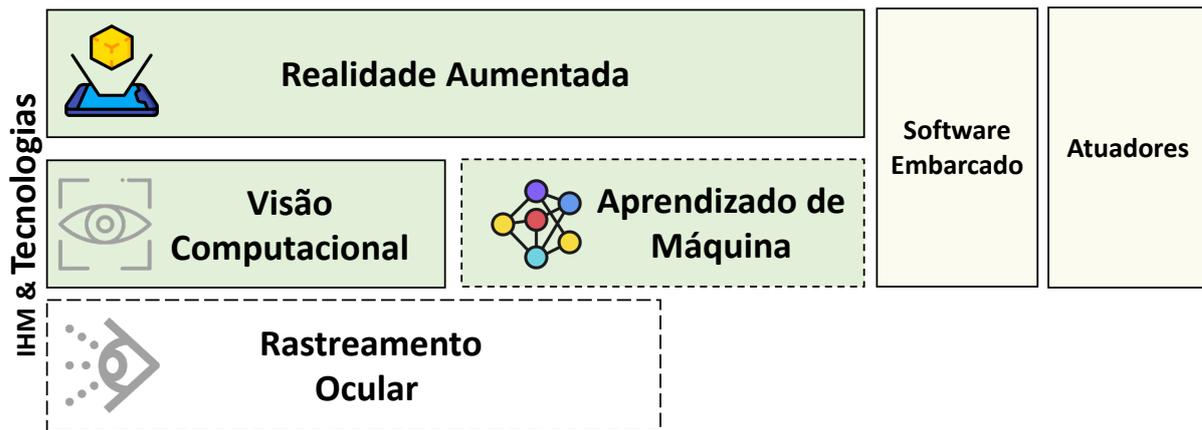


Figura 4.3: Interfaces e tecnologias

Fonte: Própria

de reconhecimento com base em grandes conjuntos de informações e dados multidimensionais.

- **Aprendizado de Máquina** - semelhante a Visão Computacional, apresentamos esta tecnologia dentre os requisitos listados na seção 3.6.
- Um sistema ou **Software Embarcado** compreende pode ser definido como um sistema construído para um único propósito ou aplicação, em geral executar apenas uma função determinada.
- **Atuadores** são elementos que têm por objetivo produzir movimento por meio de comandos que podem ser manuais, hidráulicos ou mecânicos.
- **Rastreamento Ocular** tem por objetivo o rastreamento para a cabeça do condutor. Algumas técnicas utilizam marcadores especiais (LANGNER *et al.*, 2016) (Seção 3.6).

4.2.2 Controle & Core

O bloco que nomeamos como Controle e Core é a parte central vista no artefato e contém o ambiente de execução e os módulos padronizados que são apresentados de forma simplificada e foram organizados segundo os requisitos técnicos apresentados no Capítulo 4.

Os módulos que compõem o Core são semelhantes aos apresentados por Ulbrich *et al.* (2017), Serban, Poll e Visser (2018) e Curiel-Ramirez *et al.* (2018), tendo em vista os requisitos que são obrigatórios para compor os sistemas ADAS e os veículos autônomos, conforme a Figura 4.4.

A camada de execução do artefato se diferencia do bloco similar do modelo funcional apresentado por Ulbrich *et al.* (2017), que destina-se a automação da condução em veículos não tripulados e

descreve de forma detalhada os blocos que compõem a aquisição de dados e o processamento no núcleo. Neste aspecto, o bloco se volta basicamente para a percepção e modelagem de vias.

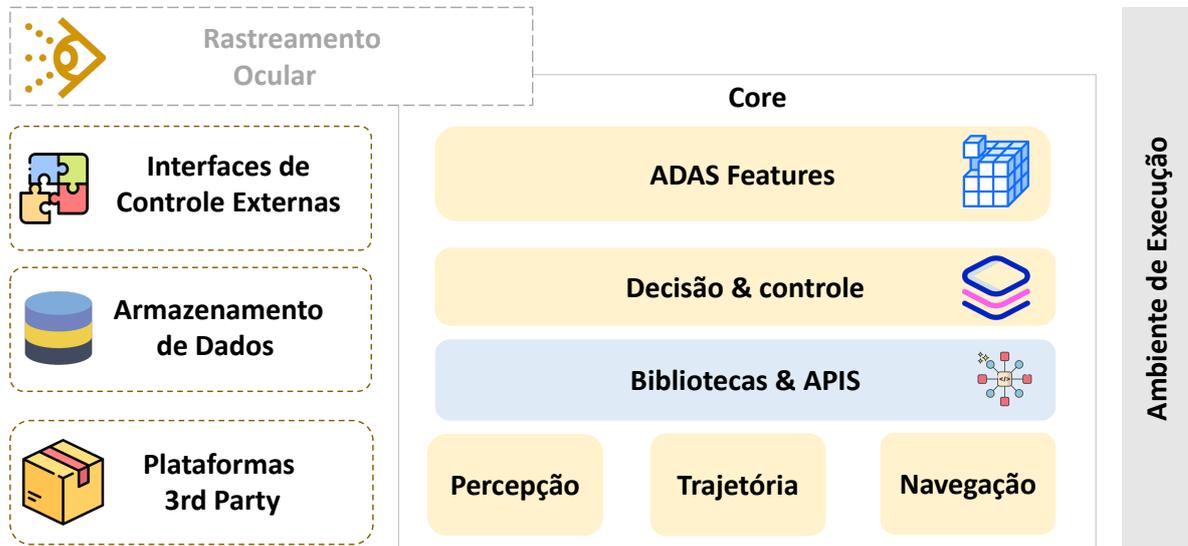


Figura 4.4: Core reúne os módulos centrais
Fonte: Própria

Dentre os módulos relevantes destacamos:

- **ADAS *Features*** ou recursos de sistemas avançados de assistência ao motorista: constituem-se em um conjunto de tecnologias individuais ou módulos autônomos de sistemas que dão suporte aos condutores. Devido à regulamentação, são considerados sistemas passivos, fornecendo apenas informações. O domínio ou conjunto de sistemas definido como ADAS é essencialmente um sistema de características autônomas. Os itens apresentados neste corte foram descritos na seção 2.6.
- **Decisão & controle:** os módulos para decisão e controle são, em geral, modelos generalistas que realizam a fusão e a análise de dados. É comum alimentar tais módulos com dados que já sofreram uma fusão, a fim de que possam ser analisados e utilizados por algoritmos de decisão.
- **Bibliotecas & APIS:** estes módulos possibilitam a interação entre os módulos. Além disso, permitem que sejam desenvolvidos aplicativos, a exemplo das *features*, presentes no sistemas ADAS de forma independente, e dos aplicativos de terceiros para entretenimento.
- O módulo de **Percepção** é alimentado pela fusão de dados de vários sensores, *e.g.*, câmeras, *lidars*, radares. O intuito é obter dados ambientais e complementares (comunicações, análise do comportamento do motorista, dados do veículo). A combinação destes dados gera um modelo de percepção e localização do veículo em ambiente (CURIEL-RAMIREZ *et al.*, 2018).

- **Trajectoria & Navegação:** são módulos distintos e completos. Trabalham com o planejamento, determinando cada manobra a ser executada. Além disso, consomem os dados e a visão de mundo que são processadas pelo módulo de percepção para gerar os mapas e o posicionamento do veículo.
- **Interfaces de Controle Externas** são módulos e portas de acesso que são disponibilizados para melhorias ou adição de novas funcionalidades.
- **Armazenamento de dados:** geralmente é definido como persistência. Oferece um conjunto de recursos para persistir temporariamente os dados coletados ou informações no sistema de arquivos ou como objetos em banco de dados.
- **Plataformas 3rd Party:** são componentes desenvolvidos por terceiros, segundo a regulamentação da indústria, e que podem ser adicionados, *e.g.*, equipamentos eletrônicos para entretenimento e dispositivos que aumentam a segurança.

4.2.3 Interfaces para acesso e Controle

Interfaces para acesso e controle consistem em *drives*, portas físicas ou ainda dispositivos eletrônicos e mecânicos que fazem a ponte entre os módulos de sistema e os sensores, bem como entre os atuadores e o *hardware* do veículo.

4.2.4 Hardware & Simulação

Os itens que compõem a camada de *Hardware & Simulação* abarcam o conjunto de sensores presentes e o próprio veículo. A quantidade e os tipos de sensores variam de acordo com os fabricantes e as finalidades. Nesse sentido, são basicamente diferentes quando o foco são veículos autônomos e sistemas ADAS. A simulação é um campo importante para o desenvolvimento dos sistemas, para treinamento de condutores e para a pesquisa e o desenvolvimento de interfaces.

Embora a arquitetura proposta nesta pesquisa aborde e se enquadre nas arquiteturas funcionais e de referência, o artefato se distingue dos trabalhos apresentados por [Ulbrich et al. \(2017\)](#) e [Serban, Poll e Visser \(2018\)](#), que compreendem a automação e o controle levando em consideração os níveis que classificam a capacidade de autonomia nas decisões executadas pelo sistema. Registre-se que a escala de níveis para sistemas de direção não é tratada nesta pesquisa.

4.3 Visão Arquitetural

Nesta seção, serão demonstradas as estruturas para a arquitetura de referência em sistemas de assistência a direção. Cumpre destacar que o foco é apresentar informações em interfaces de realidade aumentada. Assim, a estrutura é construída com o objetivo de apresentar a arquitetura de referência e seus relacionamentos, como por exemplo: o contexto, os objetivos e o *design* (ANGELOV; GREFEN; GREEFHORST, 2009).

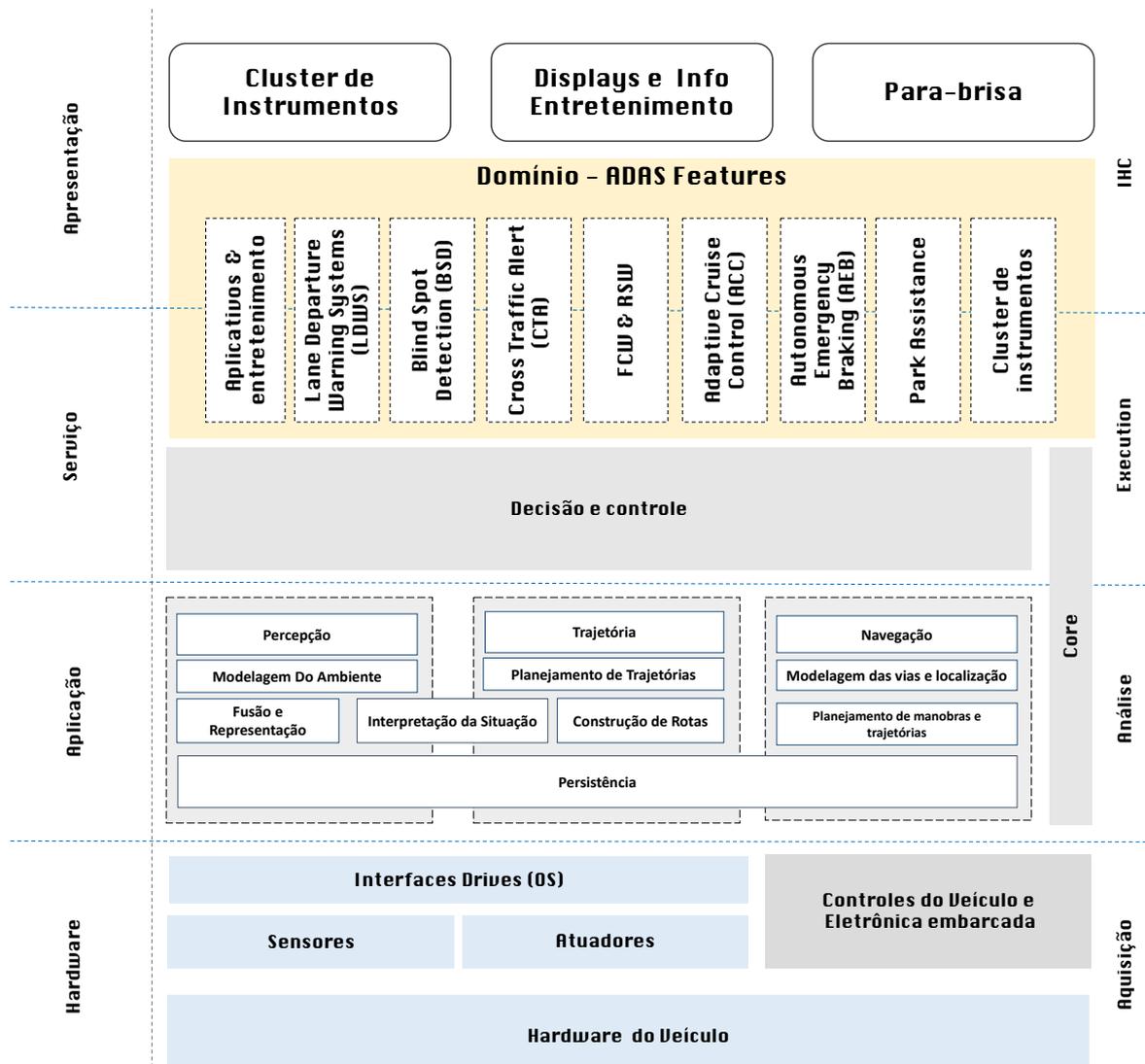


Figura 4.5: Visão para o modelo arquitetural
 Fonte: Própria

Por se tratar de um veículo, a disposição dos módulos mencionados na seção anterior desempenha um papel crucial na operação. É preciso que seja robusta e confiável, tanto no que se refere aos sistemas ADAS quanto no caso dos veículos automatizados e autônomos.

A Figura 4.5 apresentada em camadas, segundo o padrão multi camadas. O *design* de compo-

mentização é escalável, descrevem a lógica nos sistemas de *software* e *hardware* que abrange os sensores e os módulos embarcados.

Camada de Apresentação ou apenas “*apresentação*”: são as formas de interação com o usuário, desde os elementos de controle aos elementos passivos, cuja função é mostrar informações e alertas. Neste nível reside componentes especializados tanto para interagir com usuários como com outras aplicações e os processos da camada abaixo. A Interface homem-máquina (**IHM**) é uma definição para interação entre o usuário de modo geral com qualquer tipo de máquina/*Hardware*. Trata-se de aplicações ou interfaces de *software* em uma tela ou de itens físicos, como botões e *displays* analógicos, que facilitam e tornam mais eficiente a comunicação entre pessoas e máquinas.

A **Camada de Serviço** conforme diz o nome é composta por serviços. Em geral, tais componentes são protegidos contra acesso indevido ou direto. O acesso aos componentes só é permitido de forma segura através de processos de validação que podem estar presentes nesta camada ou na camada lógica. A tomada de decisões para questões específicas também pode ser implementada em módulos de serviços, como *daemon* ou algoritmo. A camada de serviços também possibilita o desacoplamento entre a aplicação, a apresentação e outros sistemas.

A **Camada de Aplicação** também chamada de camada *lógica* ou de negócio, concentra os componentes que são definidos como lógicos para o sistema computacional. Nesta camada, concentra-se a maior parte dos processos, dos componentes e das regras de negócio. Pode acessar os processos da camada inferior. Geralmente, gerencia suas próprias transações e é acessada pela camada de serviços.

Distribuído entre as camadas, encontra-se o conjunto de módulos elicitados, segundo os cenários discutidos no Capítulo 4 e analisados segundo o *guideline* que foi abordado na seção 3.8. Para os autores Park e Kim (2013), Bila *et al.* (2017) e Kim e Hwang (2016), os itens são requeridos como requisitos técnicos para compor o *core* apresentado na arquitetura de referência.

Tabela 4.1: Componentes Requeridos na camada de Aquisição

Módulo	Funcionalidade (Requisito Macro)
Medição ou Aquisição	(A) Instrumentação
	(B) Interfaces com Dispositivos e Processadores

Continua na próxima página

Tabela 4.1 – Continuação

Módulo	Funcionalidade (Requisito Macro)
Análise ou Percepção	(A) Modelagem do Ambiente
	(B) Fusão de dados e Representação
	(C) Interpretação Situacional
	(D) Persistência de Dados
Execução ou Decisão e Controle	(A) Navegação
	(B) Modelagem das Vias e localização
	(C) Planejamento de manobras e trajetórias
	(D) Interfaces para controle do veículo
	(E) Conectividade

Fonte: Própria.

A **Camada de Hardware** ou camada física descreve o modelo operacional. De forma simplificada, abarca todos os sensores, atuadores ou equipamentos necessários para operacionalizar o sistema computacional acima. Na camada física também são encontradas sistemas embarcados e processadores de dados físicos que podem operar de forma autônoma ou sobre demanda.

Toda **Comunicação** entre as camadas deve ser feita através de protocolos e APIs expostas para simplificar a comunicação e reduzir o acoplamento. Outro ponto relevante se refere aos protocolos de comunicação para os dispositivos de *hardware*, uma vez que há diferenças entre as formas de comunicação dos sensores e dos processadores. Estes protocolos são previstos nas especificações da arquitetura de *hardware* e estão relacionados com a camada física da arquitetura, mas não serão tratados neste aspecto do artefato.

Segundo [Knoll \(2015\)](#), há um leque bem diversificado de informações disponíveis para exibição e relacionadas aos controles mecânicos, em se tratando de um veículo. Considerando as informações apropriadas e necessárias ao condutor, a camada de apresentação pode ser dividida em grupos, conforme se demonstrará.

O **Cluster de Instrumentos** ou painel de instrumentos fornece informações relevantes para o motorista e geralmente fica localizado na borda inferior do campo de visão principal do condutor. Trata-se de um módulo de IHM passivo, uma vez que apenas apresenta informações. **Display & Info** Entretenimentos são itens utilizados nos automóveis modernos para ajudar o condutor

a compreender a situação circundante, usando vários sensores para exibir avisos e fornecendo conforto aos motoristas e passageiros, por meio de conteúdos informativos e de entretenimento.

O **Para-brisa** é utilizado para informações relevantes para o motorista, tendo em vista que fica no campo de visão principal. É utilizado para apresentação de informações, sem que o motorista precise tirar os olhos da estrada e sem a necessidade de acomodação visual.

A **Navegação** consiste em controlar o deslocamento do veículo de uma posição inicial até outro ponto ou posição de destino. O módulo tem como responsabilidade seguir um trajeto onde as diretrizes vêm do módulo de decisão e controle. Segundo Knoll (2015), os grupos para exibição são caracterizados por requisitos diferentes em relação ao desempenho do meio de exibição relevante.

A estrutura apresentada possibilita a construção e a adição de novos módulos pelos quais pode se aprimorar a experiência tanto de condutores quanto de passageiros, em termos de segurança e navegação, fornecendo instruções de rota e entretenimento.

4.4 Prova do Conceito

Nas seções anteriores apresentou-se o projeto e a concepção e o desenvolvimento da arquitetura de referência para interfaces AR-HUD no domínio de sistemas de assistência à direção utilizando realidade aumentada. Foram discutidos os elementos básicos, os conceitos e os aspectos para as visões apresentadas.

Como resultado dos passos seguidos pela metodologia para o projeto da arquitetura de referência, apresentada na Sessão 4.1, modelamos as visões que compõem a arquitetura de referência. Esclarecemos, ainda, que o *guideline* definido na sessão 3.8 (Figura 3.7) também é um artefato que, embora tenha sido apresentado no Capítulo 3, está auto contido na arquitetura proposta, pois se caracteriza como um *framework* transversal para arquitetura de referência. O *guideline* abrange as melhores práticas da engenharia de *software*. O módulo corresponde à atividade de apoio ao desenvolvimento e práticas de documentação. A atuação deles no projeto se dá de forma transversal.

O projeto da arquitetura de referência foi realizado analisando requisitos técnicos para *heads-up displays*, arquiteturas de *software* e de referência e requisitos do usuário. O intuito foi buscar a identificação de estilos, os padrões adequados aos conceitos, as normas e a padronização estabelecida pela disciplina de engenharia de *software*. Registre-se que se buscou respeitar as abordagens tecnológicas de regulamentação e os padrões para desenvolvimento de *software* para que atenda ao domínio da indústria automobilística.

De modo geral, a arquitetura de referência proposta agrega diversos princípios, conceitos, padrões e tecnologias. Resulta em uma solução a ser validada do ponto de vista de implementação e correções. Melhorias evolutivas também são esperadas e podem ser aplicadas pela comunidade de usuários, como, arquitetos de *software*, desenvolvedores e organizações privadas. A implementação tende a ser interessante, no contexto das linhas de produtos de *software*, para produzir aplicações de interface para sistemas AR-HUD, a exemplos de *dashboards* para auxiliar condutores, além das interfaces para assistência à direção.

A seguir apresentaremos a validação da arquitetura de referência proposta, por meio da instanciação e elaboração de um protótipo do artefato. A implementação foca exclusivamente na parte central e abrange um conjunto de *features* elicitadas de forma prescritiva, conforme as limitações da pesquisa apresentadas na seção 1.3.

Após a construção do entendimento para a materialização da arquitetura de referência em instância concreta, este capítulo apresentará o processo de desenvolvimento, segundo as práticas da engenharia de *software*. O processo de desenvolvimento foi discutido na seção 3.8, tendo sido apresentada a metodologia utilizada.

O diagrama de visão e os elementos que o compõe, bem como os requisitos do aplicativo, serão aqui apresentados. Em seguida, descreveremos e discutiremos em detalhes o ambiente de desenvolvimento e as visões arquiteturais do projeto. Por fim, será feita a avaliação do artefato.

Uma arquitetura de referência consiste em um artefato genérico a ser utilizado como template adaptável. Para a proposição do artefato, analisamos o contexto e a viabilidade de sua execução, por meio da implementação de uma instância, utilizando o modelo de desenvolvimento incremental. Por meio deste modelo é possível materializar o artefato em incrementos, focando em partes da arquitetura. Embora não seja obrigatório, a implementação de uma PoC representa ou dá sentido ao artefato gerado que, por sua vez, materializa a viabilidade técnica.

A PoC é um conceito muito utilizado e pode ser implementado de várias formas diferentes, como por exemplo, através de um conceito que lista as tecnologias utilizadas (Padrões, arquiteturas para os executáveis e *frameworks*). Pode ser a modelagem conceitual da solução, utilizando a notação UML e a documentação de *software*, uma simulação ou protótipo não funcional ou executável. Neste último caso, a vantagem aqui é implementar apenas o núcleo do sistema, ao passo que novas funcionalidades serão introduzidas, de acordo com os *feedbacks* coletados e os requisitos que são revisitados. A utilização de PoC permite demonstrar a viabilidade da construção de um sistema utilizando um estilo ou arquitetura.

Neste contexto, apenas os requisitos básicos serão implementados suprimindo outros módulos. O pacote de entrega permite que se possa avaliar a qualidade do produto, as características do código, além de detectar problemas nos níveis de implementação e na modelagem da arquitetura

que deu origem a instância. Segundo Duarte Filho (2016), a desconsideração de requisitos arquiteturais na instanciação parcial de uma arquitetura é importante e relevante, principalmente para o uso genérico. Isto também permite o desenvolvimento de *software* similares ou famílias, reforçando a implementação por incrementos ou partes da arquitetura.

A PoC, desenvolvida para validar a arquitetura apresentada na seção 4.1, compreende a modelagem conceitual utilizando a notação UML e o módulo executável como forma de validação para a arquitetura de referência.

4.5 Visão Geral

Entende-se que a instância ou materialização de uma arquitetura de *software* tem como objetivo atender a determinados requisitos. Isso se deve ao fato de que a instância é especializada, diferentemente da referência que fornece as diretrizes e bases para formalizar a instância. A referência também contribui para que os módulos de terceiros se enquadrem na padronização, possibilitando a interoperabilidade, seja como componentes ou *frameworks*.

A utilização de uma arquitetura de referência abrange também componentes como documentação e diretrizes organizacionais que são geralmente chamados de *frameworks* transversais ou conceituais quando tratam de *design*, conforme apresentamos no capítulo 3 seção 3.8.

Entende-se, basicamente, por componente da arquitetura: os elementos como padrões de implementação, a documentação de *software* e institucional e os módulos isolados que possuam interfaces de acesso.

As interfaces ou portas de acesso permitem que haja comunicação entre os elementos. A linguagem deve ser simplificada para que possa ser utilizada sem que seja necessário muito conhecimento pelos desenvolvedores. Com base nesta abordagem, a representação visual do domínio da aplicação deve passar por um processo de decomposição em áreas de interesse, resultando em uma visão conceitual. Essa visão é fundamental para os projetos de desenvolvimento, especialmente os orientados a objetos.

A Figura 4.6 apresenta, de forma objetiva, os elementos do domínio para o módulo a ser implementado. Nesse sentido, são demonstrados os elementos de *hardware*, incluindo os sensores (câmeras) e o módulo de processamento, além do *overlay* de saída e das mídias para exibição (para-brisa e LCD *Display*).

Decompondo os objetos do domínio somos capazes de descrever as regras de negócios e os seus requisitos, definir as classes conceituais e os objetos individuais que nos interessa para modelar o sistema. O diagrama conceitual também tem como função apresentar as *features* básicas a serem

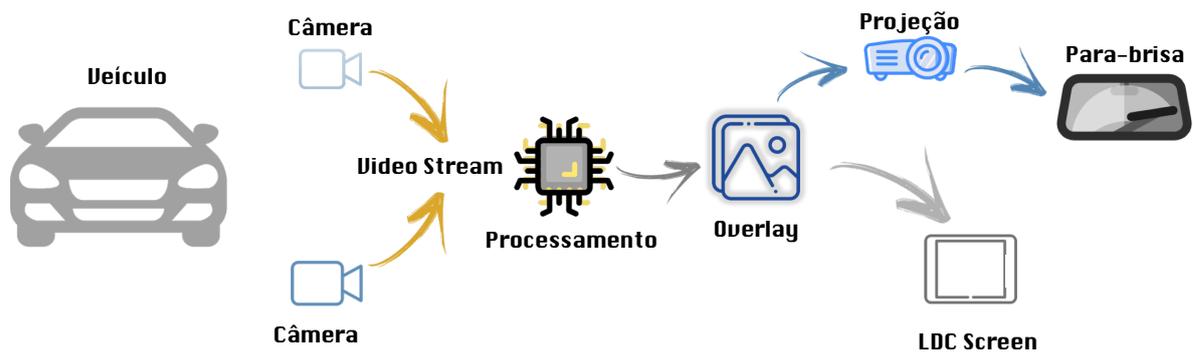


Figura 4.6: Visão Conceitual
Fonte: Própria

implementadas.

Com base na visão apresentada, enumeramos três requisitos, levando em consideração os elementos de *hardware*, abordaremos os requisitos na seção 4.6. No momento, cumpre conceituar os elementos do domínio, conforme mostra a Figura 4.6.

- O **Veículo** pode ser considerado a parte interessada, uma vez que é basicamente a base na qual está a problematização que requer a construção do conceito.
- Os modelos de RA são dependentes da aquisição de vídeo. Neste caso, para o nosso conceito, serão utilizadas duas **câmeras de vídeo** para fornecer a cena em que será aplicado o *overlay* e para implementar as três *features* apresentadas na sessão 4.6.
- O **Processamento** consiste em um conjunto de equipamentos ou *Hardware*, como computadores EMCU e micro-controladores, que atuam no processamento dos dados execução.
- O **Overlay** é uma composição de objetos virtuais gerados a partir dos dados coletados dos sensores integrados ao veículo.
- O **projektor** deve ser utilizado exclusivamente quando a projeção for feita em para-brisa. Neste caso, pode ser utilizado um projetor *laser* ou *led* para exibir o *overlay* sobre a superfície do para-brisa.
- O **para-brisa** compõe o aparato necessário uma das formas ou dispositivos para a RA. Por ser uma superfície transparente, possibilita a integração do mundo real com os objetos virtuais, quando projetados.



Figura 4.7: Visão da área do para-brisa
 Fonte: Própria

- Outra forma bem mais simples para implementar a RA é através de um **monitor/LCD Screen**. Exibe-se o vídeo de uma câmera aplicando o *overlay* sobre o *Video Stream*. A Figura 4.7 apresenta a área de exibição do conceito, complementando a visão contextualizada na Figura 4.6 que mostra o *hardware* e sensores vistos em um esquema funcional.

Registre-se que a figura 4.7 mostra o painel e os dispositivos capazes de apresentar a interface gráfica ou *overlay*, que é a materialização ou instanciação da arquitetura de referência visto na figura 4.8.



Figura 4.8: Projeto conceitual para a interfaces
 Fonte: Própria

A identificação de um conjunto rico de objetos ou de classes conceituais está no cerne da análise, sendo de suma importância para a fase de projeto e implementação. As visões apresentadas

são úteis na fase de análise e *design*. O modelo conceitual evolui para um diagrama de classes contendo a especificação completa dos objetos, incluindo os atributos e as operações das classes.

Apresentaremos na próxima seção os macros requisitos considerando a visão conceitual.

4.6 Requisitos do Conceito

Com os requisitos funcionais, lista-se funções para atender os conceitos de realidade aumentada. Consideramos como *features* básicas apresentadas em AR-HUDs, em camadas ou domínios distintos, o do ADAS e o do HUD.

Requisitos Funcionais:

- **RQF01** - *Lane Departure Warning*. Deve ser exibido um aviso sobre a ocorrência de saída de faixa. O *core* e seus componentes devem prover mecanismos para avisar ao condutor que o veículo está saindo de sua faixa.
- **RQF02** - *Adaptive Cruise Control*. Deve ser exibido continuamente a velocidade do veículo e a distância com o veículo que se encontra à sua frente, informando ou destacando, objetivamente, quando essa distância estiver no *range* ou limiar de segurança, a fim de que o condutor possa ajustar a velocidade.
- **RQF03** - *Intuitive Navigation*. Deve ser exibido graficamente itens (setas), em formato de espinha de peixe, para orientar o condutor e mantê-lo na rota.

Para o desenvolvimento, foi utilizado um conjunto de ferramentas e linguagens de programação, seguindo um processo aplicado ao desenvolvimento de *software*.

A linguagem de programação *python* foi adotada para o desenvolvimento por atender a algumas características que propiciam o desenvolvimento rápido e simplificado. Além disso, tal linguagem possui *toolkits* e pacotes com suporte ao *framework* **QT**¹, que são usados para o desenvolvimento de interfaces gráficas de usuário e aplicativos multiplataforma que são executados nas principais plataformas de *desktop* e na maioria das plataformas móveis ou embarcadas.

O QT fornece componentes de suporte para a criação de componentes em *Qt Modeling Language* (**QML**). A linguagem de marcação QML é uma linguagem declarativa utilizada para projetar aplicativos centrados na interface do usuário. Para projetar os modelos em UML foi

¹O Qt é um kit de ferramentas de *software* livre e de código aberto para a criação de interfaces gráficas de usuário e aplicativos de *cross-platform*.

utilizado o *Enterprise Architect* da *Sparx Systems* que é uma ferramenta de modelagem e *design* visual, baseada nas normas do *Object Management Group* e UML.

Para gerenciar os pacotes de *software* foi utilizado ***autoproj***. O gerenciador de pacotes permite a instalação de *software* em cadeia de maneira simplificada, a partir do código fonte localizado em sistemas de controle de versão, como o *git* ².

O ***autoproj*** também possui suporte ao processo de desenvolvimento orientado a pacotes. Nesse cenário, cada pacote pode ser gerenciado em diferentes repositórios de controle de versão ou distribuídos, tendo fácil integração de sistemas operacionais *linux*, como o *Debian*, o *Ubuntu* and *MacOSX*.

Os códigos fontes dos módulos desenvolvidos estão armazenados na plataforma *Github*³. Todo o processo de sincronização, compilação e *deployment* dos pacotes é gerenciado pelo *autoproj*.

Para compor a prova de conceito, pesquisamos na plataforma de código aberto *Github* projetos de código aberto compatíveis para compor os módulos ou components *3rd Party*. Eventualmente, os módulos devem ser compatíveis ou ajustados para compor a implementação do conceito.

O módulo *Street Lanes Finder - Detecting Street Lanes for Self-Driving Cars*, desenvolvido por [Surma \(2019\)](#), foi selecionado por atender aos seguintes critérios: projeto acadêmico e licenciado sob *MIT License*⁴. O mencionado módulo foi desenvolvido utilizando a linguagem *python* e utilizou os algoritmos da biblioteca para visão computacional *OpenCv*⁵. O *package Street Lanes Finder* foi ajustado para atender ao **RQF001**.

4.7 Visões Arquiteturais

As visões arquiteturais são construídas utilizando uma ADL simplificada e por meio de diagramas estruturais definidos pela UML. A modelagem do sistemas é apresentada em nível estrutural e os elementos que o compõe se relacionam.

As funcionalidades requerem a utilização de câmeras de vídeo, incorporadas ao *hardware* do veículo, e uma unidade de processamento ou computador embarcado. Para este conceito, utiliza-se um visor LCD. A arquitetura prevê, para apresentar a interface no para-brisa, suporte para a utilização de projetores a *laser*.

²Git é um sistema de controle de versão distribuído para rastrear alterações no código-fonte durante o desenvolvimento do *software*.

³<https://github.com/>. O *GitHub* é um serviço de hospedagem para repositórios do tipo *git*.

⁴*MIT License* é uma licença permissiva de *software* livre originada no *Massachusetts Institute of Technology* no final dos anos 80.

⁵Biblioteca de visão computacional de código aberto que fornece funções de programação que visa principalmente a visão computacional em tempo real.

A Figura 4.9 apresenta uma visão geral da arquitetura de *software* e a figura 4.10 mostra a visão funcional proposta para esta solução. A última figura descreve os usos ou componentes e as interfaces de interação entre as entidades e componentes que compõem a aplicação em UML.

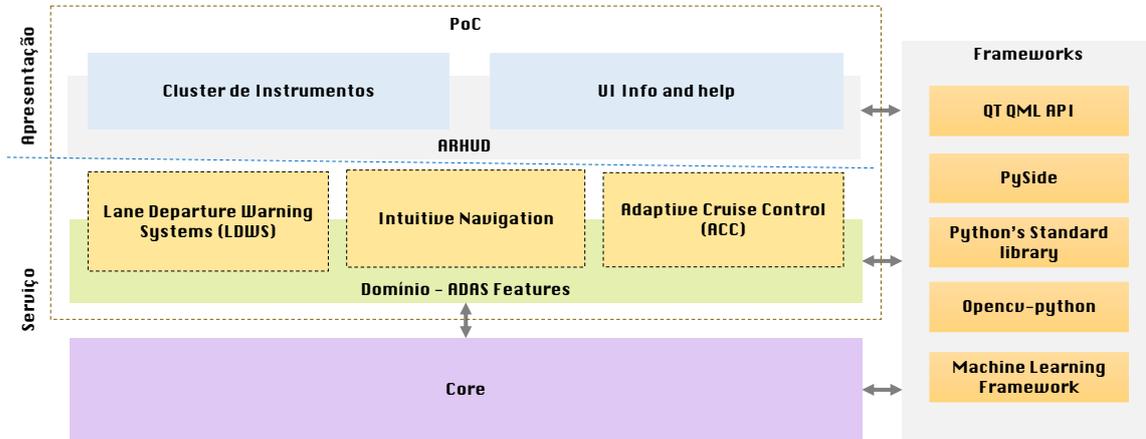


Figura 4.9: Arquitetura de software para o Sistema
 Fonte: Própria

O suporte a projeção é definido de forma abstrata e não aborda ou define especificamente o *hardware* do projetor e os demais itens, como os sensores, que podem inclusive já estar presentes no veículo, como é o caso do GPS. Registre-se que o GPS é fundamental para fornecer os dados que possibilita a localização, além de alimentar o módulo de navegação.

Os domínios *Sense Data Acquisition* e *Análise Data Fusion* são externos e fazem parte de uma arquitetura funcional, conforme mencionamos anteriormente. Destacamos nesses domínios o componente *Data Source* que é uma entidade externa ao sistema conceitual, tendo em vista que provém da parte central de um ADAS ou simplesmente “*Core*”, fornecendo o mesmo o fluxo de dados vindo dos sensores. Representa qualquer mecanismo de leitura ou aquisição de dados proveniente de um item físico.

O **Core** é o modelo funcional desenhado para servir aos módulos que compõem os sistemas de direção assistidas ou os veículos autônomos. Representa uma interface externa que provê um conjunto de funcionalidades aos módulos ou *features* (definidos nos requisitos de *software*, seção 4.6).

O domínio HUD compreende os componentes a serem implementados, uma que vez tomamos como premissa a existência do *Core* e o domínio do ADAS. Cada componente corresponde a um dos requisitos.

A Figura 4.10 apresenta a organização em componentes, identificando as partes do sistema e os subsistemas. A partir desta visão, constrói-se a ideia de implementação, a exemplo dos Cenários

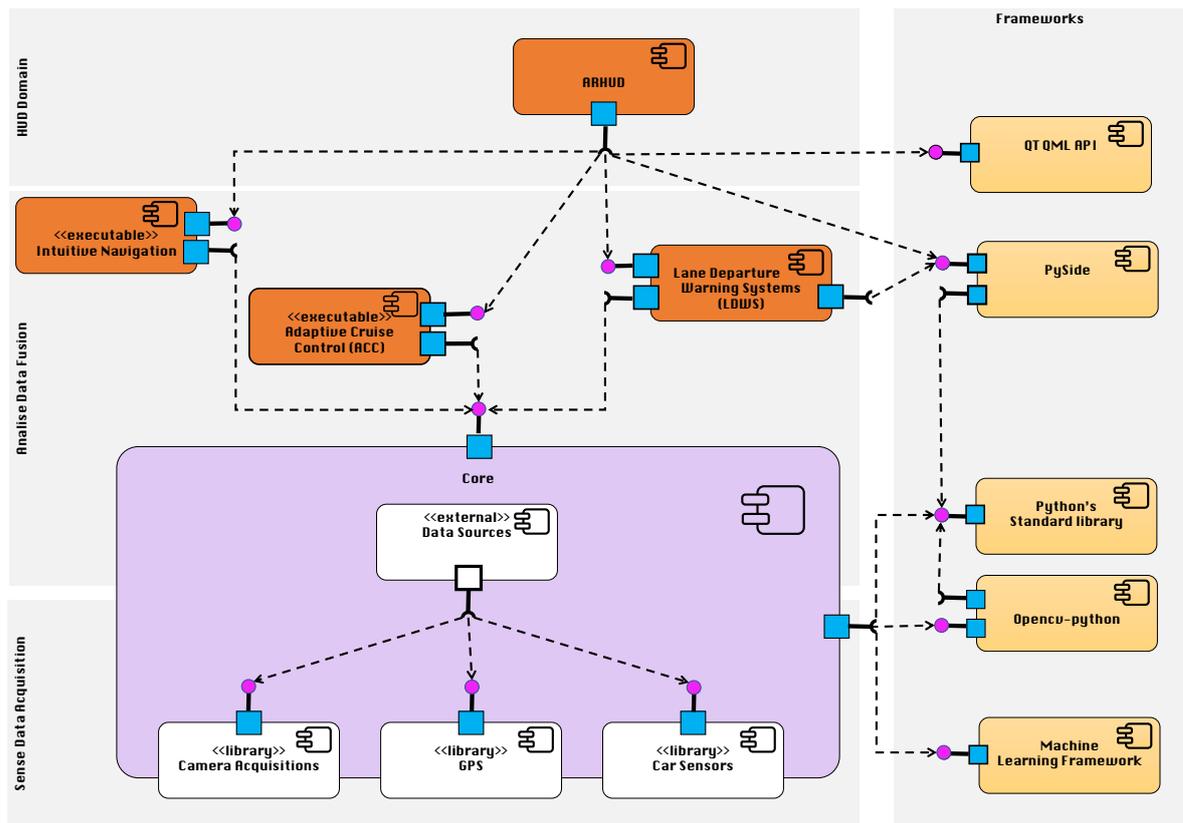


Figura 4.10: Diagrama de componentes, visão por domínios
 Fonte: Própria

de Usos, Diagrama de Classes e *deployment*.

O desenvolvimento PoC se beneficiou da organização e do padrão arquitetural adotado na arquitetura de referência, além do contexto e do domínio do negócio em que ela está inserida.

Os diagramas também foram importantes para a organização dos elementos informacionais e para a definição dos modelos de interação implementado. Verifica-se também que no desenvolvimento a especificação e a modelagem direciona o projetista a criar módulos independentes para o sistema. Essa característica é extremamente importante para o desenvolvimento utilizando o método incremental.

Na próxima seção, a PoC e arquitetura de referência serão avaliadas sob a ótica do desenvolvedor, utilizando o método ATAM para aferir a qualidade, com base em indicadores.

4.8 Análise da Qualidade

A qualidade de um artefato pode ser definida como o grau de usabilidade que o *software* possui ou pela combinação de atributos desejados para ele.

Segundo [Oliveira e Nakagawa \(2009\)](#), considerando-se a relevância das arquiteturas de *software* como a base sobre as quais todos os sistemas são construídos, a avaliação da qualidade para as arquiteturas é fundamental. Nesse sentido, destacam que a ajuda de especialistas possibilita a identificação dos pontos de melhorias e aspectos não tratados, além de indicar os prováveis problemas no produto final. Com efeito, é certo que conhecer estas informações permite ações diversas que podem melhorar a solução final, refinando ou reestruturando, caso haja necessidade.

Lima, [Lima, Carniello e Carniello \(2014\)](#) afirmam que a qualidade de *software* pode ser definida como o grau em que se possui uma desejada combinação de atributos. O objetivo neste caso é que os requisitos de qualidade satisfaçam basicamente dois grupos: a qualidade de desenvolvimento (Manutenibilidade, Compreensibilidade e Portabilidade) e a qualidade operacional (Desempenho e Usabilidade).

As técnicas para avaliação e análise são variadas e podem ser realizadas por comparações ou medindo os atributos de qualidade de forma global, estabelecendo os pontos fortes e os fracos.

Desenvolvido por [Kazman et al. \(1998\)](#), o ATAM fornece uma maneira, baseada em princípios para avaliar a adequação de uma arquitetura de *software* com relação a vários atributos de qualidade concorrentes, a saber: modificabilidade, segurança, desempenho, disponibilidade e assim por diante. A avaliação com o ATAM produz como saída um conjunto de questões e preocupações sobre a arquitetura ([CORRÊA, 2017](#)).

O processo pode ser realizado de três formas, segundo explica [Bass, Clements e Kazman \(2012\)](#): validação do arquiteto, validação por pares e validação por consultores externos. Os citados autores destacam que o ATAM foi projetado para que os avaliadores não precisem estar familiarizados com a arquitetura ou com os objetivos de negócio. Sinalizam, ainda, que não há a necessidade de haver implementação ou partes interessadas. O método pode ser aplicado em domínios que podem variar do campo automotivo ao financeiro.

É importante ressaltar que a combinação de diferentes métodos, abordagens e técnicas são práticas importantes para uma avaliação mais completa de arquiteturas, pois cada uma delas possui seus pontos fortes e limitações ([OLIVEIRA; NAKAGAWA, 2009](#)). O código gerado no processo de implementação para um *software* não pode ser considerado de qualidade até que outro programador com experiência analise.

O método ATAM atua com a proposta de três grupos profissionais para avaliação, pressupondo

todo processo de desenvolvimento da arquitetura. A avaliação da qualidade pode ser realizada considerando o mapeamento de requisitos não funcionais e os atributos de qualidade, uma vez que afetam diretamente as decisões de desenvolvimento e direcionam o ciclo de vida do *software*. Segundo [Paula et al. \(2015\)](#), o método tem como objetivo avaliar as consequências das decisões arquiteturais frente aos atributos de qualidade dos requisitos, tendo em vista que ao se modificar uma característica de qualidade outras serão afetadas.

Os atributos de qualidade, apenas por sua definição, não bastam para justificar ou qualificar, pois são inerentes aos processos da engenharia de *software*. Entretanto, a avaliação deles visa, objetivamente, verificar se o artefato proposto é capaz de atender às funcionalidades desejadas e se respeita os atributos definidos na árvore de atributos do processo ATAM, definidos por [Bass, Clements e Kazman \(2012\)](#). Tal abordagem se concentra nos aspectos técnicos. O ATAM foca na identificação dos objetivos de negócio que levam aos atributos de qualidade.

A avaliação da arquitetura pode ser realizada nos estágios iniciais ou finais, segundo [Guimarães \(2008\)](#). Quando realizada nos estágios iniciais, é feita com base nos fragmentos da descrição arquitetural, geralmente utilizando questionários, *Checklists* e métodos baseados em cenários. Os cenários são amplamente utilizados, pois não há muitas informações disponíveis para realizar medições ou simular comportamentos.

Quando a avaliação é aplicada na fase final, o projeto detalhado já está disponível. Então pode haver métricas concretas e pode-se utilizar técnicas ou métricas para os atributos de qualidade. Segundo [Guimarães \(2008\)](#), deve-se usar ambas as técnicas para assegurar a garantia de qualidade.

O presente trabalho científico adotou o processo de avaliação com foco apenas nos estágios finais. Com efeito, os atributos de qualidade devem ser entendidos através dos cenários descritivos para avaliação dos atributos de qualidade ([LIMA; CARNIELLO; CARNIELLO, 2014](#)).

O método ATAM consiste em quatro fases, conforme [Kazman et al. \(1994\)](#) e [Kazman et al. \(1998\)](#): apresentação, investigação e análise, testes e relatórios. Cada uma destas fases é dividida em nove etapas menores ([PAULA et al., 2015](#)).

A apresentação trata da troca de informações entre as apresentações do método. A investigação e a análise focam na avaliação dos requisitos para os atributos chaves de qualidade versus as abordagens arquiteturais. A fase de testes compara os resultados das etapas anteriores e o relatório sumariza os resultados do ATAM ([LIMA; CARNIELLO; CARNIELLO, 2014](#)), conforme apresenta a Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Análise da qualidade segundo o método ATAM

Etapa	Fase	Descrição dos Passos
I	Apresentação	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apresentação do método aos interessados, equipe de arquitetos, desenvolvedores, gerentes e testadores. 2. Modelo de negócio - Nesta etapa são consideradas as diretrizes primárias previstas na arquitetura, neste aspecto elencamos Bass, Clements e Kazman (2012). 3. A arquitetura atual é descrita como a arquitetura proposta, listando as diretivas de negócio, investigação e análise. A arquitetura concreta é apresentada, enfatizando os direcionados do negócio e os indicadores levam em consideração a etapa anterior. 4. Identificação das abordagens arquiteturais - são identificados, mas não são analisados nesta fase.
II	Investigação e análise	<ol style="list-style-type: none"> 5. Geração da árvore de atributos da qualidade – tem por objetivo reunir os fatores ou critérios de qualidade (desempenho, segurança, modificabilidade). São caracterizados com base em cenários concretos, traduzidos em decisões ou respostas. 6. Considera-se as abordagens arquiteturais para um ou “n” cenários possíveis. Deve ser executada e documentada as análises com as decisões para os riscos, pontos de atenção e prioridades.
III	Testes	<ol style="list-style-type: none"> 7. Com base nos cenários gerados na fase anterior (arvore de cenários), novos cenários são introduzidos através de <i>brainstorm</i>. 8. As abordagens arquitetônicas são reafirmadas, os cenários são considerados casos de teste. Nesta etapa, faz-se o registro dos pontos de <i>trade-off</i>.

Continua na próxima página

Tabela 4.2 – Continuação

Etapa	Fase	Descrição dos Passos
IV	Relatórios	9. Resultados - as informações coletadas, com a aplicação do método (estilos, cenários, especificidades, riscos e pontos de reestruturações), são apresentadas como resultados, através de um relatório detalhando a proposta e as estratégias da solução.

Fonte: Adaptado de Paula *et al.* (2015), Bass, Clements e Kazman (2012), Lima, Carniello e Carniello (2014)

O ATAM foi adotado no escopo desta pesquisa, pois analisa o quão o artefato de *software* satisfaz aos objetivos de qualidade. A análise apresenta apenas um cenário, baseado na aplicação como serviços.

Devido às características e contexto da aplicação implementada optou-se por priorizar os aspectos técnicos e atributos de qualidade. Outro ponto importante nessa análise é a aplicação do método iniciado na segunda etapa, pois os aspectos tratados na primeira etapa não tem relevância visto que esta pesquisa tem cunho acadêmico e não possui necessariamente elementos como, *stakeholders*.

A seguir as fases e os passos do método de avaliação ATAM para arquitetura aplicado a PoC:

No passo 01 – Etapa de apresentação: Envolve gerentes de áreas, líderes, técnicos, desenvolvedores e a gestão de projetos. O objetivo é explicar o método e os benefícios obtidos com a aplicação. Por se tratar de um projeto acadêmico não há partes interessadas além do pesquisador/arquiteto, caracterizando-se como avaliação do arquiteto. A aplicação do método foi elaborada com base na PoC e implementada no contexto do autor. Acredita-se que a aplicação do método, customizado ao contexto, seja suficiente para evidenciar a viabilidade de utilização e determinar os atributos de qualidade para o artefato.

Passo 02 – Modelos e direcionadores de negócio: nesta fase, adotou-se características inerentes aos sistemas de assistência à direção (desempenho e disponibilidade, interoperabilidade, manutenibilidade, modularidade e usabilidade), considerando as diretrizes apontadas por Bass, Clements e Kazman (2012) .

Passo 03 – Apresentação da arquitetura: utilizou-se, neste trabalho, a arquitetura de referência apresentada no capítulo 4.

A arquitetura proposta se enquadra no tipo cinco segundo a classificação de (ANGELOV; GREFEN; GREEFHORST, 2009) (seção 3.2). O padrão arquitetural distribuído em “*n*” camadas

onde o “*core*” representado por um sistema composto por sistemas de percepção, trajetória, controle sobre uma camada de decisão e controle que fornece dados para consumo processamento e disponibilização de *features* ADAS.

O escopo da PoC é implementar um conjunto de *features* básicas apresentadas em um sistema AR-HUD, no domínio dos sistemas ADAS (seção 4.6).

As principais estruturas propostas são:

- Camada de apresentação: que compreende para-brisa, *display* e *cluster* de instrumentos.
- Camada de serviço: que abrange os módulos de decisão e controle, além de módulos de serviços providos pelas *features* ADAS.
- Camada de aplicação: agrega os módulos que coletam e processam os dados para as camadas acima.

As mencionadas estruturas foram apresentadas na Figura 4.5 e discutidas na seção 4.3.

Passo 04 – Investigação e análise: A abordagem considerada para a PoC preza por uma aplicação baseada em serviços localizada em um ambiente de execução centralizado. O sistema é centrado em componentes, entretanto os componentes de negócio não ficam restritos aos módulos localizados acima da camada de decisão e controle. As camadas foram apresentadas na seção 4.3 Figura 4.5.

As linguagens utilizadas para implementar os módulos são diferentes em cada uma das camadas por questões de desempenho. Nas camadas mais baixas (inferiores) utiliza-se *c* e *c++* nas camadas superiores o *python* e utilizado por sua facilidade de uso portabilidade.

Passo 05 - Geração da árvore de atributos da qualidade: para isso, listou-se e quantificou-se os requisitos não funcionais (Requisitos não Funcional (RNF)) e os fatores de qualidade esperados na aplicação, de acordo com os atributos, desempenho e disponibilidade, interoperabilidade, manutenibilidade, modularidade e usabilidade (vide Apêndices A e B).

Para uma das categorias de requisitos, atribuímos um grau de importância, utilizando uma escala numérica e um peso, variando de um (menos importante) a cinco (mais importante), e considerando as expectativas para o aplicativo. O cálculo utilizado para definir o indicador é expresso pela equação:

$$i = q \times p \quad (4.1)$$

Onde *i* é o indicador, *q* é a quantidade de RNF e *p* é o peso (LIMA; CARNIELLO; CARNIELLO,

2014).

Tabela 4.3: Cálculo dos Indicadores

n°	RNF	Quantidade	Peso (1-5)	Indicador
1	Desempenho	6	5	30
2	Disponibilidade	6	5	30
3	Interoperabilidade	5	3	18
4	Manutenibilidade	4	4	16
5	Modularidade	6	4	24
6	Usabilidade	4	4	16

Fonte: Própria.

Analisou-se o cenário de uso para a ocorrência dos requisitos de qualidade, com foco na importância, no contexto, comportamento e resultados esperado para o aplicativo. Com esta abordagem, obteve-se a tabela 4.3 com os indicadores RNF.

No passo 06, analisou-se as abordagens arquiteturais, priorizando o cenário apresentado na etapa para uma aplicação baseada em serviços e em um ambiente de execução centralizado.

Durante este passo discute-se os riscos potenciais, além de pontos de sensíveis da aplicação (atributos relacionados a segurança e a disponibilidade). Não elicitamos aspectos de segurança para a PoC, quanto aos riscos potenciais para a aplicação em um ambiente centralizado questões de desempenho e disponibilidade são os itens com mais criticidade.

No passo 07 avaliamos e priorizamos o cenário, considerando os maiores índices de indicação apresentados na tabela.

No passo 08 revisou-se os cenários e a abordagem arquitetural discutido no passo 06, com o objetivo de comparar com outros cenários. Entretanto, a abordagem adotada é adequada para o conceito implementado.

Passo 09 - Apresentação dos resultados: a abordagem arquitetural escolhida e o padrão arquitetural distribuído em “n” camadas se adequa ao ambiente centralizado e baseado em componentes, restringindo os componentes de negócio as suas respectivas camadas.

4.9 Considerações

O estilo arquitetural centrado em serviços ou micro serviços, adotado para implementar a PoC, permite que os módulos sejam construídos em linguagens diferentes e que possam prover dados através de interfaces como *Transmission Control Protocol (TCP)*, *Inter Process Communication (IPC)* ou *linkagem* direta de bibliotecas dinâmica para executáveis construídos em *c* e *c++*. Os módulos construídos em *Python* são adicionados como serviços nas camadas superiores e dão suporte a camada de interface.

Esta abordagem apresenta características como desempenho, interoperabilidade, modularidade e manutenibilidade, o que atende aos requisitos de qualidade de forma objetiva e assertiva.

Assemelha-se a um sistema monolítico distribuído, tendo em vista a distribuição do ambiente de execução. Contudo, o estilo monolítico não é adequado para a aplicação. O ambiente para um sistema ADAS e autocontido, necessitando de pouca informação de servidores externos e processos complexos, a exemplo da percepção para geração do ambiente, tem como premissa consumir dados dos sensores, gerando um modelo 3D temporário. Os serviços de navegação, por sua vez, podem fazer uso de mapas *online*, por meio de *web services* externos.

O modelo de serviços e micro serviços possibilita o desenvolvimento de sistemas independentes, dando agilidade ao desenvolvimento. Possibilita, ainda, o *deploy* de módulos no estilo *hot swap*. Ou seja, realiza-se o *deploy* apenas de um ou demais módulos, sem a necessidade de *deploy* para todo o sistema.

O método ATA, segundo [Lima, Carniello e Carniello \(2014\)](#), consegue abordar os atributos de qualidade e possibilita avaliá-los simultaneamente, detectando perdas e ganhos (o *trade-off*), tendo em vista o balanceamento da entrega dos requisitos, segundo a prioridade deles para o negócio.

A aplicação do método ATA para avaliação da arquitetura de referência proposta nesta pesquisa foi realizado utilizando uma PoC implementada. Em outros termos, utilizou-se o modelo de desenvolvimento incremental. Com base no método, analisamos as características propostas, as indicações e o padrão arquitetural. A adoção da arquitetura e as decisões de implementação em módulos de serviços e micro serviços distribuídos em camadas, justificou-se diante do fato de que a aplicação gerada consegue atender aos direcionadores de negócio e aos atributos de qualidade, conforme os indicadores apresentados na Tabela 4.3.

Os atributos de qualidade são itens difíceis de se lidar, tendo em vista que afetam os outros de formas diferentes, além de afetarem o sistema inteiro. Esta característica dificulta que se possa restringir atributos como segurança ou desempenho a um único ponto do sistema. Quando lidamos com atributos de qualidade consideramos importante abordar o sistema como um todo,

observando os atributos por ângulos ou facetas diferentes.

Considerações Finais

No presente capítulo retomaremos brevemente o contexto no qual esta pesquisa está inserida, através de uma visão geral do trabalho realizado. Nesse sentido, apresentaremos as considerações e resultados obtidos com a construção da arquitetura de referência. Serão demonstradas também as contribuições e as sugestões para pesquisas futuras a serem desenvolvidas em relação ao tema.

Esta pesquisa expõe no capítulo 2 uma revisão sistemática da literatura, através dos cenários apresentados em diferentes áreas, que norteiam a especificação e construção da arquitetura de referência no domínio dos sistemas de assistência à direção utilizando realidade aumentada. Além disso, os resultados contribuíram com subsídios, requisitos técnicos, funcionais e de *design* para a exibição das informações vindas dos sistemas de direção assistidas e elaboração do arquitetura de referência.

Discutimos no capítulo 3, os conceitos gerais para as arquiteturas de *software* e arquiteturas de referência, segundo a disciplina da engenharia de *software*. Identificamos, ainda, as principais arquiteturas de referência e a utilização em sistemas de assistência à direção. Nesse cenário, discutimos os tipos, os benefícios e os cenários de uso e listamos os requisitos técnicos. Dentre os conceitos, abordamos as arquiteturas de referência, os modelos de referência e os padrões arquiteturais, os tipos de arquitetura ou foco, como no caso das arquiteturas para LPS.

No que tange, ainda, os conceitos, apresentamos os tipos básicos de *framework* que compõem uma arquitetura. Os *frameworks* de aplicação podem ser um módulo executável. O *guideline*, por sua vez, é o que define os conceitos gerais para modelagem da arquitetura, *design* e documentação. Nesta perspectiva, acrescentou-se o *guideline* para atuar como *framework* conceitual de apoio ao estabelecimento de novas arquiteturas de referência, contribuindo com a qualidade no desenvolvimento e com as principais técnicas para avaliação de uma arquitetura.

No capítulo 4 apresentamos a especificação de uma arquitetura de referência capaz de gerar instâncias concretas para interfaces AR-HUD para sistemas de assistência, utilizando realidade aumentada.

Foram analisadas no referido capítulo as características, as indicações e propostas para a implementação da arquitetura de referência utilizando uma PoC. Os métodos de avaliação ATAM foi utilizado para validar um conjunto de atributos de qualidade, com base em requisitos não funcionais. A avaliação foi realizada sob a ótica do arquiteto e segundo as etapas do método ATAM voltados às necessidades da PoC. Os resultados obtidos consideram a arquitetura adequada, de acordo com os critérios esperados com a adoção da arquitetura.

A abordagem adotada não dispensa a avaliação por pares ou por consultores especializados utilizando o método ATAM. Faz-se necessária, ainda, a validação por desenvolvedores independentes que possam propor melhorias, além de outras abordagens para o padrão arquitetural.

Somente através da implementação ou instanciação da arquitetura é possível observar a materialização da modelagem. Outrossim, a percepção dos resultados só é possível com a operação no ambiente real, conforme observam [Kazman e Cervantes \(2016\)](#). Entretanto há a uma série de necessidades e recursos envolvidos, por isto, optamos por construir uma PoC utilizando o modelo incremental. Embora os resultados não compreendam uma versão funcional para toda a arquitetura, a PoC demonstra a viabilidade técnica, considerando o estágio embrionário da aplicação.

5.1 Caracterização da Pesquisa

Esta pesquisa abordou uma área muito vasta do conhecimento, com foco nos domínios da realidade aumentada na indústria automobilística e na disciplina da engenharia de *software* no que tange a construção, implementação validação e avaliação qualitativa para uma arquitetura de referência. O tema abordado tem se destacado no cenário atual, tendo em vista que a realidade aumentada na indústria automobilística vem sendo utilizada para prover melhorias de segurança e entretenimento, além de novas interfaces e formas de interação entre o condutor e veículo.

Neste contexto, há muitos desafios e oportunidades no sentido de se estabelecer diretrizes e arquiteturas de referência que sejam adequadas a este domínio com o objetivo de auxiliar o desenvolvimento de sistemas. As arquiteturas de referência orientam e servem de suporte aos desenvolvedores na implementação de instâncias de *software* para arquiteturas concretas e no desenvolvimento de interfaces, a exemplo de interfaces *Heads-up Display* utilizando as técnicas de RA.

Considera-se que a arquitetura de referência é um tipo especial de arquitetura e se destaca pela capacidade de capturar a essência das arquiteturas de sistema para um determinado domínio, englobando conhecimento de como projetar, de como padronizar ou desenvolver arquiteturas concretas e instâncias de *software* em um domínio específico. Segundo [Feitosa \(2013\)](#), elas têm sido relevantes e crescido cada vez mais nos últimos anos, gerando inúmeras oportunidades, em particular para a automação dos veículos autônomos e para sistemas de assistência à direção.

o presente trabalho teve como objetivo especificar uma arquitetura de referência que, utilizando realidade aumentada, seja capaz de conceber soluções no domínio de sistemas de assistência à direção. A pesquisa se concentra na utilização do design abstrato e arquitetural e nos elementos de *hardware* e *software* que podem compor o ambiente de projeção para realidade aumentada.

Como subprodutos do objetivo geral, nos objetivos específicos desta pesquisa caracterizamos o conhecimento atual sobre o tema AR-HUD em sistemas de assistência à direção, segundo o estado da arte e da técnica. Destacamos que a aplicação do conceito AR-HUD e FW-HUD em sistemas de assistência a direção está em ampla expansão na indústria automotiva e tem sido abordada de forma interdisciplinar. Além disso, apresenta uma gama de oportunidade, tornando o campo de pesquisa bem amplo em áreas, como *design* de interface, psicologia cognitiva, computação, robótica, física e engenharia.

Identificamos as principais arquiteturas de referência e a utilização em sistemas de assistência à direção. Verificamos, ainda, a existência de uma carência quanto às arquiteturas de referência e os modelos arquiteturais para padronizar e guiar as organizações na construção dos sistemas de assistência à direção e interfaces para AR-HUD. Embora a indústria automotiva possua um conjunto normativo bem rígido e bem modularizado, há poucas referências para normatizar ou guiar os desenvolvedores quanto à construção de interfaces para AR-HUD e FW-HUD, tendo em vista o vasto número de informações que podem ser apresentados aos condutores.

Dentre os conteúdos encontrados e discutidos neste trabalho, as arquiteturas funcionais modularizadas não abordam as questões de *User Experience (UX)* e *design*, grau de experiência ou arquiteturas de referência voltadas para o desenvolvimento de *software*.

Especificamos uma arquitetura de referência para interfaces AR-HUD para sistemas de assistência utilizando realidade aumentada. A definição da arquitetura de referência compreende os elementos de *software* e as relações entre eles. O artefato proposto reúne conhecimentos especializados para que os desenvolvedores possam extrair diretrizes e conceitos de *design*, padrões para construir instâncias concretas, além de interfaces AR-HUD.

A especificação prevê módulos independentes, conforme as definições para arquiteturas funcionais, agrupados de forma que existam portas de conexão ou interfaces desacopladas entre os módulos. A ideia é explorar as oportunidades e conduzir os utilizadores a utilizar as tecnologias de realidade aumentada, visão computacional e inteligência artificial, como itens a serem incorporados às arquiteturas concretas, além de incentivar o uso de novas tecnologias que possam melhorar a coleta e análise de dados, a exibição de informações em interfaces visuais e na observação do comportamento do condutor.

Como parte da pesquisa, foram apresentadas a construção de uma PoC para validar a arquitetura de referência e demonstrar a implementação dos módulos e a utilização da arquitetura proposta. O desenvolvimento da PoC focou na materialização de uma parte da arquitetura ou núcleo do sistema para que novas funcionalidades possam ser introduzidas de acordo com os *feedbacks* e com revisões dos requisitos.

Além disto, foi apresentado também uma avaliação da arquitetura sobre a ótica do arquiteto,

utilizando adaptações do modelo ATAM proposto por Bass, Clements e [Bass, Clements e Kazman \(2012\)](#). Com a implementação demonstramos a facilidade de manutenção evolutiva dos módulos e da aplicação como base no cenário de micro serviços. Identificamos os vários domínios que fazem parte do contexto da aplicação.

Os resultados esperados para a arquitetura de referência definida vão de encontro à necessidade de arquiteturas de referência no domínio da indústria automotiva e da realidade aumentada. No processo de validação também ficou evidenciado as potenciais melhorias para os atributos de qualidade que poderão ser atendidas em trabalhos futuros.

Entende-se que a qualidade de uma arquitetura de referência, assim como da instância, não está apenas nas funcionalidades. Nesse sentido, é certo que há outros aspectos a serem levados em consideração como por exemplo, o esforço para desenvolver a instância e para manter os produtos gerados sempre atualizados com a inclusão de novas *features*.

O método utilizado para a validação da qualidade, embora seja muito utilizado pela literatura, pode não abarcar todas as características e atributos, tendo em vista que não existem mapeamentos perfeitos. Além disso, é certo que um atributo pode exercer influência sobre outro e características antagônicas presentes podem interferir no resultado do produto final.

5.2 Contribuições

Como principal contribuição desta pesquisa, destaca-se o estabelecimento de uma arquitetura de referência para orientar e apoiar desenvolvedores na implementação e na construção de arquiteturas concretas e no desenvolvimento de interfaces *Heads-up Display*. Os modelos de abstração permitem representar a complexidade dos sistemas atuais. Desta forma, espera-se que a solução apresentada possibilite o crescimento das estratégias de reúso de componentes, melhorias na estruturação de sistemas além de ganhos com a documentação para os artefatos.

Outro ponto importante é a estratégia modular que complementa a metodologia adotada pela indústria automobilística para incluir, de forma significativa, os avanços tecnológicos e gerenciais.

Entre as contribuições para disciplina da engenharia de *software* estão as definições para o desenvolvimento de arquiteturas de referência e as soluções adotadas para a problemática que envolve os conceitos para projetar e implementar uma instância concreta. Neste contexto a pesquisa contribui com a arquitetura ou artefato gerado e com o processo que foi baseado nos métodos utilizados pela engenharia de *software*, compreendendo construção e validação para arquiteturas de referência.

Isto posto, buscou-se, com o desenvolvimento desta pesquisa, contribuir com as comunidades de

engenheiros, arquitetos de *software* e desenvolvedores, através do panorama e da distribuição dos artefatos e códigos fontes produzidos sob licenciamento livre, com o objetivo de estimular evoluções para a arquitetura de referência e os artefatos.

Concluimos que, por tratar-se de um tema de amplo alcance na sociedade e principalmente na indústria automotiva, a arquitetura de referência proposta atende a escopos diferentes, resultando em implementações diversas. Testes futuros podem fornecer dados e melhorar o desenvolvimento de sistemas autônomos e semi autônomos em condições controladas, em simuladores, emulando situações de direção com foco em provar a efetividade da arquitetura de referência, além de possibilitar a melhora na experiência de condução.

5.3 *Trabalhos Futuros*

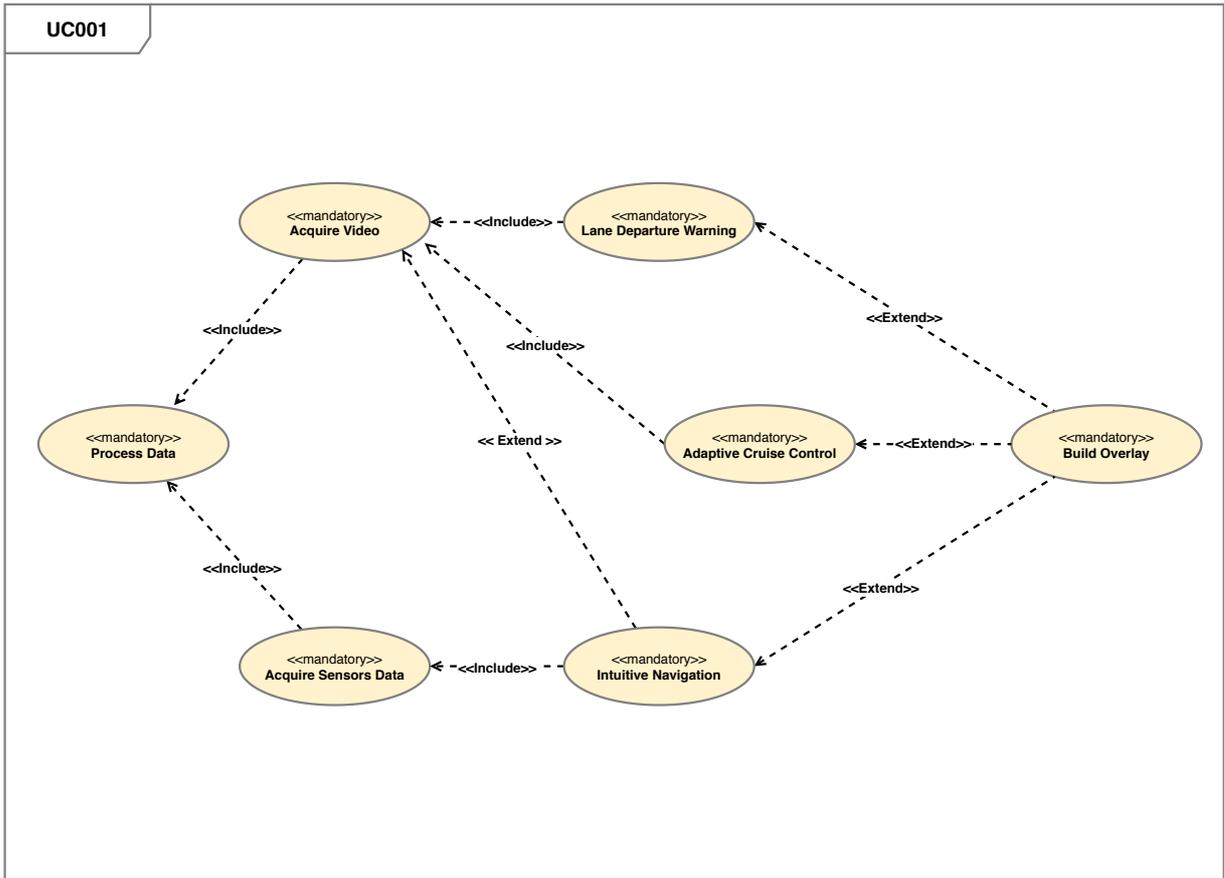
O estado da arte para a área de pesquisa e de aplicação da realidade aumentada na indústria automobilística apresenta inúmeros desafios em aberto em áreas distintas que foram identificados na revisão sistemática, na revisão bibliográfica, na concepção da arquitetura de referência e no projeto conceitual.

Uma vez que a proposta descrita nesta pesquisa tem escopo e restrições bem definidas, diversas possibilidades não foram incluídas. Além disso, outras sub áreas de pesquisa que tratam de temas específicos como segurança, aspectos psicológicos e cognitivos, grau de experiência do usuário quanto ao *design*, não foram incluídas. Assim, há muitas oportunidades de melhoria e evoluções para a arquitetura proposta. Elencamos os seguintes itens que podem complementar e melhorar a arquitetura de referência:

- Aplicação de padrões de projeto como parte da arquitetura de referência. Entendemos que o reúso e a aplicação de padrões de projeto é uma oportunidade para resolução de problemas técnicos comuns ou recorrentes dentro dos modelos de implementação. Aplicação dos padrões de projeto pode melhorar o desempenho e fornecer interfaces mais robustas para a integração de módulos e *frameworks*.
- Construção de um *framework UX* para incorporar a arquitetura de referência, de modo a facilitar o desenvolvimento de interface, e conseqüentemente, incluir métricas e ferramentas para melhorar o grau de experiência dos condutores.
- Pesquisar as principais características que devem ser observadas como referências e quais as arquiteturas de referência existentes que promovem um padrão de implementação em que cada desenvolvedor possa realizar sua implementação, mantendo a interoperabilidade entre os componentes.
- Reavaliação da arquitetura de referência proposta com o objetivo de refinar o artefato e

obter um nível maior de qualidade, também pode ser conduzida uma nova avaliação da qualidade utilizando consultores especializados ou ainda desenvolvedores, adaptando um dos métodos ATAM ou SAAM.

Caso de Uso - UC001



Análise dos Caso de Uso versus os requisitos não funcionais

User Case (UC) vs Requisitos não Funcionais (RNF)

N°	UC	RNF					
		Desempenho	Disponibilidade	Interoperabilidade	Manutenibilidade	Modularidade	usabilidade
1	<i>Acquire Video</i>	x	x	x		x	
2	<i>Acquire Sensor Data</i>	x	x	x		x	
3	<i>LDW</i>	x	x		x	x	x
4	<i>ACC</i>	x	x	x	x	x	x
5	<i>Intuitive Navigation</i>	x	x	x	x	x	x
6	<i>Build Overlay</i>	x	x	x	x	x	x

Fonte: Própria.

Visão dos Módulos

EXPLORER

> OPEN EDITORS

EXPLORER






- > **AUTOPROJ (WORKSPACE)**
 - > **autoproj (buildconf)**
 - > overrides.d
 - > remotes
 - bootstrap.sh
 - init.rb
 - manifest
 - overrides.rb
 - > **concept.demo (package set)**
 - > autobuild
 - > autoproj
 - > **manifests**
 - </> concept_demo_arhud.xml
 - </> concept_ldws.xml
 - </> concept_video_provider.xml
 - </> get_pip_python3.xml
 - base.osdeps
 - concept.autobuild
 - concept.osdeps
 - defaults.osdeps
 - init.rb
 - LICENSE
 - overrides.rb
 - python.osdeps
 - README.md
 - source.yml
 - > concept_demo_arhud
 - > concept_ldws
 - > concept_video_provider
 - > get_pip_python3

Código Fonte

```
1 #!/usr/bin/env python3
2 # -*- coding: utf-8 -*-
3
4 import os
5
6 from PySide2 import QtCore
7
8 class VideoUI(QtCore.QObject):
9     textChanged = QtCore.Signal(str)
10
11     def __init__(self, parent=None):
12         QtCore.QObject.__init__(self, parent)
13         self.m_text = ""
14
15     @QtCore.Property(str, notify=textChanged)
16     def text(self):
17         return self.m_text
18
19     @text.setter
20     def setText(self, text):
21         if self.m_text == text:
22             return
23         self.m_text = text
24         self.textChanged.emit(self.m_text)
25
26     @QtCore.Slot(str)
27     def test_slot(self, string):
28         print(string)
29
```

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 import os
4 import cv2
5 import glob
6 import subprocess
7 import numpy as np
8
9 from matplotlib import pyplot as plt
10
11 class StreetLdwsFinder:
12     "Lane Departure Warning System "
13
14     def __init__(self, debug=False):
15         self.DEBUG = debug
16         print ("Street Ldws Finder start")
17         print ("DEBUG ", self.DEBUG )
18
19     def plot_image(self, image, title):
20         plt.imshow(image, cmap=plt.cm.gray)
21         plt.title(title)
22         plt.show()
23
24     def save_image(self, image, title):
25         cv2.imwrite(title, image)
26
27     def grayscale(self, image):
28         grayscale_image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
29         if self.DEBUG:
30             self.plot_image(grayscale_image, "grayscale")
31
32         return grayscale_image
33
34     def blur(self, image):
35         blur_image = cv2.GaussianBlur(image, (3, 3), 0)
36         if self.DEBUG:
37             self.plot_image(blur_image, "blur")
38
39         return blur_image
40
41     def canny(self, image):
42         canny_image = cv2.Canny(image, 100, 150)
43         if self.DEBUG:
44             self.plot_image(canny_image, "canny")
45
46         return canny_image
47
48     def roi(self, image):
49         # Front bumper compensation
50         bottom_padding = 100
51         height = image.shape[0]
52         width = image.shape[1]
53         # FYI, below values are highly dependant on the camera calibration
54         # i.e what part of the road is actually being captured
55         bottom_left = [0, height-bottom_padding]
56         bottom_right = [width, height-bottom_padding]
57         top_right = [width*1/3, height*1/3]
58         top_left = [width*2/3, height*1/3]
59         vertices = [np.array([bottom_left, bottom_right, top_left,
60 top_right], dtype=np.int32)]
```

```

60     mask = np.zeros_like(image)
61     cv2.fillPoly(mask, vertices, 255)
62
63     if self.DEBUG:
64         self.plot_image(mask, "mask")
65
66     masked_image = cv2.bitwise_and(image, mask)
67
68     if self.DEBUG:
69         self.plot_image(masked_image, "roi")
70
71     return masked_image
72
73     def merge_lines(self, image, lines):
74         if len(lines) > 0:
75             slope, intercept = np.average(lines, axis=0)
76             y1 = image.shape[0]
77             y2 = int(y1*(1/2))
78             x1 = int((y1 - intercept)/slope)
79             x2 = int((y2 - intercept)/slope)
80             return np.array([x1, y1, x2, y2])
81
82     def averaged_lines(self, image, lines):
83         right_lines = []
84         left_lines = []
85
86         for x1,y1,x2,y2 in lines[:, 0]:
87             parameters = np.polyfit((x1, x2), (y1, y2), 1)
88             slope = parameters[0]
89             intercept = parameters[1]
90             if slope >= 0:
91                 right_lines.append([slope, intercept])
92             else:
93                 left_lines.append([slope, intercept])
94
95         left = self.merge_lines(image, left_lines)
96         right = self.merge_lines(image, right_lines)
97
98         return left, right
99
100     def hough_lines(self, image, rho, theta, threshold, min_line_len,
101 max_line_gap):
102         lines_image = np.zeros((image.shape[0], image.shape[1], 3),
103 dtype=np.uint8)
104         lines = cv2.HoughLinesP(image, rho, theta, threshold, np.array([]),
105 minLineLength=min_line_len, maxLineGap=max_line_gap)
106
107         if lines is not None:
108             lines = self.averaged_lines(image, lines)
109             for line in lines:
110                 if line is not None:
111                     x1,y1,x2,y2 = line
112                     cv2.line(lines_image, (x1, y1), (x2, y2), (0, 0, 255),
113 20)
114
115         if self.DEBUG:
116             self.plot_image(lines_image, "lines")
117
118         return lines_image
119
120

```

```
116     def combine_images(self, image, initial_image, alfa=0.9, beta=1.0,  
117     lamb=0.0):  
117         combined_image = cv2.addWeighted(initial_image, alfa, image, beta,  
118     lamb)  
118         if self.DEBUG:  
119             self.plot_image(combined_image, "combined")  
120  
121         return combined_image  
122  
123     def find_street_lanes(self, image):  
124         grayscale_image = self.grayscale(image)  
125         blur_image = self.blur(grayscale_image)  
126         canny_image = self.canny(blur_image)  
127         roi_image = self.roi(canny_image)  
128         hough_lines_image = self.hough_lines(roi_image, 0.9, np.pi/180, 100,  
129     100, 50)  
129         final_image = self.combine_images(hough_lines_image, image)  
130         return final_image  
131
```

```
1 import QtQuick 2.9
2 import QtQuick.Controls 2.5
3 import QtMultimedia 5.5
4
5 Item {
6     id: id_video
7     height : parent.height
8     width  : parent.width
9
10    signal textChanged;
11
12    Video {
13        id: video
14        height : parent.height
15        width  : parent.width
16        source: video_layout.text
17
18        MouseArea {
19            anchors.fill: parent
20            onClicked: {
21                video.play()
22            }
23        }
24
25        focus: true
26        Keys.onSpacePressed: video.playbackState == MediaPlayer.PlayingState ?
video.pause() : video.play()
27        Keys.onLeftPressed: video.seek(video.position - 5000)
28        Keys.onRightPressed: video.seek(video.position + 5000)
29    }
30 }
```

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 import ldws
4 import cv2
5 import datetime
6
7 class LdwsUtilities:
8
9     def __init__(self, input_image=None, output_folder=None,
10 input_video=None):
11         self.input_folder = input_image
12         self.output_folder = output_folder
13         self.input_video = input_video
14         self.__var_ldws = ldws.StreetLdwsFinder()
15         print("input_image ", self.input_folder)
16         print("output_folder ", self.output_folder)
17         print("input_video ", self.input_video)
18
19     def get_date_time(self):
20         current_date = datetime.date.today()
21         current_date = current_date.strftime("%Y_%m_%d_%H_%M")
22         return current_date
23
24     def image_street_lanes(self):
25
26         test_image = cv2.imread(self.input_folder)
27         street_lanes = self.__var_ldws.find_street_lanes(test_image)
28         name_test_image = "teste_image_" + self.get_date_time() + ".png"
29         self.__var_ldws.save_image(street_lanes, self.output_folder +
30 name_test_image)
31
32     def show_frame_street_lanes(self):
33         capture = cv2.VideoCapture(self.input_video)
34         while True:
35             _, frame = capture.read()
36             if frame is not None:
37                 street_lanes = self.__var_ldws.find_street_lanes(frame)
38                 cv2.imshow("video", street_lanes)
39                 cv2.waitKey(20)
40             else:
41                 break
42         capture.release()
43         cv2.destroyAllWindows()
44         exit()
```

```
1 import QtQuick 2.0
2
3 Item {
4     id: id_dashboard
5
6     Rectangle {
7         id: id_speedArea
8
9         anchors {
10            horizontalCenter: parent.horizontalCenter
11            bottom: parent.bottom
12        }
13        color: "black"
14        width: parent.width * 0.4
15        height: width
16        radius: width/2
17        z: 1
18
19        rotation: 0
20        gradient: Gradient {
21            GradientStop { position: 0.0; color: "black" }
22            GradientStop { position: 1.0; color: "#00000000" }
23        }
24
25        Speed {
26            id: id_speed
27            anchors.fill: id_speedArea
28            anchors.margins: id_speedArea.width * 0.025
29        }
30    }
31
32    Rectangle {
33        id: id_gearArea
34        anchors {
35            bottom: id_speedArea.bottom
36        }
37        color: "black"
38        x: parent.width / 20
39        width: parent.width * 0.35
40        height: width
41        radius: width/2
42
43        rotation: 0
44        gradient: Gradient {
45            GradientStop { position: 0.0; color: "black" }
46            GradientStop { position: 1.0; color: "#00000000" }
47        }
48
49        Gear {
50            id: id_gear
51            anchors.fill: id_gearArea
52            anchors.margins: id_gearArea.width * 0.025
53        }
54    }
55
56    Rectangle {
57        id: id_infoArea
58
59        anchors {
60            bottom: id_speedArea.bottom
```

```
61     }
62     color: "black"
63     x: parent.width - parent.width / 2.5
64     width: parent.width * 0.35
65     height: width
66     radius: width/2
67
68     rotation: 0
69     gradient: Gradient {
70         GradientStop { position: 0.0; color: "black" }
71         GradientStop { position: 1.0; color: "#00000000" }
72     }
73
74     Info {
75         id: id_info
76         anchors.fill: id_infoArea
77         anchors.margins: id_infoArea.width * 0.025
78     }
79 }
80
81 Rectangle {
82     anchors {
83         bottom: id_speedArea.bottom
84         left: id_gearArea.horizontalCenter
85         right: id_infoArea.horizontalCenter
86     }
87     color: "#00000000"
88     height: id_gearArea.width / 2
89     z: -1
90 }
91
92 Turn {
93     id: id_turnLeft
94
95     anchors {
96         right: id_gearArea.right
97         rightMargin: id_gearArea.height * 0.04
98         bottom: id_gearArea.bottom
99         bottomMargin: id_gearArea.height * 0.01
100    }
101    width: id_gearArea.width / 5.5
102    height: id_gearArea.height / 8.2
103
104    isActive: false
105 }
106
107 Turn {
108     id: id_turnRight
109
110     anchors {
111         left: id_infoArea.left
112         leftMargin: id_infoArea.height * 0.04
113         bottom: id_infoArea.bottom
114         bottomMargin: id_infoArea.height * 0.01
115    }
116    width: id_infoArea.width / 5.5
117    height: id_infoArea.height / 8.2
118    transformOrigin: Item.Center
119    rotation: 180
120 }
```

```
121 |     isActive: true
122 |   }
123 }
```

```
1 #!/usr/bin/env python3
2 # -*- coding: utf-8 -*-
3
4 import os
5 import sys
6 import ui
7
8 from PySide2 import QtCore, QtWidgets, QtQml
9
10 if __name__ == "__main__":
11     os.environ["QT_QUICK_CONTROLS_STYLE"] = "Material"
12
13     app = QtWidgets.QApplication(sys.argv)
14     qml_layout = ui.Component()
15     video_layout = ui.VideoUI()
16
17     video_layout.setText("/home/ronaldo/Development/hud_data/input/test_video.mov
18 ")
19     video_layout.textChanged.connect(lambda text: print(text))
20
21     engine = QtQml.QQmlApplicationEngine()
22     ctx = engine.rootContext().setContextProperty("video_layout",
23 video_layout)
24     engine.load(QtCore.QUrl.fromLocalFile(qml_layout.get_main_layout()))
25
26     if not engine.rootObjects():
27         sys.exit(-1)
28
29     sys.exit(app.exec_())
```

Referências Bibliográficas

ABDI, L.; ABDALLAH, F. B.; MEDDEB, A. In-vehicle augmented reality traffic information system: A new type of communication between driver and vehicle. **Procedia Computer Science**, v. 73, p. 242 – 249, 2015. ISSN 1877-0509. International Conference on Advanced Wireless Information and Communication Technologies (AWICT 2015). Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.024>>. 2.3, 2.10.3, 2.10.4, 2.10.5

ABDI, L.; MEDDEB, A. Driver information system: a combination of augmented reality, deep learning and vehicular ad-hoc networks. **Multimedia Tools and Applications**, Springer Nature, v. 77, n. 12, p. 14673–14703, aug 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11042-017-5054-6>>. 2.10.3, 4.2

ABDI, L.; MEDDEB, A. In-vehicle augmented reality system to provide driving safety information. **Journal of Visualization**, Springer Nature, v. 21, n. 1, p. 163–184, aug 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12650-017-0442-6>>. 1, 2.3, 2.10.3, 2.10.4, 2.10.6, 2.11

ABDI, L.; MEDDEB, A. In-vehicle augmented reality TSR to improve driving safety and enhance the driver's experience. **Signal, Image and Video Processing**, Springer Nature, v. 12, n. 1, p. 75–82, jun 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11760-017-1132-5>>. 1

AEBERHARD, M. *et al.* Automated driving with ros at bmw. **ROSCon 2015 Hamburg, Germany**, 2015. 3.6, 4.2

ALVES, P. R. J. A. *et al.* Forward collision warning systems using heads-up displays: Testing usability of two new metaphors. In: **2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)**. [s.n.], 2013. p. 1–6. ISSN 1931-0587. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/IVS.2013.6629438>>. 2.2, 2.4

AMO, I. F. del *et al.* A systematic review of augmented reality content-related techniques for knowledge transfer in maintenance applications. **Computers in Industry**, v. 103, p. 47 – 71, 2018. ISSN 0166-3615. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.08.007>>. 2.2, 2.8, 2.9, 2.9

ANGELOV, S.; GREFEN, P.; GREEFHORST, D. A classification of software reference architectures: Analyzing their success and effectiveness. In: **2009 Joint Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture & European Conference on Software Architecture**. IEEE, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/wicsa.2009.5290800>>. 3.1, 3.1, 3.2, 4.3, 4.8

ANGELOV, S.; GREFEN, P.; GREEFHORST, D. A framework for analysis and design of software reference architectures. **Information and Software Technology**, Elsevier BV, v. 54, n. 4, p. 417–431, apr 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2011.11.009>>. 3.1, 3.1

ANGELOV, S.; TRIENEKENS, J.; KUSTERS, R. Software reference architectures - exploring their usage and design in practice. In: **Software Architecture**. Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 17–24. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39031-9_2>. 3.1

AUTOSAR. **The standardized software framework for intelligent mobility**. 2019. [Online; accessed 10-December-2019]. Disponível em: <<https://www.autosar.org/>>. 3.3, 3.4, 3.3

AZUMA, R. Making augmented reality a reality. In: OPTICAL SOCIETY OF AMERICA. **Applied Industrial Optics: Spectroscopy, Imaging and Metrology**. [S.l.], 2017. p. JTU1F–1. 1, 2.1

AZUMA, R. *et al.* Recent advances in augmented reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 21, n. 6, p. 34–47, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/38.963459>>. 1, 2.1, 2.1

AZUMA, R. T. A survey of augmented reality. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, MIT Press - Journals, v. 6, n. 4, p. 355–385, aug 1997. Disponível em: <<https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>>. 2.4

BARA, G. G. *et al.* Evaluating the usability of a head-up display while driving a vehicle. In: **Advances in Usability, User Experience and Assistive Technology**. Springer International Publishing, 2018. p. 184–194. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94947-5_18>. 2.4, 2.10.6, 2.6

BASS, L.; CLEMENTS, P.; KAZMAN, R. **Software architecture in practice**. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 2003. 3.1, 3.2, 3.8, 4.1

BASS, L.; CLEMENTS, P.; KAZMAN, R. **Software Architecture in Practice (Third Edit)**. [S.l.]: Addison-Wesley, 2012. v. 3. 624 p. ISBN 978-0-321-81573-6. 1, 1.3, 3.1, 3.8, 4.8, 2, 4.2, 4.8, 5.1

BECK, D.; PARK, W. Perceived importance of automotive hud information items: a study with experienced hud users. **IEEE Access**, v. 6, p. 21901–21909, 2018. ISSN 2169-3536. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2828615>>. 1, 2.3, 2.11

BEHERE, S.; TÖRNGREN, M. A functional reference architecture for autonomous driving. **Information and Software Technology**, Elsevier BV, v. 73, p. 136–150, maio 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.12.008>>. 3.7

BETANCUR, J. A. *et al.* User experience comparison among touchless, haptic and voice head-up displays interfaces in automobiles. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, Springer Nature America, Inc, v. 12, n. 4, p. 1469–1479, jun 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12008-018-0498-0>>. 1, 2.6, 2.10.6

BETANCUR, J. A. *et al.* Research topics and implementation trends on automotive head-up display systems. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, Springer Nature, v. 12, n. 1, p. 199–214, sep 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12008-016-0350-3>>. 2.7, 2.10, 2.7, 2.4, 2.10.2, 2.10.2

BILA, C. *et al.* Vehicles of the future: A survey of research on safety issues. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 18, n. 5, p. 1046–1065, May 2017. ISSN 1524-9050. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2600300>>. 1, 3.6, 4.2, 4.3

BLUME, J.; KERN, T. A.; RICHTER, P. Head-up display next generation with augmented reality. **ATZelektronik worldwide**, Springer Nature America, Inc, v. 8, n. 4, p. 4–7, jul 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1365/s38314-013-0179-5>>. 2.5

BORBA, V. U. Proposta de um modelo de referência para internet das coisas: aspectos de segurança e privacidade na coleta de dados. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Marília, p. 86, 2018. 1, 3.1, 3.8

BRAND, D.; BüCHELE, K.; MESCHTSCHERJAKOV, A. Pointing at the hud: Gesture interaction using a leap motion. In: **Adjunct Proceedings of the 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications**. New York, NY, USA: ACM, 2016. (AutomotiveUI '16 Adjunct), p. 167–172. ISBN 978-1-4503-4654-2. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3004323.3004343>>. 2.6, 2.10.6

BROY, N. *et al.* 3d-HUDD – developing a prototyping tool for 3d head-up displays. In: **Human-Computer Interaction – INTERACT 2015**. Springer International Publishing, 2015. p. 300–318. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-22723-8_24>. 2.9, 2.6, 2.10.6

CARDOSO, A. *et al.* Use of virtual and augmented reality as tools for visualization of information: A systematic review. In: **Advances in Intelligent Systems and Computing**. Springer International Publishing, 2019. p. 407–417. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11051-2_62>. 2.1

CHARISSIS, V. Enhancing human responses through augmented reality head-up display in vehicular environment. In: **2014 11th International Conference Expo on Emerging Technologies for a Smarter World (CEWIT)**. [s.n.], 2014. p. 1–6. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/cewit.2014.7021141>>. 1, 2.5, 2.6, 2.10.6

CHAUVIN, C.; SAID, F.; LANGLOIS, S. Does the type of visualization influence the mode of cognitive control in a dynamic system? In: **Advances in Intelligent Systems and Computing**. Springer International Publishing, 2019. p. 751–757. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11051-2_114>. 2.6, 2.10.6

CHEN, C. **Information Visualization**. Springer London, 2006. v. 1. ISBN 978-1-84628-340-6. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/1-84628-579-8>>. 1, 2.4

CHENG, C. *et al.* Design methodologies for human-artificial systems design: An automotive AR-HUD design case study. In: **Advances in Intelligent Systems and Computing**. Springer International Publishing, 2019. p. 570–575. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11051-2_86>. 1

CHOI, M.-K. *et al.* Simulation framework for improved UI/UX of AR-HUD display. In: **2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)**. IEEE, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icce.2018.8326307>>. 1

CHOUKSEY, S.; SIRSIKAR, S. A prototype of low cost heads up display for automobiles navigation system. In: **2016 International Conference on Computing, Analytics and Security Trends (CAST)**. [s.n.], 2016. p. 205–210. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/CAST.2016.7914967>>. 1, 2.3, 2.10.5

CONI, P.; BARDON, J. The future of holographic head up display. In: **2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)**. [s.n.], 2018. p. 1–2. ISSN 2158-4001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icce.2018.8326197>>. 1, 2.3, 2.7, 2.7, 2.7

CONI, P. *et al.* Development of a 3d HUD using a tunable bandpass filter for wavelength multiplexing. **Journal of the Society for Information Display**, Wiley, v. 25, n. 3, p. 158–166, mar 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/jsid.539>>. 2.3

CONI, P.; BARDON, J. L.; SERVANTIE, X. A 3d full windshield head up display. **SAE International Journal of Aerospace**, SAE International, v. 10, n. 2, p. 92–99, sep 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.4271/2017-01-2156>>. 2.6, 2.10.6

- CORRÊA, A. S. **Uma arquitetura de referência colaborativa para estruturação de dados abertos governamentais**. 222 p. Tese (Doutorado em Sistemas Digitais) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/t.3.2017.tde-28062017-101825>>. 3.1, 3.1, 4.8
- CRESPO, S.; PINTO, S. **Composição em webframeworks**. 164 p. Tese (Doutorado em Ciências em Informática) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000. 3.1
- CUENDET, S. *et al.* Designing augmented reality for the classroom. **Computers & Education**, Elsevier BV, v. 68, p. 557–569, oct 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.015>>. 2.1
- CURIEL-RAMIREZ, L. A. *et al.* Analysis and approach of semi-autonomous driving architectures. In: **2018 International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering (ICMEAE)**. [s.n.], 2018. p. 139–143. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ICMEAE.2018.00033>>. 1, 4.2, 4.2.2, 4.2.2
- DOMINGOS, M. *et al.* **Uma arquitetura de referência para sistemas de informação e portais de serviços de governo eletrônico**. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2004. 1
- DOSHI, A.; CHENG, S. Y.; TRIVEDI, M. A novel active heads-up display for driver assistance. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 39, n. 1, p. 85–93, feb 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/tsmcb.2008.923527>>. 2.4
- DRAGOMIR, A. *et al.* Dynamic windshield sun shade assistance. In: **2017 Electric Vehicles International Conference (EV)**. IEEE, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ev.2017.8242109>>. 1
- DUARTE, A. O. *et al.* **Modelagem E Simulação De um Processo Industrial**. COBENGE 2004 - XXXII - Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Brasília/DF, 2004. [Online; accessed 07-June-2020]. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/15/artigos/01_472.pdf>. 1
- DUARTE FILHO, N. F. **Uma contribuição ao estabelecimento de uma arquitetura de referência para ambientes de aprendizagem móvel**. Tese (Doutorado em Engenharia de Automação e Sistemas) — Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/t.55.2016.tde-10112016-155857>>. 3.1, 3.1, 1, 3.6, 3.8, 4.4
- FAUST, F. *et al.* Aplicações da realidade aumentada no processo de desenvolvimento de produto. In: . [S.l.: s.n.], 2013. 2.1
- FAYAD, M. Application frameworks. **ACM Computing Surveys**, v. 32, 01 2000. 3.1
- FEITOSA, D. **SiMuS - Uma arquitetura de referência para sistemas multirobóticos de serviço**. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Computação e Matemáticas) — Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. 5.1
- FIELD, D. J.; HAYES, A.; HESS, R. F. Contour integration by the human visual system: Evidence for a local “association field“. **Vision Research**, v. 33, n. 2, p. 173–193, 1993. ISSN 00426989. 1.3
- FISHER, J.; LI, A. **New architectures for intelligent mobility**. 2017. [Online; accessed 15-December-2019]. Disponível em: <<https://www.visteon.com/newsroom/new-architectures-for-intelligent-mobility/>>. 3.3, 3.5, 4.2

GABBARD, J. L.; FITCH, G. M.; KIM, H. Behind the glass: Driver challenges and opportunities for ar automotive applications. **Proceedings of the IEEE**, v. 102, n. 2, p. 124–136, Feb 2014. ISSN 0018-9219. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/jproc.2013.2294642>>. 1, 2.4, 2.6, 2.10.6, 2.10.7, 2.10.7, 2.13, 2.10.7, 2.10.7

GEORGE, P. *et al.* DAARIA: Driver assistance by augmented reality for intelligent automobile. In: **2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium**. IEEE, 2012. p. 1043–1048. ISSN 1931-0587. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ivs.2012.6232220>>. 1, 2.11

GRABE, V. *et al.* The TeleKyb framework for a modular and extendible ROS-based quadrotor control. In: **2013 European Conference on Mobile Robots**. IEEE, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ecmr.2013.6698814>>. 4.2

GUIMARÃES, J. H. dos Nogueira e O. **Método para manutenção de sistema de software utilizando técnicas arquiteturais**. Dissertação (Dissertação de Mestrado em Sistemas Digitais), São Paulo, SP, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/d.3.2008.tde-29012009-134316>>. 4.8

HAEUSLSCHMID, R. *et al.* Recognition of text and shapes on a large-sized head-up display. In: **Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems**. New York, NY, USA: ACM, 2017. (DIS '17), p. 821–831. ISBN 978-1-4503-4922-2. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3064663.3064736>>. 1, 2.6, 2.10.6

HAEUSLSCHMID, R.; PFLEGING, B.; ALT, F. A design space to support the development of windshield applications for the car. In: **Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: ACM, 2016. (CHI '16), p. 5076–5091. ISBN 978-1-4503-3362-7. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2858036.2858336>>. 2.6, 2.10.6

HAEUSLSCHMID, R. *et al.* Contact-analog warnings on windshield displays promote monitoring the road scene. In: **Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications**. New York, NY, USA: ACM, 2015. (AutomotiveUI '15), p. 64–71. ISBN 978-1-4503-3736-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2799250.2799274>>. 2.4, 2.6, 2.6, 2.11

HAEUSLSCHMID, R. *et al.* First steps towards a view management concept for large-sized head-up displays with continuous depth. In: **Proceedings of the 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications**. New York, NY, USA: ACM, 2016. (Automotive'UI 16), p. 1–8. ISBN 978-1-4503-4533-0. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3003715.3005418>>. 1, 2.3, 2.3, 2.6, 2.10.6

HAJISEYEDJAVADI, F. *et al.* Effectiveness of visual warnings on young drivers hazard anticipation and hazard mitigation abilities. **Accident Analysis & Prevention**, v. 116, p. 41 – 52, 2018. ISSN 0001-4575. Simulation of Traffic Safety in the Era of Advances in Technologies. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.11.037>>. 1, 2.10.4

HOSSEINI, A.; BACARA, D.; LIENKAMP, M. A system design for automotive augmented reality using stereo night vision. In: **2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings**. [s.n.], 2014. p. 127–133. ISSN 1931-0587. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/IVS.2014.6856484>>. 2.3, 2.3, 2.4, 2.4, 2.6, 2.10.1, 2.10.5, 2.11

ISHIZAKI, A. *et al.* Accelerometer-based HUD input for car navigation. In: **2014 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)**. IEEE, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icce.2014.6776003>>. 2.6, 2.4, 2.7

- JIN, C. xi; YOU, F.; WANG, J. min. Automotive HUD interaction design based on lane changing scenario. In: **Human-Computer Interaction. Novel User Experiences**. Springer International Publishing, 2016. p. 277–284. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-39513-5_26>. 1, 2.4, 2.5, 2.6, 2.10.6, 2.11
- KAZMAN, R. *et al.* SAAM: a method for analyzing the properties of software architectures. In: **Proceedings of 16th International Conference on Software Engineering**. IEEE Comput. Soc. Press, 1994. p. 81–90. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icse.1994.296768>>. 3.9, 4.8
- KAZMAN, R.; CERVANTES, H. **Designing Software Architectures: A Practical Approach**. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 2016. ISBN 978-0134390789. 5
- KAZMAN, R. *et al.* The architecture tradeoff analysis method. In: **Proceedings. Fourth IEEE International Conference on Engineering of Complex Computer Systems (Cat. No.98EX193)**. IEEE Comput. Soc, 1998. p. 68–78. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/iceccs.1998.706657>>. 3.9, 4.8
- KIM, A.; OTANI, T.; LEUNG, V. Model-based design for the development and system-level testing of ADAS. In: **Lecture Notes in Mobility**. Springer International Publishing, 2015. p. 39–48. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19818-7_5>. 2.9
- KIM, K.; HWANG, Y. The usefulness of augmenting reality on vehicle head-up display. In: **Advances in Intelligent Systems and Computing**. Springer International Publishing, 2016. p. 655–662. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41682-3_55>. 1, 2.6, 2.10.6, 3.6, 4.2, 4.3
- KIMOUR, M. T.; BESSAM, A.; BOUDOUR, R. A software architecture framework for home service robots. **Journal of Computing and Information Technology**, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Univ. of Zagreb, v. 17, n. 2, p. 195, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.2498/cit.1001212>>. 3.1, 6, 3.6
- KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **Keele, UK, Keele University**, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004. 2.7, 2.8, 2.9, 2.9
- KNOLL, P. M. Automotive displays. In: **Handbook of Visual Display Technology**. Springer Berlin Heidelberg, 2015. p. 1–21. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-35947-7_167-1>. 2.5, 2.10, 4.3
- KNOLL, P. M. Some pictures of the history of automotive instrumentation. **Journal of the Society for Information Display**, Wiley, v. 25, n. 1, p. 44–52, jan 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/jsid.536>>. 1, 2.5
- KNOTT, V.; DEMMELMAIR, S.; BENGLER, K. Display concepts for the vehicle. In: **Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes**. Springer Berlin Heidelberg, 2016. p. 249–267. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-48661-0_17>. 2.3, 2.6, 2.7, 2.10
- LANGNER, T. *et al.* Traffic awareness driver assistance based on stereovision, eye-tracking, and head-up display. In: **2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)**. [s.n.], 2016. p. 3167–3173. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ICRA.2016.7487485>>. 1, 2.3, 3.6, 4.2, 4.2.1
- LARMAN, C. **Utilizando UML e Padrões**. Grupo A - Bookman, 2000. ISBN 9788577800476. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=hzi2tmT8QkUC>>. 1, 3.1, 3.7, 3.8

- LEE, J. *et al.* A study of issues and considerations for development of a vehicle ar system. In: **2015 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)**. [s.n.], 2015. p. 1160–1162. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ICTC.2015.7354763>>. 1
- LIMA, P.; CARNIELLO, A.; CARNIELLO, A. Aplicando atam na arquitetura do sistema de informações de prefeituras. In: . Bragança Paulista, SP: CONCISTEC' 14 5º Congresso Científico da Semana Tecnológica – IFSP, 2014. 3.9, 4.8, 4.2, 4.8, 4.9
- LISBOA FILHO, J. **Projeto conceitual de banco de dados geográficos através da reutilização de esquemas, utilizando padrões de análise e um framework conceitual**. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Instituto de Informática da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2000. 3.1
- LÖCKEN, A. *et al.* Towards adaptive ambient in-vehicle displays and interactions: Insights and design guidelines from the 2015 AutomotiveUI dedicated workshop. In: **Automotive User Interfaces**. Springer International Publishing, 2017. p. 325–348. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49448-7_12>. 1
- MA, J.; ZHOU, H.; XU, W. Study on driving simulation based ADAS design. In: **2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)**. IEEE, 2014. p. 1–4. ISBN 978-1-4799-4239-8. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/itec-ap.2014.6940968>>. 1
- MACIEL, M. C. A. Uso de critérios de seleção para frameworks livres em plataforma java ee. In: . [S.l.]: Apresentação ministrada em 18 de Julho, Evento Javali 2009 em Porto Alegre, 2009. 3.7, 3.8
- MARETTO, C. X. **Uma Arquitetura de Referência para Medição de Software**. 200 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal do Espírito Santo, São Paulo, 2013. 3.1
- MASIYANO, D.; COLLINGS, N.; CHRISTMAS, J. Lasers for phase only holographic projection and head up display applications. In: **2013 High Power Diode Lasers and Systems Conference (HPD)**. IEEE, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/hpd.2013.6706598>>. 2.9
- MEDVIDOVIC, N.; TAYLOR, R. A classification and comparison framework for software architecture description languages. **IEEE Transactions on Software Engineering**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 26, n. 1, p. 70–93, 2000. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/32.825767>>. 2.3, 3.1
- MERENDA, C. *et al.* Effects of real-world backgrounds on user interface color naming and matching in automotive ar huds. In: **2016 IEEE VR 2016 Workshop on Perceptual and Cognitive Issues in AR (PERCAR)**. [s.n.], 2016. p. 1–6. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/percar.2016.7562419>>. 2.3, 2.6, 2.10.6
- METZGER, A.; POHL, K. Software product line engineering and variability management: achievements and challenges. In: **Proceedings of the on Future of Software Engineering - FOSE 2014**. ACM Press, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2593882.2593888>>. 3.1
- MICLEA, R.-C.; SILEA, I.; SANDRU, F. Digital sunshade using head-up display. In: **Soft Computing Applications**. Springer International Publishing, 2017. p. 3–11. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-62521-8_1>. 1, 2.5

- MILANOVIC, V.; KASTURI, A.; HACHTEL, V. High brightness MEMS mirror based head-up display (HUD) modules with wireless data streaming capability. In: PIYAWATTANAMETHA, W.; PARK, Y.-H. (Ed.). **MOEMS and Miniaturized Systems XIV**. SPIE, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1117/12.2082848>>. 2.10
- MILGRAM, P. *et al.* Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: . [S.l.: s.n.], 1994. p. 282–292. 2.1, 2.1
- MULLER, G.; HOLE, E. **Reference Architectures; Why, What and How**. White Paper Resulting from Architecture Forum Meeting, 2007. [Online; accessed 28-October-2019]. Disponível em: <http://www.architectingforum.org/whitepapers/SAF_WhitePaper_2007_4.pdf>. 2.7, 3.1
- NAKAGAWA, E.; MALDONADO, J. Requisitos arquiteturais como base para a qualidade de ambientes de engenharia de software. In: . [S.l.: s.n.], 2008. p. 183–196. 3.1, 3.1, 3.3, 4.1
- NAKAGAWA, E. Y. **Uma contribuição ao projeto arquitetural de ambientes de engenharia de software**. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) — Universidade de Sao Paulo, São Carlos, 2016. 1.3, 2.7, 3.1, 3.9
- NARZT, W. *et al.* Augmented reality navigation systems. **Universal Access in the Information Society**, Springer Science and Business Media LLC, v. 4, n. 3, p. 177–187, dez. 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10209-005-0017-5>>. 2.1
- NG-THOW-HING, V. *et al.* User-centered perspectives for automotive augmented reality. In: **2013 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality - Arts, Media, and Humanities (ISMAR-AMH)**. [s.n.], 2013. p. 13–22. ISSN 2381-8360. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ismar-amh.2013.6671262>>. 2.2, 2.3, 2.5, 2.6, 2.10.6, 2.11
- NUSSENZVEIG, H. M. **Complexidade E Caos**. [S.l.]: UFRJ, 2003. v. 2ªED. 276 p. ISBN 8571082219. 3.7
- OKUMURA, H. *et al.* Monocular hyper-realistic AR head-up display. **Journal of the Society for Information Display**, Wiley, v. 25, n. 1, p. 34–43, jan 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/jsid.527>>. 2.7, 2.10, 2.7
- OKUMURA, H.; SHINOHARA, K. Human attention and fatigue for AR head-up displays. In: **2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct)**. IEEE, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ismar-adjunct.2016.0102>>. 2.10, 2.7
- OLIVEIRA, L. B. R. d.; NAKAGAWA, E. Y. Um levantamento de métodos de avaliação de arquiteturas de software específicos. In: **Simpósio Brasileiro de Componentes, Arquiteturas e Reutilização de Software - SBCARS**. Porto Alegre: [SBC], 2009. 1, 3.8, 3.9, 4.8
- PALAZZO, L. A. M. Complexidade, caos e auto-organização. v. 28, p. 07–08, 1999. [Online; accessed 27-Dezembro-2019]. Disponível em: <http://www.dcc.ufla.br/~{ }monserrat/isc/Complexidade_caos_autoorganizacao.ht>. 3.7
- PALMARINI, R.; ERKOYUNCU, J. A.; ROY, R. An innovative process to select augmented reality (AR) technology for maintenance. **Procedia CIRP**, Elsevier BV, v. 59, p. 23–28, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.10.001>>. 2.1
- PALMARINI, R. *et al.* A systematic review of augmented reality applications in maintenance. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 49, p. 215 – 228, 2018. ISSN 0736-5845. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>>. 2.7, 2.8, 2.9, 2.11, 2.9, 2.9, 2.9

- PARK, B.-J. *et al.* A study on augmented reality of a vehicle information using head-up display. In: **2016 6th International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS)**. IEEE, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icitcs.2016.7740308>>. 4.2
- PARK, H.; KIM, K. ho. Efficient information representation method for driver-centered AR-HUD system. In: **Design, User Experience, and Usability. User Experience in Novel Technological Environments**. Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 393–400. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39238-2_43>. 1, 2.4, 2.6, 2.10.6, 3.6, 4.2, 4.3
- PARK, J.; PARK, W. Functional requirements of automotive head-up displays: A systematic review of literature from 1994 to present. **Applied Ergonomics**, Elsevier BV, v. 76, p. 130–146, apr 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.12.017>>. 1, 2.4, 2.10.2, 2.10.2, 2.11, 4.2
- PARK, M. W.; JUNG, S. K. A projector-based full windshield hud simulator to evaluate the visualization methods. In: **2014 Sixth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)**. [s.n.], 2014. p. 509–510. ISSN 2165-8528. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icufn.2014.6876845>>. 1
- PAULA, M. H. d. *et al.* **SARAMR: uma arquitetura de referência baseada em loops de controle para facilitar manutenções em software robótico autoadaptativo**. 157 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal do São Carlos, São Carlos, SP, 2015. 4.8, 4.2
- PAUZIE, A. Head up display in automotive: A new reality for the driver. In: **Design, User Experience, and Usability: Interactive Experience Design**. Springer International Publishing, 2015. p. 505–516. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20889-3_47>. 2.2, 2.5, 2.6, 2.10.6
- PEREIRA, L. A. d. M. **Análise e modelagem de sistemas com a UML**. [S.l.]: Luiz Antônio M. Pereira, 2011. ISBN 9788591169504. 3.7
- PHAN, M. T.; THOUVENIN, I.; FREMONT, V. Enhancing the driver awareness of pedestrian using augmented reality cues. In: **2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1298–1304. ISSN 2153-0017. 2.11
- POHL, K.; BÖCKLE, G.; LINDEN, F. J. van D. **Software product line engineering: foundations, principles and techniques**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2005. 3.1
- PREE, W. **Design Patterns for Object-Oriented Software Development**. USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1995. ISBN 0201422948. 3.1
- QIN, Z. *et al.* Maximal acceptable ghost images for designing a legible windshield-type vehicle head-up display. **IEEE Photonics Journal**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 9, n. 6, p. 1–12, Dec 2017. ISSN 1943-0655. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/jphot.2017.2758820>>. 1, 2.3, 2.5, 2.5, 2.7
- REED, P. **Reference Architecture: The best of best practices**. 2002. [Online; accessed 27-October-2019]. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/rational/library/2774-pdf.pdf>>. 3.1
- REIS, M. A. d. S. **Uma arquitetura de Big Data as a service baseada no modelo de nuvem privada**. 93 p. Tese (Mestrado Profissional em Computação Aplicada) — Universidade de Brasília, Brasília, São Carlos, 2018. 1, 2, 4

RIEGLER, A. *et al.* Investigating user preferences for windshield displays in automated vehicles. In: **Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Pervasive Displays - PerDis '18**. ACM Press, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3205873.3205885>>. 1

RIENER, A.; GABBARD, J.; TRIVEDI, M. Special issue of presence: Virtual and augmented reality virtual and augmented reality for autonomous driving and intelligent vehicles: Guest editors' introduction. **PRESENCE: Virtual and Augmented Reality**, v. 27, n. 1, p. i–iv, 2019. Disponível em: <https://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/pres_e_00323>. 1, 2.10.7, 2.10.7, 4.2

ROBINSON, P. **De-Fuzzing Reference Architecture**. 2018. [Online; accessed 27-October-2019]. Disponível em: <<https://medium.com/@phildwriter/de-fuzzing-reference-architecture-e2ce2844ca46>>. 3.1, 3.1, 4.1

ROGERS, Y.; SHARP, H.; PREECE, J. Design de interação: Além da interação humano-computador. porto alegre, brasil: Bookman. 2013. 3.1

SAMNANI, S. S. *et al.* Review typology: The basic types of reviews for synthesizing evidence for the purpose of knowledge translation. **J Coll Physicians Surg Pak**, v. 27, n. 10, p. 635–641, oct 2017. 2.8

SAMPAIO, R.; MANCINI, M. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, scielo, v. 11, p. 83 – 89, 02 2007. ISSN 1413-3555. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1413-35552007000100013>>. 2.7, 2.8

SÁNCHEZ, J. A. *et al.* Feasibility analysis of the usage of head-up display devices and speech recognition in real vehicular environments. **Universal Access in the Information Society**, Springer Nature, oct 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10209-017-0579-z>>. 2.3, 2.5, 2.6, 2.10.6

SASAKI, T. *et al.* 64.2: Hyperrealistic display for automotive application. **SID Symposium Digest of Technical Papers**, Wiley, v. 41, n. 1, p. 953, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1889/1.3500641>>. 2.7

SCHNEIDER, M. *et al.* A field study to collect expert knowledge for the development of ar hud navigation concepts. In: . [S.l.: s.n.], 2019. p. 358–362. ISBN 978-1-4503-6920-6. 2.7

SERBAN, A. C.; POLL, E.; VISSER, J. A standard driven software architecture for fully autonomous vehicles. In: **2018 IEEE International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C)**. IEEE, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icsa-c.2018.00040>>. 1, 3.3, 3.4, 4.2, 4.2.2, 4.2.4

SILLER, B. **Complex Trends and Challenges in Designing ADAS Systems**. John Day's Automotive Electronics, 2014. [Online; accessed 28-Dezembro-2019]. Disponível em: <<https://www.embedded-vision.com/industry-analysis/technical-articles/2014/09/30/complex-trends-and-challenges-designing-adas-systems>>. 3.6

SILVA, F. S. da; CATELLI, F. Os modelos na ciência: traços da evolução histórico-epistemológica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, FapUNIFESP (SciELO), v. 41, n. 4, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2019-0029>>. 1

SILVA, J. C. L. d. **Um Estudo de avaliação e documentação de Arquiteturas de software na Indústria**. 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Software) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2016. 3.9

- SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software**. São Palo, SP, Brasil: PEARSON BRASIL, 2011. ISBN 9788579361081. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=H4u5ygAACAAJ>>. 1, 3.1, 3.1, 3.1, 3.7
- SOUZA, A. S.; TOSI, S. R. Estudo sobre o uso de aplicativos em realidade aumentada para condução de veículos com ênfase na usabilidade. **Blucher Design Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 1452–1463, 2015. 2.2
- SOUZA, M. T. d.; SILVA, M. D. d.; CARVALHO, R. d. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein (São Paulo)**, SciELO Brasil, v. 8, n. 1, p. 102–106, 2010. 2.10
- SOUZA, N. M. d. **RAModelTI: agregando informações de teste de software no Modelo para Arquiteturas de Referência (RAModel)**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2017. 1
- SOUZA, W. de O. *et al.* A realidade aumentada na apresentação de produtos cartográficos. **Boletim de Ciências Geodésicas**, FapUNIFESP (SciELO), v. 22, n. 4, p. 790–806, dec 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1982-21702016000400045>>. 2.1, 2.2
- SURMA, G. **Street lanes finder for self-driving cars**. 2019. [Online; accessed 18-Março-2020]. Disponível em: <https://github.com/gsurma/street_lanes_finder>. 4.6
- TAS, O. S. *et al.* Functional system architectures towards fully automated driving. In: **2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)**. IEEE, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ivs.2016.7535402>>. 3.7
- TORI, R. Desafios para o design de informação em ambientes de realidade aumentada. **Infodesign: Revista Brasileira de Design da Informação**, v. 6, n. 1, p. 46–57, 2009. ISSN 1808-5377. 2.1, 2.4
- ULBRICH, S. *et al.* Towards a functional system architecture for automated vehicles. **CoRR**, abs/1703.08557, 2017. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1703.08557>>. 1, 3.4, 4.2, 4.2.2, 4.2.4
- VERNADAT, F. Enterprise integration: On business process and enterprise activity modelling. **Concurrent Engineering**, SAGE Publications, v. 4, n. 3, p. 219–228, set. 1996. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/1063293x9600400303>>. 1
- Villalobos-Zúñiga, G.; KUJALA, T.; OULASVIRTA, A. T9+hud: Physical keypad and hud can improve driving performance while typing and driving. In: **Proceedings of the 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications**. New York, NY, USA: ACM, 2016. (Automotive'UI 16), p. 177–184. ISBN 978-1-4503-4533-0. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3003715.3005453>>. 2.6, 2.10.6
- VISTEON. **Driving safety through augmented reality**. 2019. [Online; accessed 16-Outubro-2019]. Disponível em: <<https://www.visteon.com/products/head-up-displays/#tab-container-table2>>. 2.2, 2.7
- WIEN TAPPER, F. *et al.* A camera-based calibration for automotive augmented reality head-up-displays. In: **2013 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)**. [s.n.], 2013. p. 189–197. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ISMAR.2013.6671779>>. 2.3, 2.3, 2.6, 2.10.1, 2.10.5, 2.11

- WIESNER, C. A. *et al.* Visualisation of the electronic horizon in head-up-displays. In: **2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct)**. [s.n.], 2016. p. 87–89. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2016.0047>>. 2.10.6
- WIESNER, C. A. *et al.* 3d-frc: Depiction of the future road course in the head-up-display. In: **2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)**. [s.n.], 2017. p. 136–143. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ismar.2017.30>>. 2.6
- WINKLER, S.; KAZAZI, J.; VOLLRATH, M. Distractive or supportive – how warnings in the head-up display affect drivers’ gaze and driving behavior. In: **2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems**. IEEE, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/itsc.2015.172>>. 2.3
- YIN, J. L. *et al.* Automatic dangerous driving intensity analysis for advanced driver assistance systems from multimodal driving signals. **IEEE Sensors Journal**, v. 18, n. 12, p. 4785–4794, June 2018. ISSN 1530-437X. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/jsen.2017.2765315>>. 1
- YOO, H. S.; JU, D. Y. User requirement analysis for display user experience in smart car. In: **Lecture Notes in Computer Science**. Springer International Publishing, 2017. p. 732–741. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58077-7_57>. 1
- YOON, C. *et al.* Development of augmented in-vehicle navigation system for head-up display. In: **2014 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)**. [s.n.], 2014. p. 601–602. ISSN 2162-1233. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ictc.2014.6983221>>. 2.3
- ZIVKOVIĆ, A. **Development of Autonomous Driving using Robot Operating System**. 52 p. Dissertação (Máster Universitario en Ingeniería del Software - European Master in Software Engineering) — Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2018. 3.6

Arquitetura de Referência para interfaces AR-HUD em Sistemas de Assistência à Direção

Ronaldo Pereira Evangelista

Salvador, 06 de Agosto de 2020.